Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2018)

Сборник статей

**XVIII Всероссийская
научно-практическая конференция
2–28 апреля 2018 г.**

**Киров
2018**

УДК 061.3:001.789(082)
ББК 60.52:60.561.8(082)
О-285

Печатается по рекомендации Научного совета Вятского государственного университета

Оргкомитет конференции:

В. Н. Пугач, канд. экон. наук, доц., ректор (председатель оргкомитета); **С. Г. Литвинец**, канд. с.-х. наук, доц., проректор по науке и инновациям (зам. председателя оргкомитета); **С. А. Пересторонин**, главный бухгалтер, руководитель Департамента экономики и финансов; **О. В. Тулякова**, канд. биол. наук, руководитель Департамента научно-исследовательской работы обучающихся; **И.В. Смольняк**, канд. ист. наук, директор Научного издательства; **Л. К. Патрушева**, канд. пед. наук, доц., руководитель Центра публикационной активности; **Е. Г. Рылова**, эксперт Отдела интеллектуальной собственности; **Д. В. Седов**, руководитель Департамента Информационных технологий; **Л. В. Капитурова**, заведующий Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, редактор Управления воспитательной и социальной работы; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц., директор Института биологии и биотехнологии; **С. В. Фомин**, канд. техн. наук, доц., директор Института химии и экологии; **И. В. Губин**, канд. техн. наук, доц., директор Политехнического института; **А. В. Земцов**, директор Института математики и информационных систем; **А. А. Костин**, канд. ист. наук, доц., директор Института гуманитарных и социальных наук; **Г. И. Симонова**, д-р пед. наук, доц., директор Педагогического института; **Т. А. Бурцева**, д-р экон. наук, проф., директор Института экономики и менеджмента; **М. С. Ившин**, канд. экон. наук, директор Юридического института; **Е. Л. Сырцова**, канд. пед. наук, доц., директор Института непрерывного образования российских и иностранных граждан.

Редакционная коллегия сборника:

С. Г. Литвинец, канд. с.-х. наук, доц.; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук; **Е. Г. Рылова**; **Д. В. Седов**; **Л. В. Капитурова**; **О. Н. Пересторонина**, канд. биол. наук, доц.; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц.; **М. А. Морозова**, канд. биол. наук, доц.; **Е. В. Рябова**, канд. биол. наук; **В. Е. Круковский**, канд. юрид. наук; **Ю. В. Ланских**, канд. техн. наук; **Г. В. Ковязина**, канд. пед. наук; **Д. В. Ильин**, канд. ист. наук; **В. А. Крысова**, канд. пед. наук, доц.; **М. Г. Швецова**, канд. филол. наук, доц.; **И. В. Романова**, канд. пед. наук, доц.; **Н. Л. Караваев**, канд. филос. наук, доц.; **О. В. Байкова**, д-р. филол. наук. проф.; **А. А. Печенкин**, д-р. ист. наук, доц.; **Н. В. Булдакова**, д-р. пед. наук, доц.; **Е. В. Зонова**, канд. филол. наук.; **Н. Г. Наумова**, канд. филол. наук, доц.; **Е. О. Галицких**, д-р. пед. наук, профессор; **О. В. Анфилатова**, канд. пед. наук, доцент; **С. А. Юрков**, канд. юрид. наук; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; **А. В. Скутнев**, канд. ист. наук; **М. И. Земцов**, канд. техн. наук, доц.; **Т. В. Беличева**, канд. биол. наук, доц.; **Л. А. Адамайтис**, канд. экон. наук, доц.; **С. А. Пупышева**, канд. геогр. наук, доц.; **Е. А. Бармина**, канд. экон. наук; **Ю. В. Игошина**, канд. филос. наук, доц.; **А. В. Шпенглер**, канд. экон. наук, доц.; **С. Г. Ворончихин**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Каранина**, канд. экон. наук, доц.; **Н. К. Савельева**, канд. экон. наук; **А. Г. Хлебов**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **А. В. Шатров**, д-р. физ.-мат. наук, доц.; **Ю. Н. Ушакова**, канд. хим. наук, доц.; **Т. А. Мусихина**, канд. геогр. наук, доц.; **Д. А. Кондратьев**, канд. хим. наук; **Р. Л. Веснин**, канд. техн. наук; **Г. М. Безверхов**, канд. архитектуры, доц.; **С. П. Грачев**, канд. техн. наук, доц.; **О. Б. Лисовская**, канд. техн. наук, доц.; **Ш. В. Бузиков**, канд. техн. наук, **Е. П. Петров**, д-р. техн. наук, проф.; **О. М. Вахрушева**, канд. биол. наук; **Ю. В. Юркин**, канд. техн. наук; **А. Б. Чаганов**, канд. техн. наук; **Д. М. Суворов**, канд. техн. наук, доц.; **О. Ю. Медведев**, канд. техн. наук, **Д. А. Страбыкин**, д-р. техн. наук, проф.; **А. А. Красных**, д-р. техн. наук, проф.; **А. А. Фоминых**, канд. техн. наук; **С. И. Охапкин**, канд. техн. наук, доц.; **А. В. Новиков**, канд. техн. наук, доц.; **А. В. Вильнер**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Котельников**, канд. техн. наук, доц.; **Е. А. Куимов**, канд. техн. наук, доц.

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2018). [Электронный ресурс] : сб. ст. : XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2–28 апр. 2018 г. в 3 т. – Киров : [Изд-во ВятГУ], 2018. – 3 т. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
ISBN 978-5-98228-163-0

УДК 061.3:001.789(082)
ББК 60.52:60.561.8(082)

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2018

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2018)

Сборник статей

**XVIII Всероссийская
научно-практическая конференция
2–28 апреля 2018 г.**

**Том 2
Технические и физико-математические науки**

**Киров
2018**

УДК 061.3:001.789(082)
ББК 60.52:60.561.8(082)
О-285

Печатается по рекомендации Научного совета
Вятского государственного университета

Оргкомитет конференции:

В. Н. Пугач, канд. экон. наук, доц., ректор (председатель оргкомитета); **С. Г. Литвинец**, канд. с.-х. наук, доц., проректор по науке и инновациям (зам. председателя оргкомитета); **С. А. Пересторонин**, главный бухгалтер, руководитель Департамента экономики и финансов; **О. В. Тулякова**, канд. биол. наук, руководитель Департамента научно-исследовательской работы обучающихся; **И.В. Смольняк**, канд. ист. наук, директор Научного издательства; **Л. К. Патрушева**, канд. пед. наук, доц., руководитель Центра публикационной активности; **Е. Г. Рылова**, эксперт Отдела интеллектуальной собственности; **Д. В. Седов**, руководитель Департамента Информационных технологий; **Л. В. Капитурова**, заведующий Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, редактор Управления воспитательной и социальной работы; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц., директор Института биологии и биотехнологии; **С. В. Фомин**, канд. техн. наук, доц., директор Института химии и экологии; **И. В. Губин**, канд. техн. наук, доц., директор Политехнического института; **А. В. Земцов**, директор Института математики и информационных систем; **А. А. Костин**, канд. ист. наук, доц., директор Института гуманитарных и социальных наук; **Г. И. Симонова**, д-р пед. наук, доц., директор Педагогического института; **Т. А. Бурцева**, д-р экон. наук, проф., директор Института экономики и менеджмента; **М. С. Ившин**, канд. экон. наук, директор Юридического института; **Е. Л. Сырцова**, канд. пед. наук, доц., директор Института непрерывного образования российских и иностранных граждан.

Редакционная коллегия сборника:

С. Г. Литвинец, канд. с.-х. наук, доц.; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук; **Е. Г. Рылова**; **Д. В. Седов**; **Л. В. Капитурова**; **О. Н. Пересторонина**, канд. биол. наук, доц.; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц.; **М. А. Морозова**, канд. биол. наук, доц.; **Е. В. Рябова**, канд. биол. наук; **В. Е. Круковский**, канд. юрид. наук; **Ю. В. Ланских**, канд. техн. наук; **Г. В. Ковязина**, канд. пед. наук; **Д. В. Ильин**, канд. ист. наук; **В. А. Крысова**, канд. пед. наук, доц.; **М. Г. Швецова**, канд. филол. наук, доц.; **И. В. Романова**, канд. пед. наук, доц.; **Н. Л. Караваев**, канд. филос. наук, доц.; **О. В. Байкова**, д-р. филол. наук. проф.; **А. А. Печенкин**, д-р. ист. наук, доц.; **Н. В. Булдакова**, д-р. пед. наук, доц.; **Е. В. Зонова**, канд. филол. наук.; **Н. Г. Наумова**, канд. филол. наук, доц.; **Е. О. Галицких**, д-р. пед. наук, профессор; **О. В. Анфилатова**, канд. пед. наук, доцент; **С. А. Юрков**, канд. юрид. наук; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; **А. В. Скутнев**, канд. ист. наук; **М. И. Земцов**, канд. техн. наук, доц.; **Т. В. Беличева**, канд. биол. наук, доц.; **Л. А. Адамайтис**, канд. экон. наук, доц.; **С. А. Пупышева**, канд. геогр. наук, доц.; **Е. А. Бармина**, канд. экон. наук; **Ю. В. Игошина**, канд. филос. наук, доц.; **А. В. Шпенглер**, канд. экон. наук, доц.; **С. Г. Ворончихин**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Каранина**, канд. экон. наук, доц.; **Н. К. Савельева**, канд. экон. наук; **А. Г. Хлебов**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **А. В. Шатров**, д-р. физ.-мат. наук, доц.; **Ю. Н. Ушакова**, канд. хим. наук, доц.; **Т. А. Мусихина**, канд. геогр. наук, доц.; **Д. А. Кондратьев**, канд. хим. наук; **Р. Л. Веснин**, канд. техн. наук; **Г. М. Безверхов**, канд. архитектуры, доц.; **С. П. Грачев**, канд. техн. наук, доц.; **О. Б. Лисовская**, канд. техн. наук, доц.; **Ш. В. Бузиков**, канд. техн. наук, **Е. П. Петров**, д-р. техн. наук, проф.; **О. М. Вахрушева**, канд. биол. наук; **Ю. В. Юркин**, канд. техн. наук; **А. Б. Чаганов**, канд. техн. наук; **Д. М. Суворов**, канд. техн. наук, доц.; **О. Ю. Медведев**, канд. техн. наук, **Д. А. Страбыкин**, д-р. техн. наук, проф.; **А. А. Красных**, д-р. техн. наук, проф.; **А. А. Фоминых**, канд. техн. наук; **С. И. Охапкин**, канд. техн. наук, доц.; **А. В. Новиков**, канд. техн. наук, доц.; **А. В. Вильнер**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Котельников**, канд. техн. наук, доц.; **Е. А. Куимов**, канд. техн. наук, доц..

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) [Электронный ресурс] : сб. ст. : XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2–28 апреля 2018 г. В 3 т. Т. 2. Технические и физико-математические науки. – Киров : [Изд-во ВятГУ], 2018. – 1240 с. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-5-98228-165-4 (Т. 2.)
ISBN 978-5-98228-163-0

УДК 061.3:001.789(082)
ББК 60.52:60.561.8(082)

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Агалакова Л.М., Косолапов Е.В., Кузнецов В.Н. Оптимальный фильтр оценок инерционности объекта управления 11

Агапов А. И. Особенности раскроя пиловочника крупных размеров брусово-сегментным способом с выпиливанием трех брусьев разной толщины 17

Алешкин А.В., Левашов А.П., Тимофеев Б.Л. Применение принципа гаусса для вывода дифференциальных уравнений движения твердого тела 26

Апатов К. Ю., Федосимов А. А., Чертищев М. А. Компьютерное моделирование процессов сверхпластической формовки 37

Апатов Ю.Л., Мухарицин С.А., Апатов К.Ю. Принципы построения операции роботизированной сборки по критерию повышения производительности 44

Апатов Ю.Л., Мухарицин С.А., Апатов К.Ю. Точностные особенности групповой роботизированной сборки цилиндрических соединений с гарантированным зазором 52

Апатов Ю.Л., Мухарицин С.А., Фасхутдинов Р.Р. Разработка многоместных захватных устройств промышленных роботов как основы повышения производительности автоматизированных сборочных операций 61

Безверхов Г. М. Архитектурная организация генеральных планов АЭС 69

Безверхов Г.М., Пушпашев М. Е., Чуренкова М. В. Основные виды сводчатых перекрытий .. 76

Беляев А.Н., Гурдин Р.А. Оценка перспектив использования кавитационных процессов для автономных источников тепловой энергии 83

Богомазова Ю.В. Объемно-планировочные, конструктивные и инженерные решения зданий повышенной этажности и высотных зданий, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре 89

Бородавкин Д.А., Фищева И.Н. Идентификация студента по фотографии с помощью компьютерного зрения 95

Бочков А.П. Моделирование влияния внедрения инноваций на прогрессивность новой техники 101

Бочков А.П. Оценка реализуемости и полезности нового принципа действия для инновационного образца технической системы 116

Бочков А.П. Разработка инновационных технических решений для образца технической системы 130

Брызгалова К.В. Архитектурно-планировочное формирование усадьбы С.А.Сунцова в г. Вятке 141

Брызгалова К.В., Некрасова А.А., Пахтусова Е.Ю. Михайло-Архангельская надвратная церковь Крестовоздвиженского мужского монастыря г. Слободского 149

Брызгалова К.В., Огаркова Д.А., Пыркин А.А. Архитектурно-планировочное решение и история строительства благотворительных учреждений г.Вятки 154

Бурков Г. С. Обоснование способов улучшения моторных свойств дизельных топлив для применения в особых условиях эксплуатации 159

Вихарев А. П., Шишкин Б. М. Применение высотных опор для снижения интенсивности электромагнитных полей воздушных ЛЭП высокого напряжения 165

Власов А.В. Определение теплового поля и механических напряжений в круглой пиле 173

Власов В.А., Шарыгина Е.А. О влиянии твердости поверхностного слоя валиков и втулок на износостойкость приводной втулочной цепи 179

Гаврилов Г.Г., Кривошеин И.Л., Семёновых Л.В. Исследование магнитного поля установленной на железобетонных опорах трехпроводной воздушной линии электропередачи в режиме короткого замыкания 186

Голованова Т.А. Об опыте преподавания дисциплины «Информационные технологии в профессиональной деятельности» студентам экономических направлений дистанционной формы обучения 193

Головенкин В.А., Пальцев К.А., Микрюков И.В. Гибридный коммутационный аппарат постоянного тока последовательного типа с токовой защитой 198

Головенкин В.А., Пальцев К.А., Микрюков И.В. Разработка и исследование гибридного коммутационного аппарата постоянного тока 206

Гордин А. С., Сергеев Д. Г. Сравнительный анализ различных видов букс, применяемых в концевых балках мостового крана 214

Грачев С.П., Струков Р.М. Анализ напряженно-деформированного состояния тяговой пластинчатой втулочной цепи 222

Грудинин В.С., Грудинин С.В. Моделирование ROS в Matlab 227

Гусев А.С., Фоминых А.А., Изотов А.И. Анализ и характеристика разновидностей износов щеточно-контактного аппарата турбогенератора 233

Долженкова М.Л., Долженкова Н.А., Чистяков Г.А. Функционирование интеллектуального ядра системы организации умных очередей 239

Дружкова Н.В. Значение нормативных документов при проектировании жилых и общественных зданий 245

Дружкова Н.В. Проектирование частного дома, графические программы 253

Еноктаева Л.И. Пути автоматизации и оптимизации средств измерений 258

Ерохин Д.С. Обзор способов улучшения физико-химических свойств топлив для наземных транспортных средств 264

Ефимчук А. А., Ланских В.Г., Ланских Ю.В. Методы улучшения свойств генераторов псевдослучайных чисел 270

Жуйков В.А., Митягин Д.А. Повышения стойкости режущего инструмента посредством магнитно-импульсной обработки 277

Земцов М.И., Суровцева А.А., Стахеева А.А. Оклады церковных икон: история, стили, материал, технологии изготовления 283

Земцов М. И., Суровцева А.А., Фомина Д.А. Анализ критериев оценки эффективности изготовления изделий декоративно-прикладного назначения из тонколистового металла 290

Зонова Н.С. Роль и место информационных технологий на современном предприятии 301

Зубакин А.С. Исследование процесса сгорания генераторного газа и его смеси с бензином в двигателе 1Ч6,8/5,4 306

Иванов-Польский К.В., Жуйков В.А. Об организации курсового проектирования в технических дисциплинах 314

Изотов А.И., Тимина Н.В., Соболев Д.В. Снижение износа щеток в коллекторных машинах постоянного тока авиационного исполнения 319

Исупов А.Ю., Медведев О.Ю., Турубанов Н.В. Результаты предварительных исследований устройства для очистки от примесей зернового материала 325

Исупов К. С., Куваев А. С. Влияние способа компиляции на быстродействие GPU-модуля библиотеки MPRES 331

Ишутинова В.В., Русских А.Н. Особенности и характеристики новых вентильных электродвигателей АО «ЛЕПСЕ» 337

Ишутинова В.В., Русских А.Н. Особенности разработки новых коллекторных электродвигателей постоянного тока на АО «ЛЕПСЕ» 344

Канищев И. С., Ростовцев В.С. Выявление эффективных генетических вариантов мутаций для точной медицины 352

Караваева О.В., Бухмиллер А.В. Разработка мобильного приложения «Активный студент» под ОС Android 358

Караваева О.В., Курдюмов В.Ю. Разработка программной имитационной модели системы передачи данных 364

Кашина Е.В. Применение системы 1С:Предприятие при разработке программного обеспечения для автоматизации деятельности предприятия 369

Копанев В.В. Разработка модуля по учёту, хранению и созданию макетов печатной продукции для ИС в области полиграфических услуг 378

Копосова М.А., Пешнина И.В. Проектирование спортивных комплексов 383

Косолапов Е.В., Агалакова Л.М., Козлов А.Л. Опасность поражения человека электрическим током в зоне падения провода распределительной сети напряжением 6-35 кВ при разряде собственных частичных емкостей фаз 390

Котельникова А.В., Котельников Е.В. Формирование словосочетаний из отзывов для разных предметных областей 397

Красиков М.И., Куклин В.В., Фуфачев А.С. Накопление электромагнитной энергии в длинной линии 408

Красных А.А., Гаврилов Г.Г., Деветьярова Э.Х. Определение оптимального места размещения на опоре индикатора короткого замыкания при вертикальном расположении проводов 415

Красных А.А., Кривошеин И.Л., Газиев А.С. Контроль замыканий в воздушных линиях электропередачи с изолированной нейтралью 422

Кротких И.А., Петров И.Е. Исследование и формализация методических указаний по внедрению идеологии Lean в процесс разработки ИС управления тренировочным процессом 430

Крутиков А.К., Клюкин В.Л., Подковырин В.Д. Нейронная сеть радиально-базисных функций в системе прогнозирования спортивных результатов 438

Крутикова М.В., Повышева А.С. К вопросу о причинах возникновения трещин в конструкциях 445

Крутикова М.В., Чеглаков А.Н. К вопросу качества устройства отмосток 453

Крутикова М.В., Злобина О.И. К вопросу о причинах разрушений подпорных стенок 462

Куваев А.С., Томчук М.Н., Вожегов Д.В. Особенности проектирования структуры операционных устройств процессоров символьной обработки 470

Кузнецов В. Н. О физике как о предшественнице электротехники 478

Кузнецов В. Н., Агалакова Л. М., Косолапов Е. В. К теории электрических трансформаторов 485

Кульгускина А.А., Шмакова Н. А. Моделирование характеристик индикатрисы рассеяния на частицах в твердых ракетных топливах 493

Кутьин В.М., Шестаков А.В. Преобразователи частоты: краткий обзор характеристик 501

Лалетин В. И., Рычков В. В., Сластихин Н. С. Управление движениями роботов 509

Лисовская О. Б., Теребихина И.Н. Структура и свойства сплавов высокого демпфирования системы марганец-медь 517

Лищенко Д.Н., Шалев А.С. Обзор экономического ущерба от некачественной электроэнергии 524

Лищенко Т. В., Иглин П. В., Хомяков А. Л. Перспективы развития шнекороторного вездехода 530

Лучинина Е.К., Рублева О.А. Моделирование процесса торцового прессования древесины в программе Solid Edge 537

Лялина В.А., Курбатова Е.Е. Анализ и оценка качества алгоритмов скелетизации изображений 542

Малышева Н.М., Тимина Н.В. Исследование температурного поля коллектора машины постоянного тока 550

Медведев О. Ю., Турубанов Н. В., Исупов А. Ю. Определение рациональной зоны установки основного решета в обводном канале дробилки 558

Михайловская С.А, Митенёв Ю.Н. Безопасность труда при прохождении студентами производственной практики 565

Мицкевич А.А. О разработке установки для гидропневматической промывки систем теплопотребления 575

Мицкевич А.А., Каргапольцев В.В. Оценка возможности применения дозаторов полифосфата натрия для коррекционной обработки воды 580

Мотовилова М.В. Способы предварительной температурной подготовки дизельного топлива в системе топливоподачи 587

Мякишев С. Л. Подготовка и публикация электронных изданий 592

Нелюбина А.С., Новосельцева Е.Л., Шалагинова Е.В. Оценка контроля качества при монтаже грузоподъемных механизмов внутри промышленных зданий 597

Нечаев А.А., Мельцов В.Ю. Формальный язык описания правил игр и игровых задач реального мира 606

Никулин А.В., Шилова З.В. Метод расчета условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва путем решения интегральных уравнений с применением программных средств 615

Новиков А. В., Новоселова О. А., Хорошинина Е. Н. Особенности эксплуатации трансформаторов, выработавших ресурс 621

Новосельцев Ю. П., Чумасова Е. В., Шалагинова Е.В. Звукоизоляция межквартирных перегородок и межэтажных перекрытий в жилых домах 629

Новосельцева Е. Л., Овчинникова Д.С. Особенности строительства в районах вечномерзлых грунтов 636

Новосельцева Е. Л., Пашкин Е. В., Новосельцев Ю.П. Анализ дефектов при устройстве скатных кровель во время капремонта жилых домов в разных регионах России 644

Палкина С.А., Фищева И.Н. Разработка программного обеспечения терминала Вятского палеонтологического музея 651

Панкратов П. С., Малышев Е. Н. Подходы к реализации нейронных сетей на аппаратном уровне 658

Папулова И. Е., Бортникова О. В. Разновидности древесного сырья для камерной сушки 664

Папулова И. Е., Колупаева М. И. Отделка стеновых панелей из массивной древесины защитно-декоративными покрытиями 672

Папулова И. Е., Шагина Д.С. Древесные породы, применяемые в домостроении 680

Паскарь В.С., Рублева О.А. Способы декорирования изделий из древесины 693

Певзнер М.З. Обследование садочного отжига латуни Л63 в окислительной атмосфере промышленной камерной печи 701

Певзнер М.З. Промышленные исследования влияния химического состава на свойства латунного проката после непрерывного отжига до мягкого состояния 709

Перевощиков В.Д., Куимов Е.А., Поляков С.М. Исследование процесса электрогидроимпульсной вытяжки тонколистовых материалов 720

Петров И.Е. Болонский процесс причина кризиса вузовского образования 728

Петров И.Е. Системный подход к управлению знаниями основа выхода из кризиса вузовского образования 735

Петухов П.А., Вахрушев В.Ю. Организация непрерывного мониторинга энергосистемы путём введения резервного канала связи 742

Печенкина Ю. А., Провалов В. С. Совершенствование системы управления процессом получения исходно разрешительной документации на строительство объекта средствами MS Office 750

Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С. Определение влияния компонентного состава топливной смеси на кинематическую вязкость 759

Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С. Определение влияния топливных присадок на кинематическую вязкость смесевого топлива 766

Подгорный В.А., Болховских А.А., Лялин С.Г. Исследование коэффициентов линейного предсказания 772

Поздин В.Н., Колупаев А.А., Красиков М.И. Обзор перекрестного проектирования в ключе динамического спектра для когнитивного радио 779

Поздин В.Н., Семеновых В.И., Крекнин А.А. Информационная система сбора и анализа данных о двигательной активности пациента 787

Поздин В.Н., Хохлов М.Г., Куклин В.В. Генерация ключей с использованием генетического алгоритма для шифрования изображений 794

Полевщиков А.С., Елькина Л.В. Взаимосвязь технологии панельного домостроения и архитектуры 803

Полевщиков А.С., Елькина Л.В. Многоквартирные дома: вопросы утепления фасадов 809

Полевщиков А.С., Елькина Л.В. Утепление фасадов: выбор материалов 815

Попова Е. С., Шемпелев А. Г. Анализ возможности и целесообразности автоматизации индивидуальных тепловых пунктов и их перехода на работу по пониженному температурному графику в условиях города Кирова 822

Присмотров Н. И., Пономарев Ю. Г., Пировских Е. Н. Математическая модель синхронного двигателя для расчета переходных процессов 831

Присмотров Н.И., Сластихин Н.С., Ишутинов Д.В. Влияние сил вязкого трения на рабочие характеристики вибрационных машин 839

Присмотров Н.И., Сластихин Н.С., Ишутинов Д.В. Рабочие характеристики вибрационных машин при технологических нагрузках типа сухого трения 847

Пыжьянова Е.А., Попова К.И., Лялин С.Г. Разработка и исследование алгоритма Voice Activity Detection 853

Романенко Е. А., Охапкин С. И. Исследование влияния искажений формы кривой изменения напряжения на мощность колебаний напряжения 860

Ростовцев В.С., Степанов И.В. Методы и алгоритмы программной реализации модулярных арифметических вычислений 869

Рудакова Е. О., Фищева И.Н. Разработка приложения, реализующего генеалогическое древо 886

Русов В.С., Захарова Д.А., Чарушин Н.А. Разработка и реализация эффективного алгоритма получения требуемых конфигураций кубика Рубика 894

Русских А.Н. Комбинированный метод расчета прочности высокоскоростного вентильного электродвигателя постоянного тока 901

Савиных Н.А., Вологжанина С.А. BIM-технологии в строительной отрасли 907

Санникова А.В., Трушкова У.А., Лялин С.Г. Исследование мел-частотных кепстральных коэффициентов и их производных при решении задачи голосовой идентификации 914

Семёновых Л. В. Освоение сложных разделов электротехники с помощью Qucs в рамках лабораторного практикума 919

Сергеева А. В., Скворцов А. И., Бердов Д. А., Бузунов Д. С. Структура и твердость сплава Zn–23%Al в зависимости от вида и степени пластической деформации 927

Симонов М. В., Скворцов Д. Ю. Обзор современных тенденций повышения эксплуатационных свойств циркуляционных насосов 933

Ситников М.Ю. Конструкция универсального безвершинного резца для токарной обработки валов 939

Скворцов Д. Ю., Сергеев Д. Г. Способы повышения надежности и работоспособности циркуляционных насосов с компьютерным управлением 948

Соболева И.А. Опыт реализации и проблемы генерального плана Норильска в современных условиях градостроительства 956

Стариков А. И. Влияние Интернет-технологий на бизнес: идеальный выбор 965

Страбыкин Д. А. Абдуктивный логический вывод и его разновидности 972

Тарабукина О. А., Тюкалов Ю. Я. Объёмное напряжённо-деформированное состояние арочного грунтозасыпного моста из пластиковых напорных труб 979

Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Роль технологической операции прессования в процессах декоративной упрочняющей обработки древесины 986

Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Влияние режимов упрочняющей декоративной обработки на эксплуатационные характеристики изделий из древесины сосны 993

Татаринова Н. В., Суворов Д. М., Сущих В. М. Оценка эффективности оптимизации режимов теплоснабжения г. Кирова от ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 при работе по тепловому графику путем перераспределения между ними тепловой нагрузки 1001

Титова Н.А., Ланских В.Г., Ланских Ю.В. Реализация генераторов псевдослучайных чисел с заданным распределением в среде MATLAB и оценка их качества 1009

Турубанов, Н.В., Медведев, О.Ю., Исупов, А.Ю. Исследование влияния установки направляющих в пневмосепарирующем канале на показатели работы молотковой дробилки 1015

Тюрикова К. Н. Исследование и анализ потерь работы с интерфейсами программных продуктов различных разработчиков со схожим функционалом на примере Openproj и Microsoft Project 1022

Фукс С.Л., Мусихина Т.А., Хитрин С.В. Анализ перспектив применения золы уноса в качестве геополимера 1031

Фукс С.Л., Хитрин С.В., Мусихина Т.А. Разработка технологии получения композиционных сорбционных материалов с использованием отходов энергетических и химических производств 1037

Хмелёва Е. А., Земцова Е. А., Казиенков С.А. Способы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ 1044

Цвяк В.В., Вахрушев В.Ю. Применение PLC-технологии для автоматизации жилого дома 1049

Чаганов А.Б., Куклина М.Г. Программные продукты Нанософт в BIM проектировании 1057

Черемисинов П.Н. Анализ возможности улучшения физико-химических свойств смеси дизельного топлива с рапсовым маслом 1065

Четверикова Е.Д., Девятерикова С.В., Земцова Е.А. Проблема раздельного сбора ТКО на примере города Кирова 1073

Чупраков Д.В., Трубин И.С. Прозоров Д.Е. Моделирование системы с кодовым разделением каналов в среде LabVIEW 1081

Чупраков П.Г. Разработка нейросетевого алгоритма построения ритмограммы 1094

Шевелёв Р.А., Вахрушев В.Ю. Автоматизация котельных систем 1113

Шемпелев А. Г., Иглин П. В., Крупин Д. Ф. К вопросу о подогреве подпиточной воды во встроенном пучке конденсатора турбоустановки ПТ-60-90/13 ст. №6 Ефремовской ТЭЦ 1121

Шестаков А.В. Математическая модель асинхронного двигателя, учитывающая реальные факторы, при ШИМ-питании 1129

Шестаков А.В. Моделирование и гармонический анализ импульсного напряжения при синусоидальной широтно-импульсной модуляции 1137

Шишкин В. М., Левашов А. П. Конечно-элементное моделирование продольно-поперечного изгиба балок 1145

Шишкин В. М., Левашов А. П. Моделирование поперечного изгиба балок с учетом деформационного упрочнения материала 1152

Шишкин В. М., Левашов А. П. Учет веса вертикально закрепленного тест-образца при определении упругих свойств материала динамическим способом 1160

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бакулина В. Н., Толмачев М. И. Компьютерное моделирование дифракционных картин и их зрительное восприятие 1165

Брагин Д. М., Позолотин А.П., Будин А.Г. Особенности процесса сушки древесины для организации высокоэнтальпийного горения 1173

Владыкин А. С., Хлебов А. Г. Восприимчивость УНТ серии «Tuball» к магнитному полю, с учетом особенностей их осаждения в УНТ-бумагу 1177

Гребенщиков Л. Т., Гребенщиков М. Л. Метрологическое обеспечение спектрометрических исследований теплового излучения высокотемпературных объектов 1185

Запольских С.Н., Бобров А.С. Расчет энергетических характеристик электромеханических систем по экспериментальным данным 1193

Каргапольцев В.В., Будин А.Г, Зырянов И.А. Оптимизация системы воспламенения стендового гибридного ракетного двигателя 1204

Кузьмин В. А., Заграй И. А., Десятков И. А. Актуальность использования торфа в теплоэнергетике Кировской области 1211

Кузьмин В. А., Заграй И. А., Десятков И. А. Характеристики фрезерного торфа, поставляемого на Кировскую ТЭЦ-4 1219

Морозова З.Г., Фролов В.М. Формальная кинетика термической деструкции полимеров 1226

Фролов В. М., Морозова З. Г. Исследование кинетики разложения охладителей 1238

Технические науки

Оптимальный фильтр оценок инерционности объекта управления

Агалакова Л.М.[a], Косолапов Е.В.[b], Кузнецов В.Н.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[a,b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[a,b,c]

Аннотация: целью работы является повышение динамической точности и быстродействия определения динамических характеристик объекта с переменными во времени параметрами по режимам его работы. Решение задач в соответствии с указанной целью актуально при построении систем автоматического управления выходными координатами сложных технологических объектов, обладающих инерционностью [Дейч, с.7], [Боднер, с.162]. Задача решена путем построения оптимального фильтра, который позволяет получить оценки инерционности объекта в режиме реального времени. Алгоритм решения обеспечивает инвариантность процедуры идентификации инерционности объекта на фоне рабочего режима. Процедура идентификации состоит в определении инерционности объекта в конечном числе точек путем подачи пробных сигналов специальной формы (активный эксперимент). При этом параметры пробного сигнала подобраны так, чтобы не нарушить режим нормального функционирования объекта. Статья предназначена для научных сотрудников, аспирантов и специалистов, занимающихся автоматическим управлением технологических объектов.

Ключевые слова: динамическая характеристика, фильтр оценок, идентификация, пробный сигнал, инвариантность.

При современном состоянии автоматического управления идентификация динамических характеристик сложных технологических объектов является актуальной задачей. Идентификация позволяет определить структуру модели объекта и восстановить ее параметры с целью наилучшего совпадения выходных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях, что повышает качество управления объектом [Райбман, с.15].

Целью работы является повышение динамической точности и быстродействия управления инерционным объектом с переменными во времени параметрами по режимам его работы. Достижение поставленной цели возможно путем решения задачи построения оптимального фильтра оценок инерционности объекта в режиме реального времени.

Построение оптимального фильтра оценок инерционности линейного объекта первого порядка с переменными во времени параметрами осуществляется по результатам наблюдения непрерывных выходного сигнала $Y(t)$ объекта и его производной $Y_d(t)$. На рис. 1 представлена блок – схема динамической системы, преобразующей входные сигналы $g(t)$, $f(t)$ и $s(t)$ в выходной сигнал $\hat{Y}(t)$, представляющий оптимальную оценку выходного сигнала объекта.

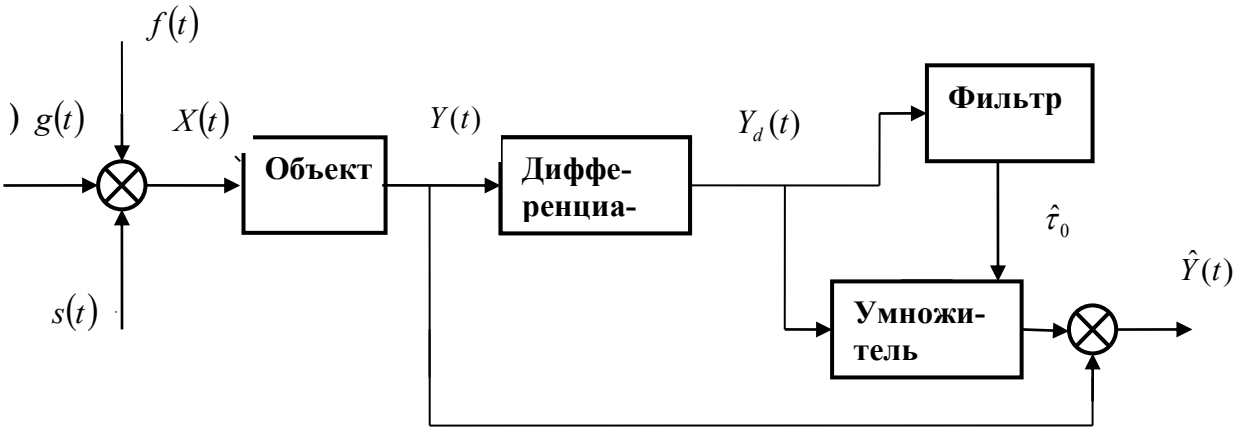


Рисунок 1. Блок-схема динамической системы

В любой момент времени входной сигнал объекта $X(t)$ представляет собой аддитивную смесь нестационарных сигналов управления $g(t)$ и возмущения $f(t)$, обусловленных рабочим режимом объекта. Кроме этих сигналов, в аддитивную смесь входит детерминированный пробный сигнал $s(t)$ с равными по площади положительной и отрицательной частями (Рис.2), параметры которого A_1, A_2, T_1 и T_2 известны. В системах автоматического управления принято инерционность объекта характеризовать постоянной времени. Пробный сигнал $s(t)$предназначен для восстановления (идентификации) постоянной времени объекта τ_0, для которой известны диапазон и максимальная скорость изменения, но неизвестен закон изменения во времени. Так как процесс восстановления τ_0 происходит на фоне рабочего режима объекта, то амплитуда A_1 пробного сигнала должна быть незначительной и может быть определена по формуле [Дейч, с.35]

$$A_1 = 20 \lg \frac{\textit{максимальное значение полезного сигнала}}{\textit{эффективное значение шумов}} \quad .$$

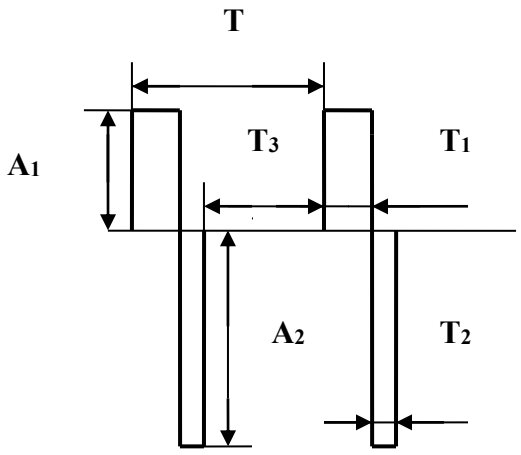


Рисунок 2. Вид пробного сигнала

Идентификация τ_0 затрудняется наличием шумов, которыми могут быть случайные помехи, а также ошибки измерения и преобразования. Без потери общности можно все эти шумы привести к входу фильтра и представить одной величиной – шумом измерительного канала. Фильтр должен обеспечить инвариантность (независимость) процедуры идентификации постоянной времени объекта к сигналам рабочего режима $g(t)$ и $f(t)$ с учетом требований к точности, быстродействию и помехозащищенности оценок постоянной времени $\hat{\tau}_0$.

Длительность T_1 пробного сигнала должна быть достаточной для определения постоянной времени объекта τ_0 и не может превышать одной четверти от наименьшего ее значения. Отрицательная часть пробного сигнала $s(t)$ предназначена для компенсации его положительной части $A_1T_1 = A_2T_2$, что обеспечивает независимость среднего значения сигнала рабочего режима от действия пробного сигнала.

Исходным уравнением для синтеза фильтра является уравнение вынужденного движения системы (Рис.1)

$$\frac{dY_d^2(t)}{dt^2} + b_1(t)\frac{dY_d(t)}{dt} + b_2(t)Y_d(t) = a_1(t)\frac{dX(t)}{dt},$$

где $b_1(t)$, $b_2(t)$, $a_1(t)$ – переменные во времени коэффициенты, имеющие вид

$$b_1(t)=\frac{\tau_0(t)+\tau_d}{\tau_d\tau_0(t)};\quad b_2(t)=\frac{1}{\tau_d\tau_0(t)};\quad a_1(t)=\frac{K_0}{\tau_d\tau_0(t)}.$$

В представленных выше коэффициентах K_0 есть коэффициент усиления объекта, а τ_d является постоянной времени дифференциатора, выбранной из условия $\tau_d \ll \tau_0$ и физической реализуемости. При подаче на вход объекта пробного сигнала $s(t)$ в виде скачка положительной полярности A_1 максимальное значение продифференцированной реакции объекта $Y_d(t_m)$ запишется

$$Y_d(t_m)=\frac{A_1K_0}{\tau_0-\tau_d}(e^{\frac{-t_m}{\tau_0}}-e^{\frac{-t_m}{\tau_d}}),$$

где $t_m = T_1$ – время появления $Y_d(t_m)$, которое определяется по формуле

$$t_m=(\ln\frac{1}{\tau_d}-\ln\frac{1}{\tau_0})/(\frac{1}{\tau_d}-\frac{1}{\tau_0}).$$

Постоянная времени объекта τ_0 определяется как величина обратно пропорциональная $Y_d(t_m)$, то есть $\tau_0(t_m)=1/Y_d(t_m)$. Так как на переходных режимах τ_0 изменяется, то значение t_m также будет меняться. Погрешность в определении t_m может быть учтена на этапе анализа. Так в диапазоне изменения τ_0 от 1с до 8с и при скорости изменения $d\tau_0/dt=1$ погрешность в определении t_m не превышает 4%.

В общем случае сигнал с выхода дифференциатора $Y_d(t)$ в любой момент времени содержит реакции на все входные сигналы $g(t)$, $f(t)$, $s(t)$ (Рис.1), а также шум измерительного канала, который можно представить центрированным белым гауссовым шумом.

Фильтр оценок обеспечивает выделение из этой смеси сигналов только реакции дифференциатора на положительную часть пробного сигнала в дискретные моменты времени $t_i = iT+T_1$, где i – номер текущего периода следования пробного сигнала. Период T следования пробных сигналов определяется как $T=T_1+T_2+T_3$ (Рис.2). Пауза T_3 между пробными сигналами вводится для обнаружения реакции дифференциатора $Z(t)$ на сигналы $g(t)$ и $f(t)$ рабочего процесса. По измеренным значениям сигнала $Z(t)$в конце текущего i и предыдущего $(i-1)$

периодов следования пробного сигнала определяется экстраполируемое значение сигнала $Z_e(t_i)$на момент $t_i = i\,\mathrm{T}+\mathrm{T}_1$ оценки τ_0: $Z_e(t_i) = (1+E)Z(t_i) - EZ(t_{i-1})$, где $E = \mathrm{T}_1/\mathrm{T}$ называется коэффициентом экстраполяции.

Оценка постоянной времени объекта $\hat{\tau}_0$ в момент времени t_i рассчитывается как

$$\hat{\tau}_0(t_i) = \frac{1}{Z(t_i) - Z_e(t_i)},$$

где $Z(t_i) = Y_d(t_i)$– реакция дифференциатора на смесь сигналов $g(t)$, $f(t)$, $s(t)$.

Далее умножая оценку $\hat{\tau}_0(t_i)$ на сигнал дифференциатора $Y_d(t_i)$и складывая произведение с сигналом объекта $Y(t_i)$, получим оптимальную детерминированную оценку $\hat{Y}(t_i)$ выходного сигнала объекта в момент времени t_i (Рис.1). Присутствие шума в измерительном канале требует решения задачи в стохастическом плане, что рассмотрено в работе [Агалакова, с. 74].

Построенный оптимальный фильтр позволяет не менее четырех раз в секунду скорректировать значение постоянной времени (инерционности) объекта и, тем самым, повысить динамическую точность и быстродействие определения выходного сигнала объекта по режимам его работы. Фильтр может быть использован при решении задачи синтеза адаптивной системы управления инерционным объектом.

Построен фильтр оптимальных оценок инерционности объекта управления с использованием метода активной идентификации, проводимой на фоне рабочего режима объекта.

Список литературы

1. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М.: Энергия, 1979. 240 с.

2. Боднер В.А., Рязанов Ю.А., Шаймарданов Ф.А. Системы автоматического управления двигателями летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 248 с.

3. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975. 374 с.

4. Алгоритм фильтрации помех / Л.М.Агалакова // Наука – производство – технология – экология : материалы Всерос. науч. – техн. конф.: Т.6 / ВятГУ. – Киров, 2005. – С. 74 – 76.

Особенности раскроя пиловочника крупных размеров брусово-сегментным способом с выпиливанием трех брусьев разной толщины

Агапов А. И.
доктор технических наук, профессор кафедры машин и технологии деревообработки,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: kaf_mtd@vyatsu.ru

Аннотация: Составлена математическая модель для определения оптимальных размеров брусьев и сегментов брусово-сегментного способа раскроя пиловочника крупных размеров. Целевая функция представляет собой сумму площадей поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при распиловке трех двухкантных брусьев и двух сегментов. Уравнение связи устанавливают взаимосвязь размеров обрезных пиломатериалов, получаемых из брусьев и сегментов, с диаметром пиловочника в вершинном торце. Для определения оптимальных размеров пиломатериалов, получаемых из брусьев и сегментов использовался численный метод. Для этого составлен алгоритм решения задачи оптимизации раскроя пиловочника в относительных единицах. Для условий, когда толщина центрального бруса равна толщине бокового бруса оптимальная толщина бруса, при которой целевая функция принимает максимальное значение равна 0,189 от диаметра пиловочника в вершинном торце. С увеличением относительной толщины центрального бруса целевая функция в начале возрастает, принимая максимальное значение при $c = 2{,}0$, а затем незначительно уменьшается. Таким образом, определены оптимальные размеры брусьев, сегментов и досок при которых целевая функция принимает максимальное значение. Алгоритм решения задачи рекомендуется использовать при расчете и составлении поставов.

Ключевые слова: Пиловочник, брус, сегмент, доски, численный метод, целевая функция, уравнения связи, алгоритм, оптимальные размеры.

В настоящее время в промышленности получил распространение брусово-развальный способ раскроя пиловочника [Аксенов, с. 142], [Ветшева, с. 78]. При выполнении этого способа раскроя вначале получают двухкантные брусья и боковые доски, затем двухкантные брусья распиливаются на обрезные доски, а боковые доски раскраивают по ширине. Технологический цикл изготовления обрезных пиломатериалов небольшой и поэтому является экономически выгодным [Калитеевский, с. 243], [Уласовец, с. 451].

Однако при использовании брусово-развального способа раскроя пиловочника из сбеговой зоны получается потери древесины в виде реек, горбылей

и обапола. Это снижает полезный выход пиломатериалов. Поэтому предлагается брусово-сегментный способ раскроя пиловочника, в котором сегменты можно раскраивать как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях [Патент России 2530997], [Патент России 2014150290]. В работах Аксенова П. П. отмечается, что брусово-сегментный способ раскроя пиловочника позволяет использовать сбеговую зону и тем самым повысить выход обрезных пиломатериалов. В работах Агапова А. И. [Агапов, с. 138], [Агапов, с. 1369], [Агапов, с. 1350] предлагается осуществлять раскрой пиловочника брусово-сегментным способом, для которого получены оптимальные размеры брусьев и боковых досок. В этом случае получается максимальный выход пиломатериалов. Эти результаты получены для варианта, когда толщина брусьев одинакова. Однако, при раскрое пиловочника крупных размеров, с выпиливанием трех брусьев толщины этих брусьев могут быть не одинаковой толщины (Рис.1).

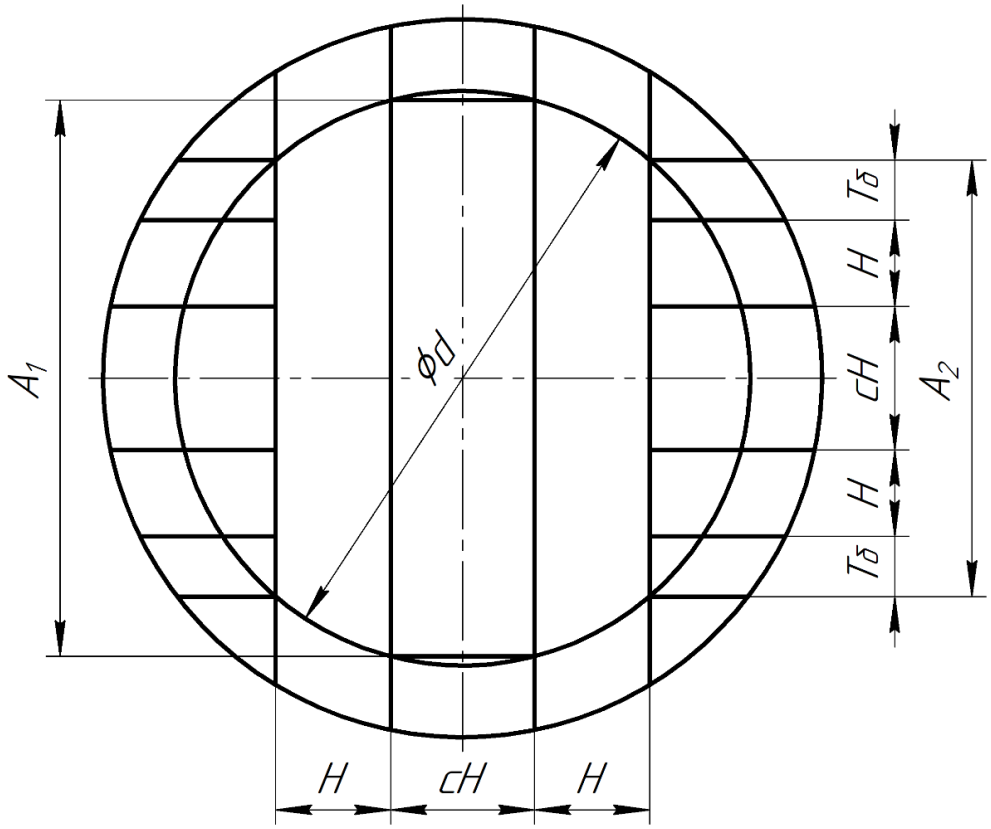


Рисунок 1. Схема раскроя пиловочника крупных размеров брусово-сегментым способом с выпиливанием трех брусьев различной толщины

Рассматриваем задачу оптимизации, когда при раскрое крупных размеров выпиливаются три двухкантных бруса, причем центральный брус может выпи-

ливаться и больше и меньше толщины бокового бруса. Вначале данную задачу оптимизации решаем без учета ширины пропила. Для составления математической модели задачи оптимизации в качестве критерия оптимальности выбираем объем получаемой пилопродукции [Пижурин, с. 178], [Агапов, с. 128]. Так как при данном способе раскроя пиловочника длина получаемых пиломатериалов равна длине бревна, то в математической модели длину пиломатериалов принимаем за единицу. Тогда целевую функцию представляем в виде суммы дух площадей поперечных сечений пиломатериалов получаемых из трех двухкантных брусьев и двух необрезных сегментов

$$Z = Z_{\text{бр}} + Z_{\text{с}}, \tag{1}$$

где $Z_{\text{бр}}$ – площадь поперечного сечения пиломатериалов, получаемых при раскрое двухкантных брусьев;

$Z_{\text{с}}$ – площадь поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое двух необрезных сегментов.

Постановка данной задачи оптимизации основывается на предположении, что с увеличением толщины двухкантных брусьев площадь поперечного сечения пиломатериалов из этих брусьев возрастает, а площадь поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое необрезных сегментов, уменьшается. Очевидно, есть такое сочетание этих площадей, при которых целевая функция (сумма этих площадей поперечных сечений) принимает максимальное значение. Это и будет искомым оптимальным вариантом [Агапов, с. 138].

Площадь поперечного сечения трех двухкантных брусьев можно определить по формуле

$$Z_{\text{бр}} = cH\frac{d + A_1}{2} + H(A_1 + A_2), \tag{2}$$

где d – диаметр пиловочника в вершинном торце;

c – относительная величина уменьшения или увеличения толщины центрального бруса по сравнению с толщиной бокового бруса, $c = H_{\text{ц}}/H$;

$H_{ц}$ – толщина центрально двухкантного бруса;

H – толщина бокового двухкантного бруса;

A_1 – ширина пласти центрального двухкантного бруса;

A_2 – ширина наружной пласти бокового двухкантного бруса.

Площадь поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое необрезных сегментов, представляем как сумму поперечных сечений трех трехкантных полубрусьев и боковых трехкантных досок

$$Z_{с} = Z_{сб} + Z_{сд}, \quad (3)$$

где $Z_{сб}$ – площадь поперечных сечений трехкантных полубрусьев, получаемых при раскрое необрезных сегментов;

$Z_{сд}$ – площадь поперечных сечений трехкантных досок, получаемых при раскрое необрезных сегментов.

Площадь поперечных сечений трехкантных полубрусьев, получаемых при раскрое необрезных сегментов можно определить по формуле

$$Z_{сб} = cH\frac{d + A_1}{2} + H(A_1 + A_2) - H^2(с + 2)^2. \quad (4)$$

Площадь поперечных сечений боковых трекантных досок, получаемых при раскрое необрезных сегментов, можно определить по формуле

$$Z_{сд} = 2T_{б}^2, \quad (5)$$

где $T_{б}$ – толщина боковой трехкантной доски, получаемой из сегментов.

Площадь поперечного сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое необрезных сегментов, определится по формуле

$$Z_{с} = 0{,}5cH(d + A_1) + H(A_1 + A_2) - H^2(с + 2)^2 + 2T_{б}^2. \quad (6)$$

Тогда целевая функция будет иметь вид

$$Z = cHd + cHA_1 + 2HA_1 + 2HA_2 - H^2(с + 2)^2 + 2T_{б}^2. \quad (7)$$

Уравнения связи можно написать, используя теорему Пифагора. Взаимосвязь между диаметром пиловочника в вершинном торце с размерами брусьев и досок можно представить следующими равенствами.

Ширину наружной пласти центрального двухкантного бруса можно определить по формуле

$$A_1 = \sqrt{d^2 - c^2 H^2}. \quad (8)$$

Ширину наружной пласти бокового двухкантного бруса можно определить по формуле

$$A_2 = \sqrt{d^2 - H^2(c+2)^2}. \quad (9)$$

Толщину боковой трехкантной доски, получаемой при раскрое необрезного сегмента можно определить по формуле

$$T_б = \frac{A_2 - H(c+2)}{2}. \quad (10)$$

Учитывая формулу (10) сумма площадей поперечных сечений боковых трекантных досок, выпиливаемых из необрезных сегментов определится по формуле

$$Z_{сд} = \frac{A_2^2 - 2H(c+2)A_2 + H^2(c+2)^2}{2}. \quad (11)$$

Величина A_2^2 в формуле (11) равна $d^2 - H^2(c+2)^2$. С учетом этого равенства формула (11) будет иметь вид

$$Z_{сд} = \frac{d^2}{2} - H(c+2)A_2. \quad (12)$$

Тогда площади поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое необрезных сегментов определятся по формуле

$$Z_c = 0{,}5cHd + 0{,}5cHA_1 + HA_1 + HA_2 - H^2(c+2)^2 - \\ -H(c+2)A_2 + \frac{d^2}{2}. \quad (13)$$

С учетом равенства (13) целевую функцию можно представить в следующем виде

$$Z = cHd + cHA_1 + 2HA_1 + 2HA_2 - H^2(c+2)^2 - H(c+2)A_2 + \frac{d^2}{2}. \quad (14)$$

Выполнение вычислений по этой функции является громоздким. Поэтому предлагается использовать численный метод расчета. При составлении алгоритма решения задачи оптимизации размеры брусьев и боковых досок, а так же площади их поперечных сечений представляются в относительных единицах.

Относительная ширина пласти центрального двухкантного бруса определится по формуле

$$m_{A_1} = \sqrt{1 - c^2 m_H^2}. \quad (15)$$

Относительная ширина наружной пласти бокового двухкантного бруса определится по формуле

$$m_{A_2} = \sqrt{1 - m_H^2(c+2)^2}. \quad (16)$$

Относительная толщина боковой трехкантной доски определится по формуле

$$m_{T_б} = \frac{m_{A_2} - m_H(c+2)}{2}. \quad (17)$$

Относительная площадь поперечного сечения трех двухкантных брусьев определится по формуле

$$Z_{бр} = 0{,}5cm_H(1 + m_{A_1}) + (m_{A_1} + m_{A_2})m_H. \quad (18)$$

Относительная площадь поперечных сечений боковых трехкантных досок, получаемых при раскрое обрезных сегментов, определится по формуле

$$Z_{сд} = 0{,}5 - (c+2)m_H m_{A_2}. \quad (19)$$

Относительная площадь поперечных сечений трехкантных полубрусьев, получаемых при раскрое необрезных сегментов, определится по формуле

$$Z_{сб} = 0{,}5cm_H(1 + m_{A_1}) + m_H(m_{A_1} + m_{A_2}) - m_H^2(c+2)^2. \quad (20)$$

Относительная площадь поперечных сечений пиломатериалов, получаемых при раскрое необрезных сегментов, определится по формуле

$$Z_{\text{с}} = Z_{\text{сб}} + Z_{\text{сд}}. \qquad (21)$$

Суммарная относительная площадь поперечных сечений пиломатериалов получаемых при раскрое трех двухкантных брусьев и двух необрезных сегментов, определится по формуле

$$Z = Z_{\text{бр}} + Z_{\text{с}}. \qquad (22)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1, в которой указаны оптимальные относительные размеры двухкантного бруса, необрезных сегментов и досок, а так же оптимальные относительные площади поперечных сечений, для различных величин коэффициента c. Эти результаты получены путем двухэтапных расчетов. Вначале рассчитывают по алгоритму размеры брусьев и сегментов, а так же величину целевой функции, при изменении относительной толщины бруса с интервалом 0,01. По результатам расчетов находят максимальное значение целевой функции. Далее на втором этапе аналогичные расчеты выполняют при изменении относительной толщины бруса с интервалом 0,001. Полученные оптимальные результаты заносятся в Табл. 1.

Таблица 1

Оптимальные относительные размеры брусьев, сегментов и боковых досок, а так же площади поперечных сечений брусьев и сегментов для различных коэффициентов с

	m	m_1	m_1	m	Z	Z	Z		
0,5	0,217	0,9941	0,8401	0,1488	0,5062	0,0443	0,2119	0,2562	0,762345
1	0,189	0,9820	0,8237	0,1284	0,5286	0,0330	0,2071	0,2400	0,768609
1,5	0,166	0,9685	0,8139	0,1165	0,5410	0,0271	0,2034	0,2305	0,771478
2	0,147	0,9558	0,8089	0,1104	0,5469	0,0244	0,2012	0,2256	0,772464
2,5	0,131	0,9449	0,8078	0,1091	0,5481	0,0238	0,2006	0,2244	0,772435
3	0,117	0,9364	0,8110	0,1130	0,5443	0,0255	0,2021	0,2276	0,771882
3,5	0,106	0,9286	0,8125	0,1147	0,5423	0,0263	0,2024	0,2288	0,771077
4	0,097	0,9217	0,8132	0,1156	0,5411	0,0267	0,2024	0,2291	0,770165

Расчеты показали, что оптимальная относительная площадь поперечного сечения сегментов с увеличением коэффициента с в начале уменьшается, а за-

тем возрастает. Минимальное значение относительной площади поперечного сечения сегментов принимает при $c = 2{,}5$. С увеличением коэффициента c относительная площадь поперечного сечения брусьев возрастает до значения коэффициента $c = 2{,}5$, а затем незначительно уменьшается. В результате суммарная площадь поперечных сечений брусьев и сегментов принимает максимальное значение при $c = 2$.

Таким образом впервые была поставлена и решена задача оптимизации раскроя пиловчника крупных размеров брусово-сегментным способом с выпиливанием трех двухкантных брусьев и двух сегментов и определены оптимальные размеры брусьев и сегментов. Получен алгоритм решения задачи оптимизации данной схемы раскроя пиловочника. Алгоритм решения задачи рекомендуется использовать для расчета и составления поставов.

Список литературы

1. Аксенов П. П. Технология пиломатериалов. М, 1963. – 579 с.
2. Ветшева В. Ф. Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 168 с.
3. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. Издание второе, исправленное и дополненное. СПб: Профи КС, 2008. 496 с.
4. Уласовец В. Г. Технологические основы производства пиломатериалов. Учебное пособие. Екатеринбург. Урал.гос.лесотехн.ун-т, 2002. – 510 с.
5. Патент на изобретения России 2530997, 20.08.2014. Агапов А. И. Способ изготовления обрезных пиломатериалов из пиловочника // Патент России №2530997. 2014. кл. B27B 1/00.
6. Патент на изобретения России. Заявка 2014150290/13 (080678), 11.12.2014. Агапов А. И. Способ изготовления обрезных пиломатериалов из пиловочника больших и крупных размеров // кл. B27B 1/00.
7. Агапов А. И. Определение оптимальных размеров брусьев и досок при раскрое пиловочника брусово-сегментным способом с учетом ширины пропила. // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». Архангельск, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. – 2016. – №1, С. 138-146.
8. Агапов А. И. Раскрой пиловочника средних размеров с выпиливанием двух брусьев и двух сегментов [Электронный ресурс]/ А. И. Агапов // Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция «Общество, наука, инновации» (НПК-2013). 15-26 апреля 2013 г.: сб.материалов/ВятГУ; - Киров, 2013. – С. 1369 – 1373.

9. Агапов А. И. Раскрой пиловочника средних размеров с выпиливанием одного бруса и двух сегментов [Электронный ресурс]/ А. И. Агапов // Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция «Общество, наука, инновации» (НПК-2013). 15-26 апреля 2013 г.: сб.материалов/ВятГУ; - Киров, 2013. – С. 1350 - 1354.

10. Пижурин А. А., Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки: учебник. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.

11. Агапов А. И. Влияние ширины пропила на оптимальные размеры брусьев и досок при раскрое пиловочника с выпиливанием трех брусьев одинаковой толщины и четырех пар боковых досок. // Лесотехнический журнал. Воронеж, ВГЛТА. – 2014. – Т4, №2, С.128-135.

Применение принципа гаусса для вывода дифференциальных уравнений движения твердого тела

Алешкин А.В.[a], Левашов А.П.[b], Тимофеев Б.Л.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и строительной механики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: usr00008@vyatsu.ru, levashov@vyatsu.ru, usr00416@ vyatsu.ru

Аннотация: Математическое моделирование является неотъемлемым этапом оптимального проектирования объектов техники и исследования особенностей различных процессов. Этот этап требует использования, а возможно и разработки на основе достижений фундаментальных и прикладных наук математического описания создаваемого объекта или процесса. Так, например, дифференциальные уравнения, описывающие движения механических систем, могут быть получены с помощью вариационных принципов механики. Одним из таких принципов является дифференциальный вариационный принцип наименьшего принуждения Гаусса [1]. Он позволяет получить дифференциальные уравнения действительного движения механических систем с голономными и неголономными связями при действии произвольных сил, из условий стационарности принуждения системы в смысле Гаусса по ускорениям ее точек. Принцип Гаусса имеет не только теоретическую, но и практическую значимость, о чем свидетельствует возросший в последнее время интерес к применению этого принципа в различных исследованиях. Так, в статье А.П. Маркеева [6], приведены примеры использования принципа Гаусса для вывода уравнений поступательного движения механических систем, состоящих из твердых тел. Ю.М. Дракунов [4] применил принцип Гаусса для решения задач синтеза рычажных механизмов, совершающих плоское движение. А.Ф. Верещагин [7] использовал этот принцип для непосредственного компьютерного моделирования динамики управляемых механических систем (манипуляторов) без предварительного вывода дифференциальных уравнений движения этих систем. В работах ученых Санкт-Петербургского университета [3] принцип Гаусса был использован при решении задач оптимального управления.

Цели данной статьи состоят в получении общих выражений принуждения в смысле Гаусса для твердого тела в случаях его сферического и свободного движений, а также в выводе дифференциальных уравнений движения тела в указанных случаях из условий стационарности найденных выражений принуждения по ускорениям точек. В качестве примера вывода дифференциальных уравнений движения твердого тела с использованием принципа Гаусса рассмотрена задача о движении твердого тела около неподвижной точки.

Ключевые слова: вариационные принципы, принуждение по Гауссу, поле ускорений, условия стационарности, дифференциальные уравнения.

Введение

Как известно [5], аналитическое выражение принуждения по Гауссу для механической системы имеет вид:

$$Z = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N} m_k \left[\left(\ddot{x}_k - \frac{F_{kx}}{m_k} \right)^2 + \left(\ddot{y}_k - \frac{F_{ky}}{m_k} \right)^2 + \left(\ddot{z}_k - \frac{F_{kz}}{m_k} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где N - число точек механической системы; $\vec{F}_k$ - равнодействующая активных сил, действующих на точку M_k; $\frac{\vec{F}_k}{m_k}\left(\frac{F_{kX}}{m_k}, \frac{F_{kY}}{m_k}, \frac{F_{kZ}}{m_k}\right)$ $(k = 1,2,\text{L}\ ,N)$ - ускорение точки M_k в свободном движении (только под действием заданных сил и при отсутствии связей); $\vec{a}_k\,(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k)$ $(k = 1,2,\text{L}\ ,N)$ - ускорение точки M_k в кинематически возможном движении (под действием как заданных сил так и реакций связей).

Принуждение по Гауссу для твердого тела можно представить в виде:

$$Z = \left\{ \left(\frac{1}{2}\int_{(V)} a_x^2 \cdot \rho dV - \int_{(V)} a_x \cdot F_x^e \cdot dV \right) + \left(\frac{1}{2}\int_{(V)} a_y^2 \cdot \rho dV - \int_{(V)} a_y \cdot F_y^e \cdot dV \right) + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{1}{2}\int_{(V)} a_z^2 \cdot \rho dV - \int_{(V)} a_z \cdot F_z^e \cdot dV \right) \right\} + \text{L} \quad , \quad (2)$$

где $\rho(x,y,z)$ - плотность вещества в данной точке (выделенном элементарном объеме) твердого тела; a_x, a_y, a_z - компоненты векторного поля ускорений данной точки твердого тела, отнесенные к осям выбранной системы координат; F_x^e, F_y^e, F_z^e - проекции внешних активных сил, действующих на данную точку тела, на выбранные оси координат; точками обозначены слагаемые, независящие от ускорений, а интеграл распространяется на весь объем, занимаемый телом.

Основные результаты

Выражение принуждения по Гауссу для твердого тела, совершающего сферическое движение.

Поместим в закрепленную точку О твердого тела начало двух систем отсчета: неподвижной $OX_1Y_1Z_1$ и подвижной $OXYZ$, жестко связанной с телом (рис.1). Положение подвижной системы отсчета $OXYZ$ относительно системы отсчета $OX_1Y_1Z_1$ зададим углами Эйлера ψ, φ, θ. Как известно [4,5], проекции вектора мгновенной угловой скорости тела на оси координат OXYZ определяются кинематическими уравнениями Эйлера:

$$\omega_x = \dot{\psi}\sin\theta\sin\varphi + \dot{\theta}\cos\varphi;\ \omega_y = \dot{\psi}\sin\theta\cos\varphi - \dot{\theta}\sin\varphi;\ \omega_z = \dot{\psi}\cos\theta + \dot{\varphi}$$

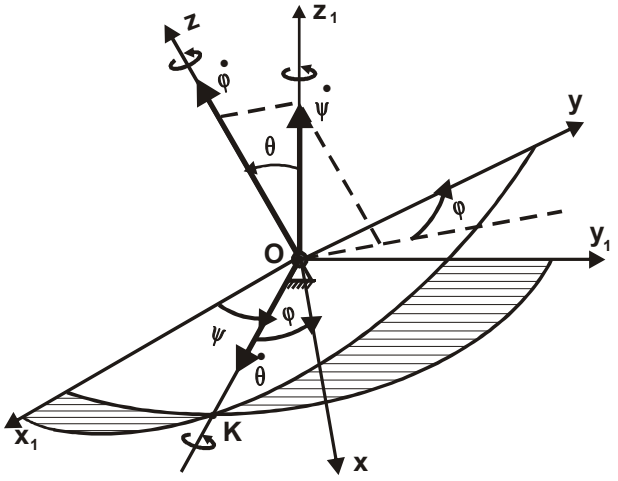


Рисунок 1

В соответствии с теоремой Ривальса [5], компоненты векторного поля ускорений точек твердого тела, совершающего сферическое движение, являются суперпозицией векторных полей вращательного и осестремительного ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}^{\text{вр}} + \vec{a}^{\text{ос}}, \qquad (3)$$

где $\vec{a}^{\text{вр}} = \vec{\varepsilon} \times \vec{r}$, $\vec{a}^{\text{ос}} = \vec{\omega} \times \vec{V} = \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}$, а $\vec{\omega}, \vec{\varepsilon}$ - векторы мгновенной угловой скорости и мгновенного углового ускорения твердого тела.

Проекции ускорения произвольной точки твердого тела на оси подвижной системы координат $OXYZ$, жестко связанной с телом, можно определить по формулам:

$$
\begin{aligned}
a_x &= \varepsilon_y z - \varepsilon_z y + \omega_y(\omega_x y - \omega_y x) - \omega_z(\omega_z x - \omega_x z);\\
a_y &= \varepsilon_z x - \varepsilon_x z + \omega_z(\omega_y z - \omega_z y) - \omega_x(\omega_x y - \omega_y x);\\
a_z &= \varepsilon_x y - \varepsilon_y x + \omega_x(\omega_z x - \omega_x z) - \omega_y(\omega_y z - \omega_z x).
\end{aligned} \tag{4}
$$

Подставляя проекции вектора ускорения точки твердого тела (4) в формулу (2) и производя необходимые преобразования, получим выражение принуждения по Гауссу для твердого тела, совершающего сферическое движение:

$$
\begin{aligned}
Z = \frac{1}{2}[&\varepsilon_x^2 J_x - 2\varepsilon_x\varepsilon_y J_{xy} - 2\varepsilon_x\varepsilon_z J_{xz} + 2\varepsilon_x J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) + 2\varepsilon_x\omega_y\omega_z(J_z - J_y) +\\
&+2\varepsilon_x\omega_x\omega_z J_{xy} - 2\varepsilon_x\omega_x\omega_y J_{xz} + \varepsilon_y^2 J_y - 2\varepsilon_y\varepsilon_z J_{yz} - 2\varepsilon_y\varepsilon_z J_{yx} + 2\varepsilon_y J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) +\\
&+2\varepsilon_y\omega_z\omega_x(J_x - J_z) + 2\varepsilon_y\omega_y\omega_x J_{yz} - 2\varepsilon_y\omega_y\omega_z J_{yx} + \varepsilon_z^2 J_z - 2\varepsilon_z\varepsilon_x J_{zx} - 2\varepsilon_z\varepsilon_y J_{zy} + \\
&+2\varepsilon_z J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) + 2\varepsilon_z\omega_x\omega_y(J_y - J_x) + 2\varepsilon_z\omega_z\omega_y J_{zx} - 2\varepsilon_z\omega_z\omega_x J_{zy} -\\
&-2\varepsilon_x M_x^e - 2\varepsilon_y M_y^e - 2\varepsilon_z M_z^e] + \mathrm{L}
\end{aligned} \tag{5}
$$

где $J_x, J_y, J_z, J_{xy} = J_{yx}, J_{xz} = J_{zx}, J_{yz} = J_{zy}$ - компоненты тензора инерции твердого тела относительно подвижных осей $OXYZ$; M_x^e, M_y^e, M_z^e - суммы моментов внешних активных сил, приложенных к телу относительно подвижных осей координат, а точками обозначены слагаемые, независящие от угловых ускорений.

Варьируя принуждение (5) по угловым ускорениям, получим:

$$
\begin{aligned}
\delta Z = [&\varepsilon_x J_x - \varepsilon_y J_{xy} - \varepsilon_z J_{xz} + J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) +\\
&+\omega_y\omega_z(J_z - J_y) + \omega_x\omega_z J_{xy} - \omega_x\omega_y J_{xz} - M_x^e]\delta\varepsilon_x +\\
&+[\varepsilon_y J_y - \varepsilon_z J_{yz} - \varepsilon_x J_{yx} + J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) +\\
&+\omega_x\omega_z(J_x - J_z) + \omega_x\omega_y J_{yz} - \omega_z\omega_y J_{xy} - M_y^e]\delta\varepsilon_y +\\
&+[\varepsilon_z J_z - \varepsilon_x J_{xz} - \varepsilon_y J_{yz} + J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) +\\
&+\omega_x\omega_y(J_y - J_x) + \omega_z\omega_y J_{xz} - \omega_z\omega_x J_{zy} - M_z^e]\delta\varepsilon_z = 0
\end{aligned} \tag{6}
$$

Из условия (6), в силу независимости проекций углового ускорения тела на оси координат, следуют дифференциальные уравнения сферического движения твердого тела:

$$
\begin{cases}
\varepsilon_x J_x - \varepsilon_y J_{xy} - \varepsilon_z J_{xz} + J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) + \omega_y\omega_z(J_z - J_y) + \omega_x(\omega_z J_{xy} - \omega_y J_{xz}) = M_x^e;\\
\varepsilon_y J_y - \varepsilon_z J_{yz} - \varepsilon_x J_{yx} + J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) + \omega_x\omega_z(J_x - J_z) + \omega_y(\omega_x J_{yz} - \omega_z J_{xy}) = M_y^e;\\
\varepsilon_z J_z - \varepsilon_x J_{xz} - \varepsilon_y J_{yz} + J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) + \omega_x\omega_y(J_y - J_x) + \omega_z(\omega_y J_{xz} - \omega_x J_{zy}) = M_z^e.
\end{cases} \tag{7}
$$

Отметим, что уравнения (7) полностью соответствуют динамическим уравнениям Эйлера, которые получаются при использовании теоремы об изменении кинетического момента механической системы относительно неподвижного центра [4, 5].

В том случае, когда подвижные оси координат являются главными осями инерции твердого тела, уравнения (7) принимают вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_x J_x + \omega_y \omega_z (J_z - J_y) = M_x^e; \\ \varepsilon_y J_y + \omega_x \omega_z (J_x - J_z) = M_y^e; \\ \varepsilon_z J_z + \omega_x \omega_y (J_y - J_x) = M_z^e. \end{cases} \tag{8}$$

Выражение принуждения по Гауссу для твердого тела, совершающего свободное движение.

Поле ускорений точек свободного твердого тела является суперпозицией однородного векторного поля ускорений точек тела в поступательном движении вместе с центром масс тела и векторного поля ускорений точек в сферическом движении тела вокруг центра масс:

$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{c}} + \vec{a}^{\text{вр}} + \vec{a}^{\text{ос}}. \tag{9}$$

Компоненты однородного векторного поля ускорений точек твердого тела в поступательном движении тела вместе с центром масс, отнесенные к осям неподвижной системы отсчета, определяются по формулам:

$$a_{Cx} = \ddot{x}_C,\ a_{Cy} = \ddot{y}_C,\ a_{Cz} = \ddot{z}_C. \tag{10}$$

Компоненты векторного поля ускорений точек твердого тела в сферическом движении тела вокруг центра масс, отнесенные к осям подвижной системы координат $CXYZ$, определяются по формулам (4).

В силу аддитивности, принуждение по Гауссу для тела, совершающего свободное движение, можно представить как сумму принуждения в поступательном движении тела вместе с центром масс и принуждения в сферическом движении тела вокруг центра масс.

Подставляя проекции ускорений тела (10) и (4) в (2) и выполняя необходимые преобразования, получим выражение принуждения по Гауссу для твердого тела, совершающего свободное движение в пространстве:

$$
\begin{aligned}
Z = \frac{1}{2}[&M\ddot{x}_c^2 + M\ddot{y}_c^2 + M\ddot{z}_c^2 + \\
&+\varepsilon_x^2 J_x - 2\varepsilon_x\varepsilon_y J_{xy} - 2\varepsilon_x\varepsilon_z J_{xz} + 2\varepsilon_x J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) + 2\varepsilon_x\omega_y\omega_z(J_z - J_y) + \\
&+2\varepsilon_x\omega_x\omega_z J_{xy} - 2\varepsilon_x\omega_x\omega_y J_{xz} + \varepsilon_y^2 J_y - 2\varepsilon_y\varepsilon_z J_{yz} - 2\varepsilon_y\varepsilon_z J_{yx} + 2\varepsilon_y J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) + \\
&+2\varepsilon_y\omega_z\omega_x(J_x - J_z) + 2\varepsilon_y\omega_y\omega_x J_{yz} - 2\varepsilon_y\omega_y\omega_z J_{yx} + \varepsilon_z^2 J_z - 2\varepsilon_z\varepsilon_x J_{zx} - 2\varepsilon_z\varepsilon_y J_{zy} + \\
&+2\varepsilon_z J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) + 2\varepsilon_z\omega_x\omega_y(J_y - J_x) + 2\varepsilon_z\omega_z\omega_y J_{zx} - 2\varepsilon_z\omega_z\omega_x J_{zy} - \\
&-2\ddot{x}_c F_x^e - 2\ddot{y}_c F_y^e - 2\ddot{z}_c F_z^e - 2\varepsilon_x M_x^e - 2\varepsilon_y M_y^e - 2\varepsilon_z M_z^e] + \mathrm{L}
\end{aligned}
\qquad (11)
$$

где F_x^e, F_y^e, F_z^e - проекции внешних активных сил на неподвижные оси координат, M_x^e, M_y^e, M_z^e - суммы моментов внешних активных сил, действующих на тело, относительно подвижных осей координат жестко связанных с телом и имеющих начало в центре масс тела, а точками обозначены слагаемые, не содержащие линейные и угловые ускорения.

Варьируя принуждения (11) по линейным и угловым ускорениям, получим:

$$
\begin{aligned}
\delta Z = &[M\ddot{x}_c - F_x^e]\delta\ddot{x}_c + [M\ddot{y}_c - F_y^e]\delta\ddot{y}_c + [M\ddot{z}_c - F_z^e]\delta\ddot{z}_c + \\
&+[\varepsilon_x J_x - \varepsilon_y J_{xy} - \varepsilon_z J_{xz} + J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) + \omega_y\omega_z(J_z - J_y) + \omega_x\omega_z J_{xy} - \omega_x\omega_y J_{xz} - M_x^e]\delta\varepsilon_x + \\
&+[\varepsilon_y J_y - \varepsilon_z J_{yz} - \varepsilon_x J_{yx} + J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) + \omega_x\omega_z(J_x - J_z) + \omega_x\omega_y J_{yz} - \omega_z\omega_y J_{xy} - M_y^e]\delta\varepsilon_y + \\
&+[\varepsilon_z J_z - \varepsilon_x J_{xz} - \varepsilon_y J_{yz} + J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) + \omega_x\omega_y(J_y - J_x) + \omega_z\omega_y J_{xz} - \omega_z\omega_x J_{zy} - M_z^e]\delta\varepsilon_z = 0
\end{aligned}
$$

Отсюда, в силу независимости вариаций $\delta\ddot{x}_c, \delta\ddot{y}_c, \delta\ddot{z}_c, \delta\varepsilon_x, \delta\varepsilon_y, \delta\varepsilon_z$, следуют дифференциальные уравнения движения свободного твердого тела:

$$
\begin{cases}
M\ddot{x}_c = F_x^e; \\
M\ddot{y}_c = F_y^e; \\
M\ddot{z}_c = F_z^e;
\end{cases}
\qquad (12)
$$

$$\begin{cases} \varepsilon_x J_x - \varepsilon_y J_{xy} - \varepsilon_z J_{xz} + J_{yz}(\omega_z^2 - \omega_y^2) + \omega_y\omega_z(J_z - J_y) + \omega_x\omega_z J_{xy} - \omega_x\omega_y J_{xz} = M_x^e; \\ \varepsilon_y J_y - \varepsilon_z J_{yz} - \varepsilon_x J_{yx} + J_{zx}(\omega_x^2 - \omega_z^2) + \omega_x\omega_z(J_x - J_z) + \omega_x\omega_y J_{yz} - \omega_z\omega_y J_{xy} = M_y^e; \\ \varepsilon_z J_z - \varepsilon_x J_{xz} - \varepsilon_y J_{yz} + J_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) + \omega_x\omega_y(J_y - J_x) + \omega_z\omega_y J_{xz} - \omega_z\omega_x J_{zy} = M_z^e. \end{cases} \quad (13)$$

В том случае, когда подвижные оси координат являются главными центральными осями инерции тела, дифференциальные уравнения свободного движения твердого тела будут иметь вид:

$$\begin{cases} M\ddot{x}_c = F_x^e; \\ M\ddot{y}_c = F_y^e; \\ M\ddot{z}_c = F_z^e; \end{cases} \quad (14) \qquad \begin{cases} \varepsilon_x J_x + \omega_y\omega_z(J_z - J_y) = M_x^e; \\ \varepsilon_y J_y + \omega_x\omega_z(J_x - J_z) = M_y^e; \\ \varepsilon_z J_z + \omega_x\omega_y(J_y - J_x) = M_z^e. \end{cases} \quad (15)$$

В качестве примера использования принципа Гаусса для вывода дифференциальных уравнений сферического движения твердого тела приведем решение задачи № 11.117 из [8].

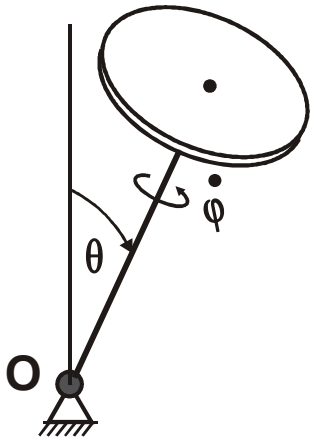


Рисунок 2

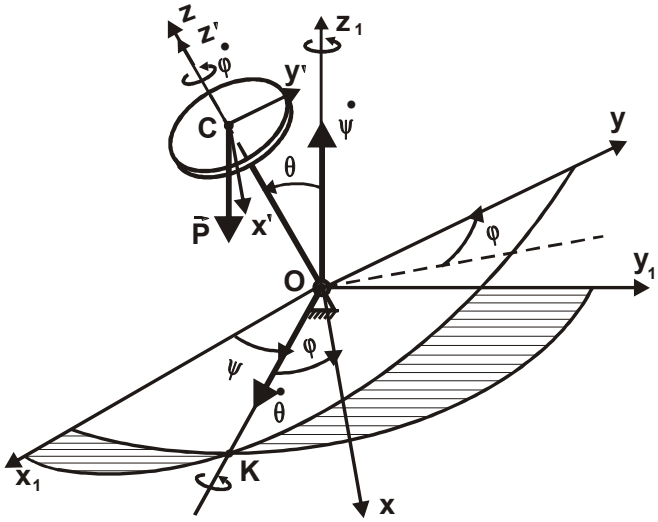


Рисунок 3

Тонкий однородный диск веса P и радиуса R жестко насажен на невесомый стержень длины $L = \frac{\sqrt{3}}{2}R$, второй конец которого закреплен с помощью сферического шарнира О (рис.2). В начальный момент времени $t_0 = 0$ диску сообщают вращение вокруг его оси симметрии с угловой скоростью $\dot{\varphi}_0 = 4\sqrt{\frac{g}{R}}$ и отпускают ось без толчка. Найти минимальную и максимальную величину угла нутации θ, если в начальный момент времени $t_0 = 0$ $\theta_0 = 30^0$, $\dot{\theta}_0 = 0$, $\dot{\psi}_0 = 0$.

Компоненты тензора инерции тонкого однородного диска относительно подвижных осей $CX'Y'Z'$, связанных с диском и проходящих через его центр масс, определяются по формулам:

$$J_{X'} = J_{Y'} = \frac{P}{4g}R^2;\ J_{Z'} = \frac{P}{2g}R^2;\ J_{X'Y'} = J_{X'Z'} = J_{Y'Z'} = 0.$$

Применяя теорему Штейнера - Гюйгенса, получим выражения компонент тензора инерции тела относительно подвижных осей $OXYZ$, проходящих параллельно осям координат $CX'Y'Z'$ через неподвижную точку О (рис.2):

$$J_X = J_Y = J_{Y'} + \frac{P}{g}OC^2 = \frac{P}{4g}R^2 + \frac{P}{g}\cdot\frac{3}{4}R^2 = \frac{P}{g}R^2;\ J_Z = \frac{P}{2g}R^2;\ J_{XY} = J_{XZ} = J_{YZ} = 0.$$

Момент силы тяжести диска относительно неподвижной точки О можно определить по формуле: $\vec{M}_O(\vec{P}) = \overrightarrow{OC} \times \vec{P}$.

Проекции векторов $\overrightarrow{OC}$ и $\vec{P}$ на подвижные оси координат определяются выражениями: $\overrightarrow{OC}(0,0,L)$, $\vec{P}(-P\sin\theta\sin\varphi, -P\sin\theta\cos\varphi, -P\cos\theta)$, следовательно,

$$\vec{M}_O(\vec{P}) = \overrightarrow{OC} \times \vec{P} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & L \\ -P\sin\theta\sin\varphi & -P\sin\theta\cos\varphi & -P\cos\theta \end{vmatrix}.$$

Таким образом, моменты силы тяжести диска относительно осей подвижной системы координат определяются по формулам:

$$M_x^e = PL\sin\theta\cos\varphi;\ M_y^e = -PL\sin\theta\sin\varphi;\ M_z^e = 0\ . \qquad (16)$$

Подставляя найденные компоненты тензора инерции диска и моменты силы тяжести (16) в формулу (8), получим выражение принуждения по Гауссу для рассматриваемой задачи:

$$Z = \frac{1}{2}[\varepsilon_x^2\frac{P}{g}R^2 - \frac{P}{2g}R^2\varepsilon_x\omega_y\omega_z + \varepsilon_y^2\frac{P}{g}R^2 + \frac{P}{g}R^2\varepsilon_y\omega_z\omega_x + \varepsilon_z^2\frac{P}{2g}R^2 - \\ -2\varepsilon_x PL\sin\theta\cos\varphi + 2\varepsilon_y PL\sin\theta\sin\varphi] + \mathrm{L}\ , \qquad (17)$$

где точками обозначены слагаемые, не содержащие угловых ускорений.

Вариация принуждение (17) по угловым ускорениям запишется в виде:

$$\delta Z = [\varepsilon_x \frac{P}{g} R^2 - \frac{P}{2g} R^2 \omega_y \omega_z - PL \sin\theta \cos\varphi]\delta\varepsilon_x +$$
$$+[\varepsilon_y \frac{P}{g} R^2 + \frac{P}{g} R^2 \omega_z \omega_x + PL \sin\theta \sin\varphi]\delta\varepsilon_y + \varepsilon_z \frac{P}{2g} R^2 \delta\varepsilon_z = 0 \quad . \quad (18)$$

Отсюда, в силу независимости угловых ускорений, получаем уравнения сферического движения диска:

$$\begin{cases} \varepsilon_x \frac{P}{g} R^2 - \frac{P}{2g} R^2 \omega_y \omega_z = PL \sin\theta \cos\varphi; \\ \varepsilon_y \frac{P}{g} R^2 + \frac{P}{2g} R^2 \omega_z \omega_x = -PL \sin\theta \sin\varphi; \\ \varepsilon_z \frac{P}{2g} R^2 = 0 \, . \end{cases} \quad (19)$$

Важно отметить, что вес приложен на оси симметрии диска, проходящей через неподвижную точку О, а эллипсоид инерции диска является эллипсоидом вращения. Это свидетельствует о том, что данная задача принадлежит к классу задач Лагранжа - Пуассона и, как известно [5], полученные уравнения движения (19) допускают 3 первых интеграла: 1) интеграл энергии

$$T + \Pi = \frac{1}{2} \frac{P}{g} R^2 (\omega_x^2 + \omega_y^2) + \frac{1}{4} \frac{P}{g} R^2 \omega_z^2 + PL \cos\theta = h_1 = const; \quad (20)$$

2) интеграл, получаемый из третьего уравнения системы (19)

$$\omega_z = h_3 = const \, . \quad (21)$$

3)интеграл сохранения момента количества движения относительно вертикальной оси OZ_1

$$K_{Z1} = \frac{P}{g} R^2 (\omega_x \sin\theta \sin\varphi + \omega_y \sin\theta \cos\varphi) + \frac{P}{2g} R^2 \omega_z \cos\theta = h_2 = const; \quad (22)$$

С учетом кинематических уравнений Эйлера интегралы (20), (21), (22) можно представить в виде:

$$\frac{P}{g} R^2 (\dot{\psi}^2 \sin^2\theta + \dot{\theta}^2) + 2PL \cos\theta = h_1 = const; \quad (23)$$

$$\frac{P}{g} R^2 \dot{\psi} \sin^2\theta + \frac{2P}{g} R^2 \sqrt{\frac{g}{R}} \cos\theta = h_2 = const; \quad (24)$$

$$\omega_z = \omega_{z0} = \dot{\psi}\cos\theta + \dot{\varphi} = h_3 = const. \quad (25)$$

Постоянные h_1, h_2, h_3, входящие в интегралы (23), (24), (25), определяются с учетом заданных начальных условий движения:

$$h_1 = PL\sqrt{3}\ ,\ h_2 = \frac{P}{g}\sqrt{3gR}^{3/2}\ , h_3 = \omega_{z0} = \dot{\varphi}_0 = 4\sqrt{\frac{g}{R}}\ .$$

Используя интеграл (24), можно выразить производную:

$$\dot{\psi} = \sqrt{\frac{g}{R}}\frac{\sqrt{3} - 2\cos\theta}{\sin^2\theta}\ . \quad (26)$$

Зависимость производной угла нутации $\dot{\theta}$ от значения угла нутации θ можно получить, подставляя выражение (26) в уравнение (23):

$$\dot{\theta} = \frac{g}{2R}(\sqrt{3} - 2\cos\theta)\frac{\sqrt{3}\sin^2\theta - 2\sqrt{3} + 4\cos\theta}{\sin^2\theta} = F(\theta)\ . \quad (27)$$

Угол нутации θ достигает экстремума в моменты времени, когда, производная $\dot{\theta} = 0$. Решая уравнение $F(\theta) = 0$, находим два значения для угла θ:

$$\cos\theta_1 = \frac{\sqrt{3}}{2},\ \theta_1 = 30^0,\ \cos\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{3}},\ \theta_2 = 54,7^0.$$

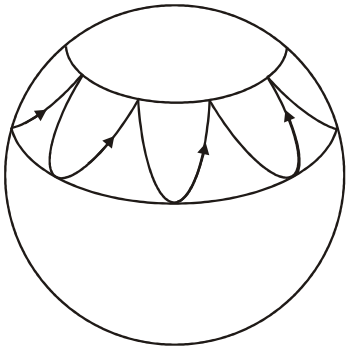


Рисунок 4

Полученные результаты позволяют дать наглядную геометрическую интерпретацию движения диска: центр диска - точка С все время будет двигаться по участку сферической поверхности с радиусом, равным длине стержня L и центром в неподвижной точке О, между параллелями, определяемыми найденными углами нутации θ_1 и θ_2.

Более детальное рассмотрение движения позволяет установить, что траекторией точки С на сферической поверхности будет являться циклоида, имеющая точки возврата лежащие на верхней параллели, поскольку производные $\dot{\varphi}$ и $\ddot{\theta}$ одновременно обращаются в ноль при $\theta_1 = 30^0$. Примерный вид траектории центра диска С показан на рисунке 4.

Вывод Найденные в статье выражения принуждения в смысле Гаусса могут быть использованы для построения математических моделей, описывающих механическое движение твердого тела и системы твердых тел.

Список литературы

1. Гаусс К. Об одном новом общем принципе механики.// Вариационные принципы механики. М.: Физматгиз, 1959,- с. 170-172.
2. Дракунов Ю.М.Динамический синтез плоских и пространственных рычажных механизмов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Республика Казахстан, Алма-Ата, 2010. 37с.
3. Зегжда С.А., Шатров Е.А. Юшков М.П. Новый подход к нахождению управления, переводящего систему из одного фазового состояния в другое.Вестник СПбГУ, сер.1,т.3, вып.2, 2016 - с. 281-292.
4. Лурье А.И. Аналитическая динамика. - М. ГИФМЛ, 1961, 824с.
5. Маркеев А.П. Теоретическая механика. - М. Наука 1990, 416с.
6. Маркеев А.П. О принципе наименьшего принуждения. М. Соросовский образовательный журнал 1998 №1 с. 113-121.
7. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. М. Наука,1978, 400с.
8. Пятницкий Е.С., Трухан Н.М., Ханукаев Ю.И., Яковенко Г.Н. Сборник задач по аналитической механике. - М.: Физматлит 2002,- 400с.

Компьютерное моделирование процессов сверхпластической формовки

Апатов К. Ю.[a], Федосимов А. А.[b], Чертищев М. А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики[a]
магистрант[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, российская Федерация
e-mail: apatov@land.ru

Аннотация: в статья рассматривается методика компьютерного моделирования процессов газовой формовки листовых деталей в состоянии сверхпластичности. Сверхпластичность – способность некоторых сплавов при определенных температурно-скоростных условиях деформации иметь относительные удлинения в несколько раз превышающие обычные для обработки металлов давлением значения. Экспериментальное исследования обработки металлов в состоянии сверхпластичности требуют наличия специального дорогостоящего оборудования и оснастки, что приводит к необходимости компьютерного моделирования процессов, которое состоит из следующих этапов: подготовка и ввод исходной информации, подбор количества разбиений и построение сетки конечных элементов, задание реологических свойств материала заготовки, задание технологических режимов обработки, расчет, представление результатов расчета. В результате моделирования можно оценить внешний вид деформируемой заготовки, форму сечения в любой плоскости оболочки, степень заполнения матрицы, на основании чего сделать вывод о качестве получаемой детали и при необходимости изменить технологические параметры обработки.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, сверхпластичность, сверхпластическая формовка, моделирование, метод конечных элементов.

Сверхпластическая формовка (СПФ) является частным случаем обработки металлов давлением (ОМД) при которой роль деформирующего элемента оснастки играет воздух или газ под давлением. Формовка позволяет получить детали очень сложной пространственной конфигурации из листовых материалов и реализовать деформационный потенциал сверхпластичных материалов.

Состояние сверхпластичности проявляется при определенных скоростях деформации и температурах фазовых превращений сплавов с ультрамелким зерном. К настоящему времени известны сплавы на основе титана, меди и алюминия, обладающие свойствами сверхпластичности. Наибольшее распространение получили титановые сплавы ВТ6, ВТ16; алюминиевые: АМг6Сп, АМг4, Supral; медно-цинковые (латуни) ЛЖМц 59-1-1, Л63 (0,13 % Si) [1].

Обработка материалов в состоянии сверхпластичности позволяет получать относительные удлинения до нескольких сотен процентов, а также обрабатывать труднодеформируемые материалы, например, высокопрочные титановые сплавы, которые в обычном состоянии практически не подлежат ОМД.

Главная цель любого процесса обработки металлов давлением и СПФ в частности – это произвести требуемое формоизменение заготовки в полуфабрикат максимально приближенный по конфигурации к готовой детали. Процесс должен проводиться при наиболее благоприятных схемах течения металла в штампе и напряженно-деформированного состояния с минимальным расходом металла при допустимых энергосиловых параметрах штамповой оснастки и регламентированных термомеханических режимах формообразования, чтобы получить требуемое качество по структуре, физико-механическим и эксплуатационным свойствам. Кроме того, процент брака, вызванного несовершенством технологии, должен быть минимальным.

Штамповая оснастка, проектируемая под новую технологию также должна отвечать требованиям по надежности, удобству обслуживания, рентабельности, технологичности в изготовлении и многим другим условиям [2].

Таким образом, главная цель применения компьютерного моделирования – разработка рациональной технологии с минимальными затратами времени, капитала, ресурсов и т. д.

Преимущества использования моделирования при разработке технологических процессов СПФ очевидны:

- не требуется проведения множества длительных и затратных многофакторных экспериментов, а достаточно лишь некоторых, цель которых выявить соответствие результатов математического моделирования реальному процессу, что позволяет достичь повышения эффективности исследований за счет сокращения капитальных и временных затрат на изготовление экспериментальной оснастки, приобретения кузнечно-прессового оборудования, аренды помещений и т. п.

Компьютер дает очень широкие возможности для проведения численных экспериментов. Использую моделирование можно «заглянуть» внутрь штампового блока и проследить все, что происходит с заготовкой в любой момент времени формовки. Можно отследить каждую стадию формовки, определить геометрию полуфабриката, проанализировать течение металла, распределение напряжений, степеней и скоростей деформации на каждой стадии. Есть возможность при необходимости прервать процесс, изменить значения входных параметров, технологических режимов и пересчитать заново.

-возможность экстраполировать методики моделирования, разработанные для определенного материала и процесса на другие изменяя значения входных параметров.

-создание библиотеки типовых моделей, к которым при необходимости легко можно получить доступ [3].

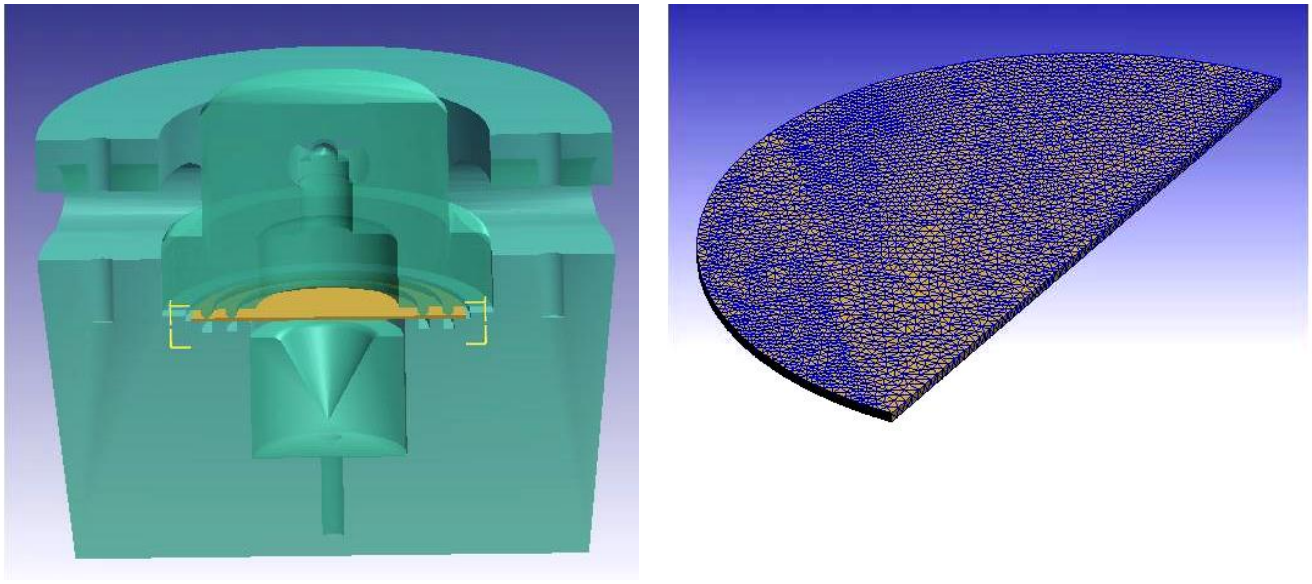
К настоящему моменту в мире было разработано достаточно много различных вычислительных систем для моделирования течения металла, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), которые дают достаточно качественные результаты, совпадающие с результатами натурных экспериментов.

Методика моделирования процессов сверхпластической формовки следующая:

1. Подготовка и ввод исходной информации. Исходными геометрическими данными являются твердотельные модели матрицы, заготовки, и других элементов штамповой оснастки, которые могут оказать влияние на процесс формовки, показанные на рис.1(а). Методика проектирования твердотельных моделей широко известна, по ней написан ряд пособий и руководств, поэтому мы здесь на ней останавливаться не будем. Твердотельные модели могут быть построены в таких ВС, как Solid-Works, КОМПАС, CATIA, Unigraphics и других, построенных на ядре ParaSolid. Обмен данными осуществляется через универсальный формат .stl.

2. Подбор количества разбиений и построение сетки конечных элементов. Большое количество КЭ делает расчет более точным, а полученная в ре-

зультате его модель детали более качественной, но значительно увеличивает время расчета. Для сокращения времени расчета возможно задавать половину или четверть заготовки при условии ее симметричности. Пример разбиения заготовки на конечные элементы приведен на рис. 1 (б).



а б

Рисунок 1. Исходная информация для моделирования СПФ листовой заготовки: модель штамповой оснастки (а) и сетка конечных элементов (б)

3. Задание реологических свойств материала заготовки т. е. зависимость напряжений от степени, скорости деформации при различных температурах деформации (рис. 2)

4. Задание технологических режимов, которые должна быть полностью идентичны тем, которые используются при экспериментальных исследованиях. Например, для формовки заготовки из сверхпластичной латуни давление газа 0,8 МПа, время выдержки 10 минут, причем давление плавно нарастало в течении первых 10 секунд, затем оставалось постоянным. Значение температуры задавали соответствующим середине температурного интервала сверхпластичности для сплава ЛЖМц 59-1-1 Т=550 ^{0}С. Коэффициент трения между заготовкой и инструментом принимался равным 0,15.

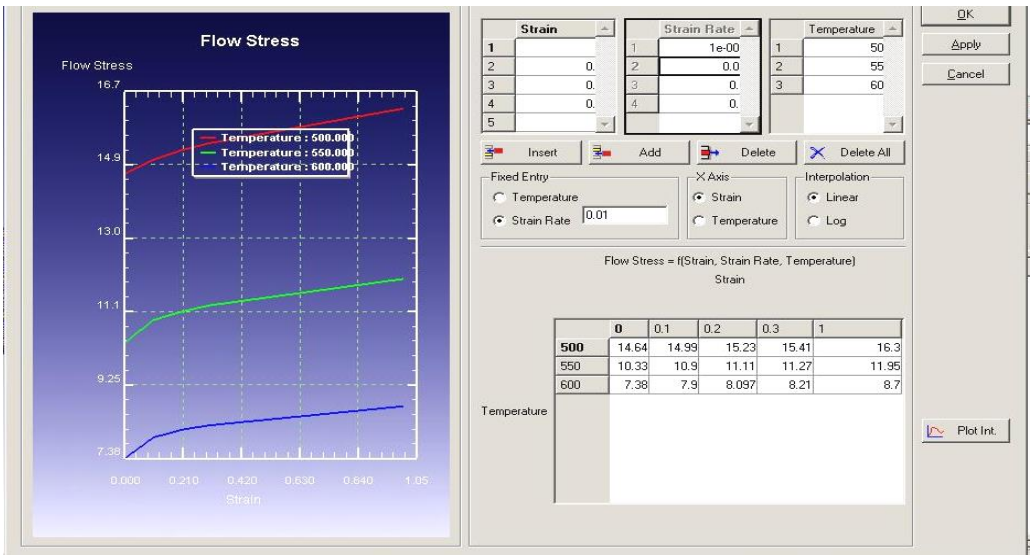


Рисунок 2. Экран ввода реологических данных сверхпластичного материала

5. Расчет формовки состоит из набора шагов с фиксированным шагом по времени, который при необходимости можно изменять. В то же время информация, доводимая до пользователя во время расчета минимальна.

6. Представление результатов расчета имеет очень широкие возможности для представления и анализа результатов моделирования. В рассматриваемом случае наибольшее значение имеет геометрия полуфабриката на различных стадиях процесса формовки. Постпроцессор программы демонстрирует внешний вид деформируемой заготовки, форму сечения в любой плоскости оболочки и позволяет увидеть деталь вместе с оснасткой, благодаря чему можно оценить, насколько заполнена гравюра матрицы (рис. 3). Также можно проанализировать распределение компонент тензоров скоростей, деформации и напряжений по стадиям СПФ как по наружной поверхности полуфабриката, так и в любой точке сечения оболочки.

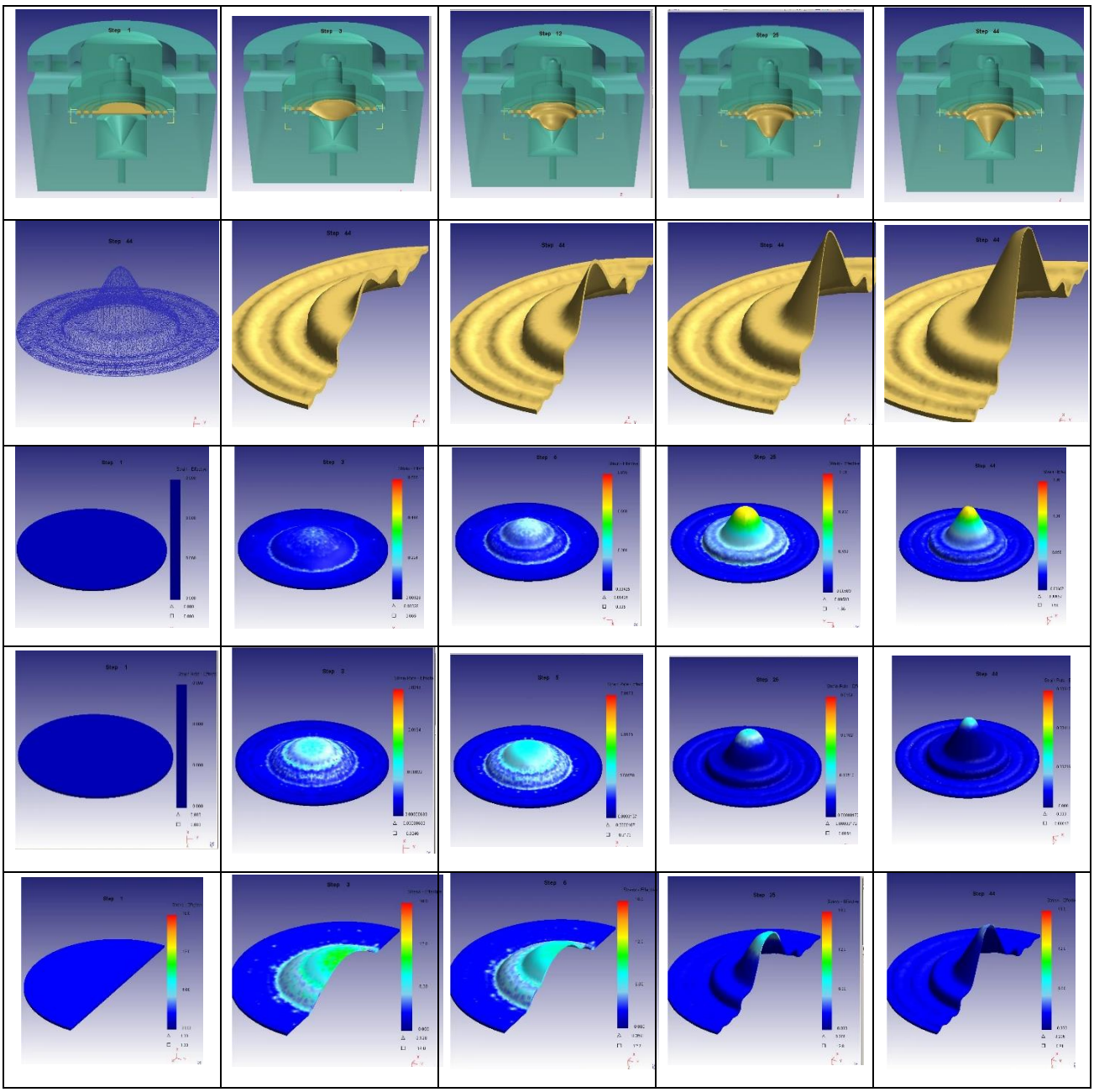


Рисунок 4. Моделирование СПФ детали конической формы: заполнения гравюры матрицы, стадии формовки, распределение степени деформации, скорости деформации и напряжений по стадиям формовки

Анализируя результаты моделирования СПФ конуса можно сделать следующие выводы: в начальный период деформирование материала идет более интенсивно по всему сечению, тогда как после 6 минут выдержки под давлением формуется только вершина. Величина накопленной степени деформации нарастает в течении всего времени выдержки, причем деформации смещаются к вершине конуса. Превышение предельного значения накопленной степени де-

формации сопровождается разрывом материала, который как видно из результатов эксперимента происходит в наиболее удаленной от основания точке, т. е. в вершине конуса. Аналогичная картина наблюдается при анализе распределения скоростей деформации и напряжений.

Список литературы

1. Апатов К.Ю., Апатов Ю.Л. Моделирование процессов сверхпластической формовки деталей сложной пространственной конфигурации из листа: сб. статей: Всероссийской. ежегодной научно-практической конференции: НПК-2017, 1-29 апреля 2017 г. / ВятГУ. – Киров.

2. Апатов К.Ю. Разработка процессов получения оболочек сложной формы с поверхностным рельефом из листовой латуни методами сверхпластической формовки // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, МИСиС, 2006.

3. Accuracy and efficiency issues in superplastic forming simulation, Varun Venkateswaran, Ghassan T. Kridli, S. George Luckey, Z. Cedric Xia, Peter A. Friedman/ Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME 2006 - Papers Presented at NAMRC 34, pages 25-32

Принципы построения операции роботизированной сборки по критерию повышения производительности

Апатов Ю.Л.[a], Мухарицин С.А.[b], Апатов К.Ю.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения[a]
магистрант кафедры технологии машиностроения[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: apatov.yu@yandex.ru

Аннотация: Актуальность данной статьи заключается в попытке предложить и исследовать использованием теоретического анализа схемы групповой параллельной сборки с применением промышленных роботов (ПР), что является новым подходом к построению технологической сборочной операции и призвано повысить эффективность их использования путем повышения производительности. Проводились теоретические исследования с применением для проверки их результатов опытной технологической оснастки в виде многоместных захватных устройств, выполненных на уровне изобретений.

Целью статьи послужило изложение полученных нами результатов теоретических исследований и сопоставительного анализа параметров, процесса сборки, определяющих производительность процесса и разработка на этой основе новых схем построения технологических операций сборки в машиностроительном производстве.

Предложены нестандартные схемы групповой параллельной сборки, получены расчетные формулы для определения затрат времени по этапам сборочного процесса в доступной для практического использования форме.

Результаты работы полезны для специалистов-технологов, а также разработчиков новой техники и средств оснащения сборочных роботов.

Ключевые слова: схема сборки, производительность, рабочий цикл, промышленный робот, параллельное соединение.

На современном этапе развития техники и технологии сохраняется актуальность и практическая значимость новых нестандартных подходов к проблемам, возникающим при автоматизации сборочных операций, выполняемых с использованием ПР. Это объяснимо с точки зрения необходимости более эффективного практического применения данного оборудования. Решение этой проблемы может быть успешно достигнуто путем повышения производительности, за счет сокращения доли вспомогательного времени в длительности его рабочего цикла, что требует особого подхода к построению технологической операции сборки, к разработке новых, более рациональных и концентрирован-

ных схем ее проведения. Возрастает значимость разработки средств технологического оснащения промышленных роботов – захватных устройств (ЗУ).

В данной статье рассматривается методика построения сборочных роботизированных операций по прогрессивной групповой (параллельной) схеме.

При разработке средств автоматизации сборки в условиях серийного производства, которое доминирует в современном машиностроении, разработчик сталкивается с рядом проблем. Среди них: большое разнообразие деталей-компонентов изделия, поступающих в сборочную позицию, повышающиеся требования по точности, варьирование размеров и формы деталей при переходе к выпуску новых изделий, наличие в изделиях деталей, не имеющих постоянной формы (различного рода уплотнения, прокладки, манжеты).

Если касаться особенностей применения промышленных роботов, то в этих условиях на первый план выходит решение задач достижения перед сопряжением необходимой, весьма высокой точности взаимного расположения соединяемых деталей, чем и достигается безотказность сборки.

С учетом этого важнейшего показателя должна решаться такая не менее важная задача, как обеспечение требуемой производительности ПР, реализующего сам сборочный процесс, т.к. через этот показатель он конкурирует с опытным рабочим-сборщиком.

Известно, что в изделиях современного машиностроении преобладают цилиндрические соединения, в частности, по посадкам с гарантированным зазором. Также следует отметить, что множество изделий содержат групповые соединения с тем или иным расположением отверстий, в которые, при сборке, устанавливаются присоединяемые детали. Расположение отверстий в базовой (например, корпусной) детали может быть различным, например круговым, линейным, многорядным, асимметричным и т.д. Объединяет их то, что сборочный ПР должен многократно повторить стандартный рабочий цикл, в результате чего время выполнения сборочной операции возрастает, что негативно сказывается и на производительность данного процесса.

Именно на такой характер группового соединения деталей далее уделяется основное внимание. Предложен метод построения операции сборки, базирующийся на использовании специальной технологической оснастки ПР в виде многопозиционных захватных устройств [1, 2].

При подготовке нами статьи основной целью послужило проведение теоретических исследований и анализ факторов, определяющих затраты времени в сборочной роботизированной позиции с выходом на производительность процесса соединения деталей с последующей выдачей рекомендаций по построению технологической сборочной операции.

Предложенный нами метод групповой роботизированной сборки изделий (или сборочных единиц) обеспечивает существенное повышение производительности, этого основного показателя любого технологического процесса.

Выполнение рабочего цикла робота на сборочных и подобных им операциях (комплектация и складирование деталей, загрузка заготовок в зажимные приспособления станков и штампы), сопряжено с большим количеством вспомогательных движений исполнительного органа («руки») ПР. Доля времени, затрачиваемого на эти перемещения, может достигать 90% от общей длительности цикла, что снижает эффективность применения этого оборудования из-за снижения его цикловой производительности.

Сам этот показатель обусловлен большим числом влияющих на него факторов, основными из которых являются: выбор рациональной схемы рабочего цикла в виде последовательности элементарных движений ПР, скоростей холостых и рабочих перемещений, длин участков траектории, что определяет время выполнения процесса, и точностные параметры соединения деталей.

Учитывая вышеизложенное, следует считать перспективным направлением повышения производительности сборочных процессов разработку и применение параллельных методов, основывающихся на применении групповых (многоместных) захватных устройств, как новой схемы выполнения сборки.

Сущность построения операции групповой роботизированной сборки поясняется эскизом, помещенным на рис. 1, варианты компоновок – в таблице 1.

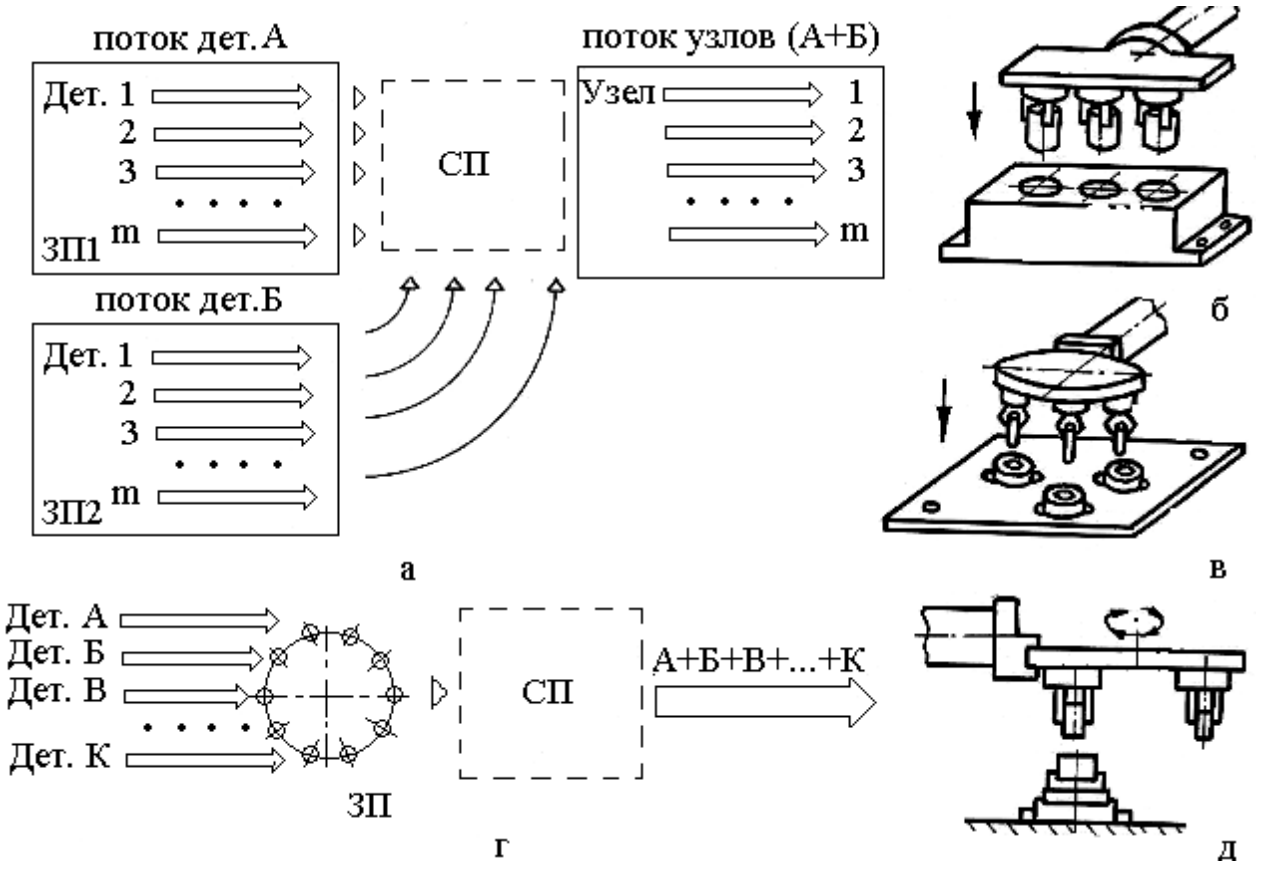


Рисунок 1. Систематизация методов сборки на основе анализа потоков деталей: а – групповая параллельная сборка; б и в – примеры реализации; г – групповая последовательная, с использованием поворотного ЗУ

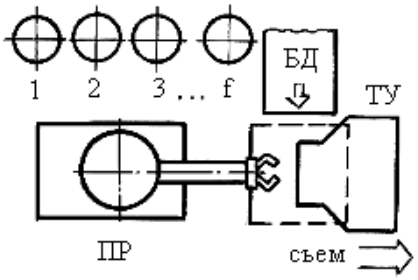
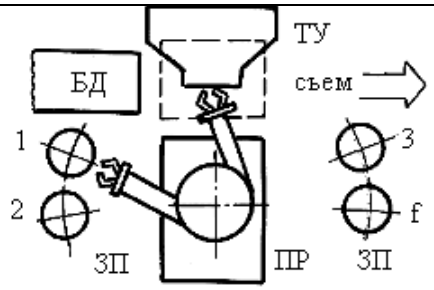
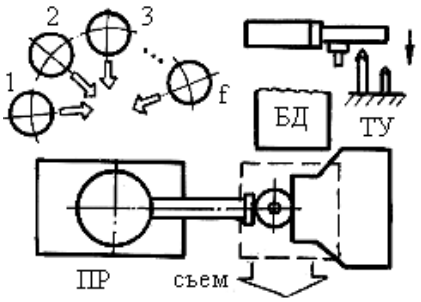
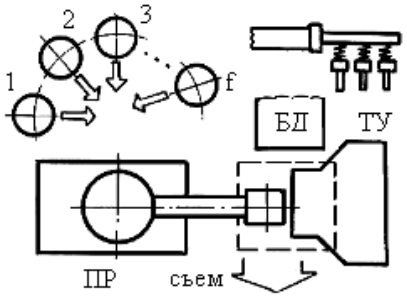
Остановимся более подробно на расчете затрат времени роботом при осуществлении технологической операции групповой сборки., проанализировав штучно-калькуляционное время для различных схем осуществления рассматриваемого процесса. Предлагаемые компоновки (таблица 1) содержат: промышленный робот (ПР), сборочную позицию (СП), загрузочную позицию (ЗП), технологическое сборочное устройство (ТУ) для осуществления соединений деталей с гарантированным натягом, что не соответствует динамическим возможностям робота и транспортер подачи базовых деталей (БД).

Цифрами обозначено: 1– однопоточная сборка однопозиционным ЗУ;

II – сборка с применением робота с двумя манипуляторами при тех же условиях; III – сборка с использованием группового поворотного захватного устройства; IV – параллельная групповая сборка.

Таблица 1

Данные к анализу затрат времени сборочного робота

Тип I	Тип II
	
Тип III	**Тип IV**
	

В предлагаемых формулах приняты следующие буквенные обозначения:

f – количество деталей-компонентов в изделии (объекте сборки);

g – количество собираемых узлов в партии при серийном выпуске продукции;

m – число позиций многопозиционного ЗУ сборочного робота;

S – количество типоразмеров узлов (номенклатура), входящих в группу.

Остальные обозначения в приведенных ниже, предлагаемых нами формулах, в целях более компактной записи, приведем в виде текста: t_O и t_B – основное и вспомогательное время, соответственно; t_C – среднее время выполнения соединения деталей; $t_{XП}$ – среднее время холостого перемещения «руки» ПР в загрузочную позицию; $t_{РП}$ – аналогичное время перемещения в рабочую (сборочную) позицию; $t_{XЗ}$ и $t_{РЗ}$ – время хода ЗУ на зажим и разжим захватываемой

детали, соответственно; $t_{СС}$ – время пошагового срабатывания поворотного ЗУ, определяемого как сумма времен подъема в пределах длины фиксатора.

Цикловую производительность робота можно выразить в общем виде:

$$Q = к / T_{ц\,(сб)} = к /(t_о + t_в), \quad (1)$$

где К – коэффициент, зависящий от периода времени определения показателя (для «минутной» производительности К = 60, а для «часовой» К = 3600;

$T_{ц\,(сб)}$ – длительность рабочего цикла промышленного робота на сборке.

Длительность рабочего цикла сборочного робота выразим как:

$$T_{ц(сб)} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i + t_{с(7)}, \quad (2)$$

где t_i – время выполнения i-го холостого движения (перехода);

$t_с$ – основное время, затрачиваемое непосредственно на сбоку или соединение деталей (в стандартном рабочем цикле это переход номер 7);

n – общее количество движений робота в его рабочем цикле;

i – порядковый номер данного очередного движения.

Приведем полученные нами зависимости в виде штучно-калькуляционного времени. Для сопоставляемых методов сборки имеем:

1). Для последовательной схемы сборки:

$$T_{ШК}^{ПОС.} = \sum_{i=1}^{S} [g_i(t_О + t_В)] + \sum_{i=1}^{S-1} t_{ПП} + \sum_{i=1}^{\beta} t_{ОТ} =$$

$$= \sum_{i=1}^{S} \left[g_i \left(\sum_{i=1}^{f} t_{Сi} + t_{ХП1} + t_{РП1} + t_{Хз} + \sum_{i=1}^{f-1} t_{СС} \right) \right] + \sum_{i=1}^{S-1} t_{ПП} + \sum_{i=1}^{\beta} t_{ОТ} \quad (3)$$

2). Для параллельной схемы сборки:

$$T_{ШК}^{ПАР.} = \sum_{i=1}^{S} \frac{g_i}{m} [(t_О + t_В)] + t_{ПП1} + \sum_{i=1}^{\varphi} t_{ОТ} =$$

$$= \sum_{i=1}^{s}\left[\frac{g_i}{m}\left(\sum_{i=1}^{f} t_{\text{С}}^{max} + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{ХП}} + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{РП}} + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{ХЗ}} + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{РЗ}}\right)\right] + t_{\text{ПП1}} + \sum_{i=1}^{\varphi} t_{\text{ОТ}} \quad (4)$$

3). Для параллельной схемы с использованием ПР, снабженного двумя (сдвоенными) манипуляторами (таблица 1, тип II):

$$T_{\text{ШК}}^{\text{ПАР.}} = g_i\left(\sum_{i=1}^{f} t_C + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{ХП}} + \sum_{i=1}^{f} t_{\text{ХЗ}}\right) + t_{\text{ПП1}} + \sum_{i=1}^{\varphi} t_{\text{ОТ}} \quad (5)$$

Такая схема может быть рекомендована для сборки более сложных объектов, состоящих из 3 – 5 и более деталей-компонентов. Данная схема строится на применении принципа концентрации технологических переходов.

На рис. 2 даны разновидности схем построения операции сборки с привязкой к конструкции и типу группового захватного устройства робота.

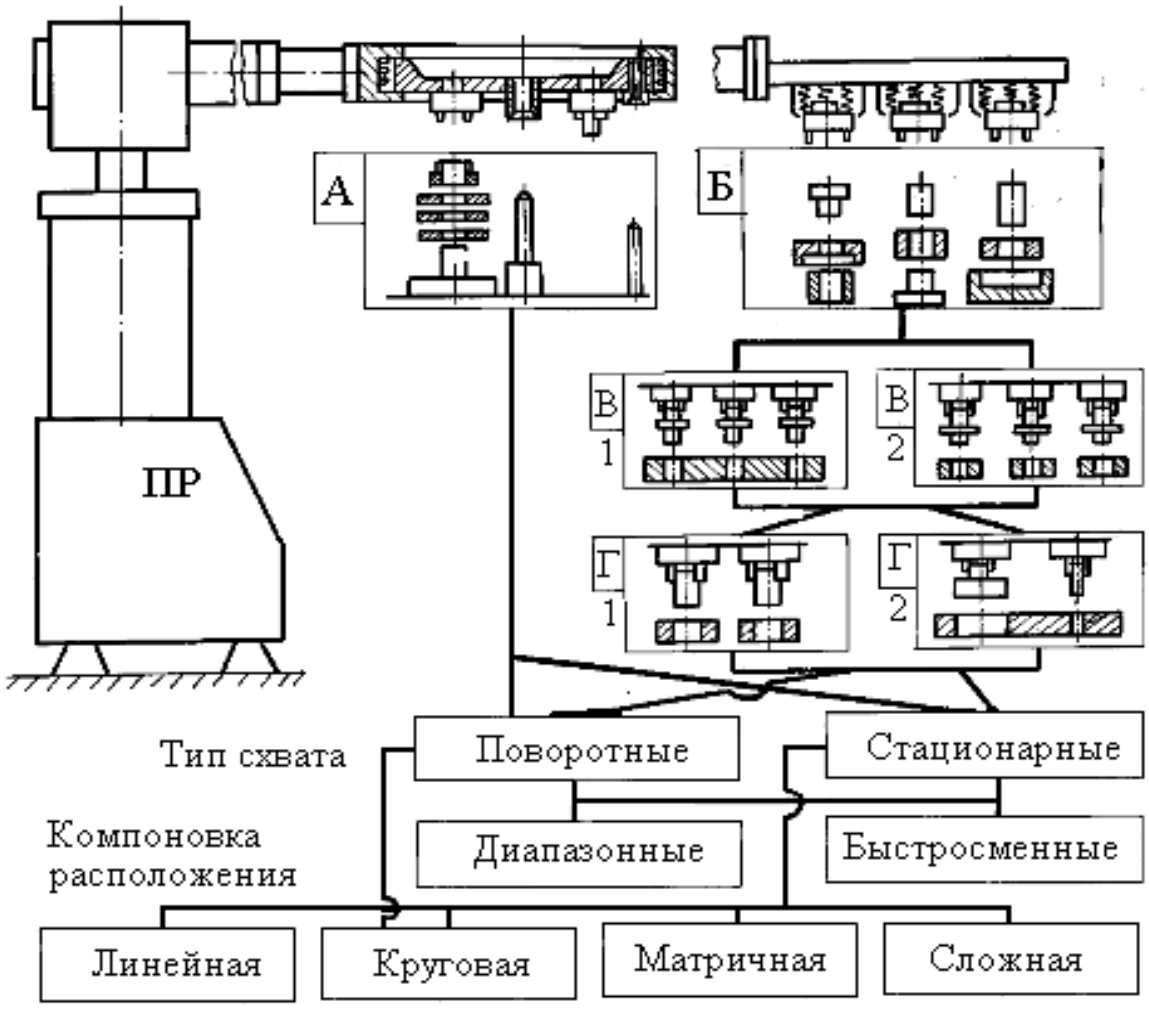


Рисунок 2. Разновидности схем построения технологических операций групповой роботизированной сборки в серийном производстве

Схема «А» характеризуется последовательной однопоточной сборкой узлов многопозиционным поворотным ЗУ, при которой робот в загрузочной позиции захватывает комплект деталей. После однократного переноса его в сборочную рабочую позицию осуществляет последовательно соединение деталей требуемой последовательности. Схема «Б» реализуется путем параллельной многопоточной роботизированной сборки, основанной на одновременном получении группы из нескольких соединений, образующих как один узел (в случае сборки с общей базовой деталью – на схеме вариант В1), так и несколько однотипных сборочных единиц (с использованием многоместной наладки базового приспособления – вариант В2).

На уровне вариантов Г1 и Г2 схемы подразделяются на соединения с одинаковыми или различными геометрическими и точностными параметрами.

Предпринималась попытка охвата всех указанных вариантов исполнения захватных устройств ПР.Таким образом, получены сведения по построению, организации и проведению автоматизированных операций сборки, отличительной особенностью которых является повышенная производительность технологического оборудования – промышленных роботов. Обобщены варианты расположения деталей в ЗУ и базовых приспособлениях, виды затрат времени, что в совокупности с размерным анализом погрешностей, действующих в сборочной роботизированной системе, создает основу проектирования прогрессивных видов оснастки для промышленных роботов. Теория расчета и примеры опытной оснастки даются в следующей статье по этой тематике.

Статья имеет теоретическое и прикладное значение для машиностроительной отрасли производства на стадии получения готовых изделий.

Список литературы

1. Корсаков В.С., Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л. Многопозиционное захватное устройство. Авторское свидетельство СССР №994254 МКИ В25J15/00, 1983 г.

2. Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л., Вахрушев Н.А. Многопозиционный захват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1491701 МКИ В25J15/00, 1989 г.

Точностные особенности групповой роботизированной сборки цилиндрических соединений с гарантированным зазором

Апатов Ю.Л.[a], Мухарицин С.А.[b], Апатов К.Ю.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения[a]
магистрант кафедры технологии машиностроения[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: apatov.yu@yandex.ru

Аннотация: Автоматизация сборочных работ посредством промышленных роботов является актуальной задачей, т.к. связана с высвобождением человека из трудоемких, однообразных и утомительных производственных условий.

Целью статьи явился анализ точностных условий процесса соединения деталей в изделие через действующие в роботизированной сборочной системе элементарные погрешности и обоснование нового подхода к построению сборочной операции, иначе – параллельной групповой сборки.

Проводились теоретические исследования с последующей проверкой полученных данных проведением экспериментов. Полученные сведения позволили разработать рекомендации по построению технологической сборочной операции в автоматизированном производстве на базе использования группового метода. Результаты работы могут быть использованы специалистами по технологии сборочных работ в направлении повышения их интенсификации и производительности промышленных роботов. Кроме того, их можно рекомендовать для проектирования новых видов средств технологического оснащения этого перспективного технологического оборудования.

Ключевые слова: промышленный робот (ПР), присоединяемая деталь, собираемость, суммарная погрешность, соединение.

Разработка и анализ новых нестандартных подходов к вопросу автоматизации сборочных операций, выполняемых в машиностроительном производстве посредством промышленных роботов, в настоящее время по-прежнему сохраняет свою актуальность. Это обусловлено, с одной стороны, особой значимостью сборки, как завершающего этапа в получении готового изделия, а с другой – необходимостью более эффективного практического применения этого перспективного технологического оборудования. Решение данной проблемы может быть достигнуто путем повышения производительности ПР, за счет сокращения доли вспомогательного времени в длительности его рабочего цикла. При этом особая значимость и функциональная нагрузка переходит к разработке

прогрессивной схемы осуществления операции сборки, к разработке средств технологического оснащения – захватных устройств (ЗУ) нового типа.

Данная статья посвящена первой части проблемы с выделением в качестве основного вопроса анализа точностных размерных связей в роботизированной сборочной позиции, учету возникающих погрешностей взаимного расположения соединяемых деталей, обуславливающих собираемость изделия.

При разработке средств автоматизации сборки в условиях серийного производства, которое доминирует в современном машиностроении, разработчик сталкивается с рядом проблем. Среди них особое место занимает задача достижение перед сопряжением необходимой, зачастую весьма высокой точности взаимного положения соединяемых деталей, чем и достигается безотказность сборки. Анализ точностных условий выполнения сборки производится с учетом как линейных, так и угловых составляющих погрешности несовпадения положения осей соединяемых деталей (Δ_Σ).

Известно, что в изделиях современного машиностроении преобладают цилиндрические соединения, в частности, по посадкам с гарантированным зазором. Полученные ранее данные по обеспечению точности взаимной ориентации собираемых деталей касались соединения пары деталей, типа «Вал – Втулка». Однако, следует отметить, что множество изделий содержат групповые соединения с тем или иным расположением одинаковых отверстий, в которые устанавливаются ПР присоединяемые детали.

Расположение отверстий в базовой (корпусной) детали может быть различным, например линейным, круговым, многорядным и т.д.

Именно на такой характер соединений деталей далее уделяется основное внимание с получением данных, описывающих их точностные параметры.

Основной целью статьи являлось проведение теоретических исследований и анализ точностных параметров сборочной роботизированной позиции в виде погрешностей, возникающих в процессе соединения в изделие деталей цилиндрической формы по посадкам с гарантированным зазором. Это делалось с учетом действующих погрешностей, с рассмотрением возможности группового

или параллельного сопряжения (соединения) деталей, как одного из основных направлений повышения производительности роботизированной сборки.

Исследования включали в себя теоретические расчеты и рассмотрение размерных взаимосвязей с последующей проверкой полученных данных при использовании экспериментальной оснастки сборочного промышленного робота, в том числе групповых захватных устройств [1, 2 и 3].

Нами был предложен метод групповой сборки с использованием ПР, оснащенного специально спроектированным ЗУ, выполняемым по различным схемам, разновидности которых частично представлены на рис. 1и 2.

Метод обеспечивает значительное повышение производительности ПР. Однако, учитывая наличие в этом случае дополнительных погрешностей взаимной ориентации собираемых деталей, необходимо было провести тщательный их анализ, результаты которого приведены ниже. Предусматривались меры по обеспечению собираемости путем устранения (или существенного снижения) влияния погрешностей применением ЗУ ПР, содержащих в своей конструкции упругие компенсирующие звенья (механизмы), а также ЗУ с круговым расположением присоединяемых деталей и центрально расположенной втулкой, взаимодействующей с фиксатором базового приспособления.

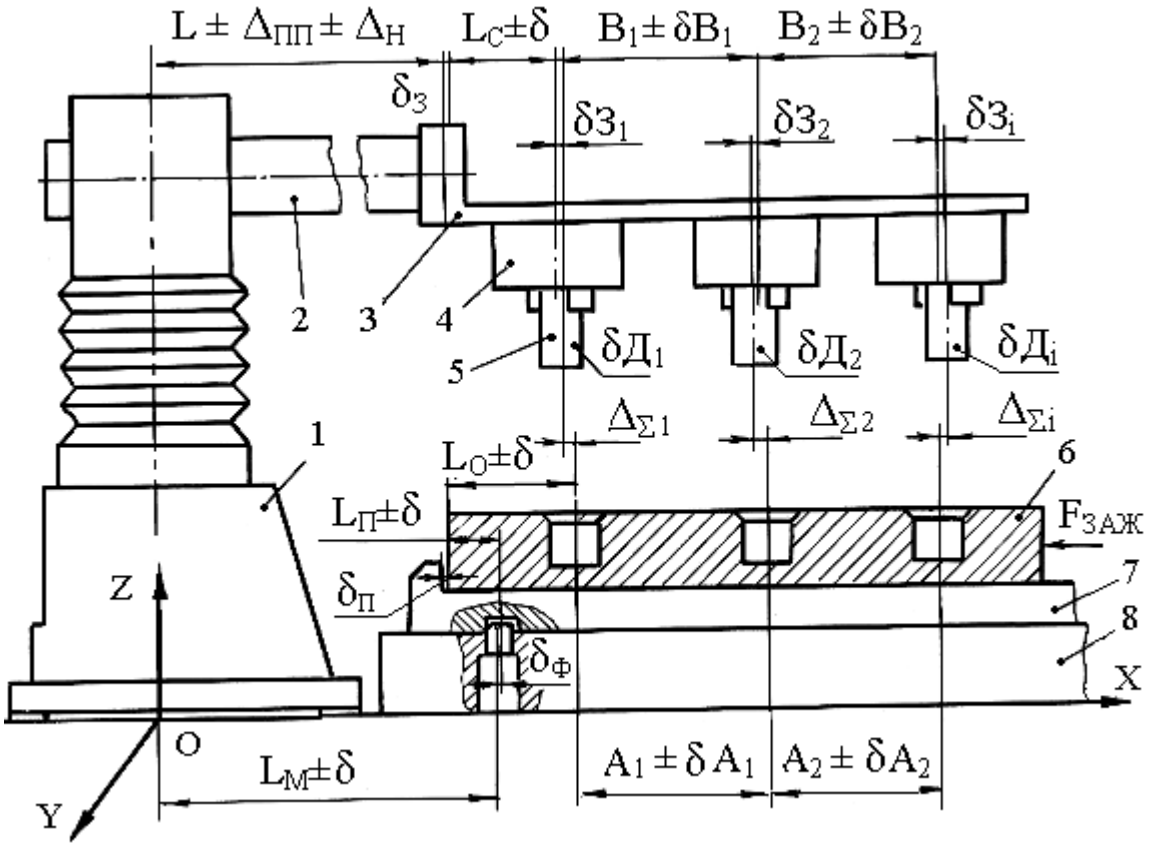
Среди названных проблем особое место занимает проблема обеспечения точности взаимного расположения сопрягаемых деталей в роботизированной сборочной позиции. Все последующие исследования теоретического и экспериментального характера проводились по цилиндрическим соединениям с гарантированным зазором. Это обстоятельство можно обосновать тем, что по статистике 75–80% всех соединений в машиностроении выполняются именно так.

Величина радиальных зазоров варьировалась в пределах δP=0,005–0,1 мм, что соответствует и охватывает посадки: H7/e7; H7/f7; H9/d9; H9/e9; H9/d9; H8/e8; H8/f8 на образцах с номинальным диаметром: D=5; D=15 и D=30 мм.

Условимся соединяемые в изделие детали типа «Вал – Втулка» подразделять на детали двух видов:

- базовая, т.е. поступившая в сборочную позицию первой. В рассматриваемом процессе это условно – «Втулка», под которой понимается любая деталь, имеющая одно или несколько отверстий («Корпус», «Плита» и др.).

- присоединяемая деталь, которая устанавливается в соответствующее отверстие базовой детали роботом («Вал»). Количество их может быть любым и ограничивается только составом и структурой изделия.



1 – промышленный робот; 2 – исполнительный орган или «рука» ПР;
3 и 4 – захватное устройство (без конструктивных особенностей);
5 – присоединяемая деталь типа «Вал»; 6 – базовая деталь «Плита»;
7 и 8 – элементы базового сборочного приспособления

Рисунок 1. Схема размерных связей для групповой параллельной сборки

Буквенные обозначения на рис. 1 и 2 понятны из приведенного эскиза, являясь общепринятыми для использования в технической литературе. Ниже даны дополнительные пояснения по принятым обозначениям.

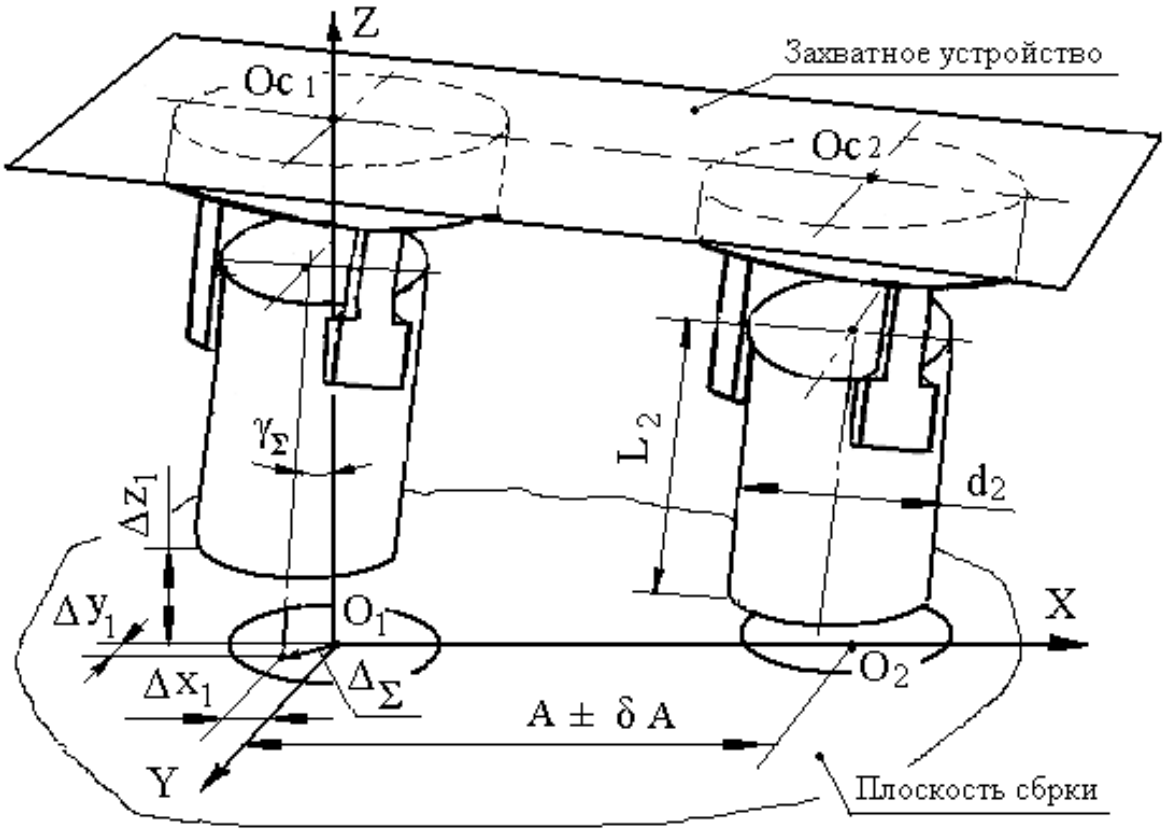


Рисунок 2. Схема образования погрешностей взаимного расположения деталей

Точность, в данном случае, комплексно определяется величиной суммарной погрешности линейного (Δ_Σ) и углового (γ_Σ) несовпадения осей сопрягаемых поверхностей деталей. Уровень точностных требований по этапам изучаемого процесса различен, например, в загрузочной позиции, при использовании захватных механизмов со значительно раздвигающимися зажимными элементами, требования к точности расположения деталей могут быть снижены. Для остальных этапов эти требования остаются весьма высокими.

Условием безотказного выполнения процесса сборки является соотношение: $\Delta_{\Sigma\ факт} \leqslant [\Delta_\Sigma]$: фактическое значение суммарной погрешности должно быть меньше (в крайнем случае, равно) ее допустимому значению. Допустимое же значение определяется геометрией соединения и, прежде всего, величиной радиального зазора в соединении, который определяется посадкой, указанной в сборочном чертеже изделия. Допустимая погрешность увеличивается при использовании упругих компенсирующих механизмов, встраиваемых в ЗУ ПР.

При простой (жесткой – без наличия компенсаторов) схеме параллельной сборки, суммарная фактически существующая погрешность несовпадения осей:

$$\Delta_{\Sigma\ факт} = f(\Delta_П; \Delta_{Н(О)}; \delta B; \delta_З; \delta_Д; \delta_П; \delta L_П; \delta L_О; \delta A; \delta_Ф; \delta_Т; \delta_И), \qquad (1)$$

где $\Delta_П$ – погрешность позиционирования ПР; $\Delta_{Н(О)}$ – погрешность настройки («обучения») ПР; δB и δA – отклонения от номиналов межцентровых размеров в захватном устройстве и отверстий в базовой детали; $\delta_З$ – погрешность базирования присоединяемой детали в ЗУ; $\delta_Д$ – погрешность несоосности поверхностей, характерная для деталей типа «Ступенчатый вал» (образуется при механообработке); $\delta_П$; $\delta L_П$; $\delta L_О$ – группа погрешностей, присущих сборочному приспособлению: установки базовой детали, рассеяние размера направляющих втулок; размера привязки группы отверстий в базовой детали к измерительной базе (координирующий размер); $\delta_Ф$ – погрешность фиксации подвижных частей, например, приспособления-спутника; $\delta_Т$ – погрешность, возникающая вследствие температурных деформаций механизмов; $\delta_И$ – погрешность, связанная с износом механизмов ПР в процессе его эксплуатации.

Следует отметить, что для предлагаемой схемы соединения нескольких деталей одновременно, появляется только две составляющих погрешности Δ_Σ, а именно: δB и δA. Остальные элементарные погрешности характерны и для соединения одной пары деталей, что также открываем перспективы использования предлагаемого метода сборки на практике.

Ряд указанных выше погрешностей имеют систематический характер: они постоянно действуют при повторении рабочих циклов сборочного ПР. Другие погрешности изменяются в каждом рабочем цикле для каждой пары соединяемых деталей, зависят от многих факторов и являются случайными величинами.

Для этих погрешностей учитываются лишь крайние значения интервалов их допустимых значений.

Для практического использования данное выражение можно упростить, приняв $\delta_T = 0$ при соблюдении требуемого температурного режима; $\delta_И = 0$ при сборке ограниченной партии изделий, когда износ практически не проявляется.

Кроме того, последние три слагаемых ($\delta_П$; $\delta L_П$; $\delta L_О$) в формуле (1) могут быть уменьшены либо полностью исключены, если использовать иную схему установки базовой детали в сборочной роботизированной позиции.

Учитывая вышесказанное, для сборочной системы можно записать:

$$\Delta_{\Sigma\ факт} = \Delta_{Н(О)} + (\Delta_П^2 + \delta B^2 + \delta_З^2 + \delta_Д^2 + + \delta A^2 + \delta_Ф^2)^{1/2}. \qquad (2)$$

Установлено, что наибольшее влияние на протекание сборочного процесса с использованием ПР, имеет погрешность его позиционирования ($\Delta_П$), под которой понимается отклонение координат точки, в которую робот переносит деталь от координат точки, заданной по программе. В нашем случае это несовпадение координат центра присоединяемой детали и центра отверстия. Это случайная векторная величина, располагающаяся в плоскости сборки в системе координат XOY. Обозначается как симметричная погрешность знаком «±», означающим границы ее возможных значений.

Указанный характер данной погрешности обусловлен большим числом действующих на нее факторов, среди которых: масса переносимой роботом детали, скорость рабочего хода перед началом торможения, колебания давления воздуха (или масла) в системе ПР, температурный режим эксплуатации и степень износа его направляющих. В отдельном рабочем цикле погрешность позиционирования определяется через приращения координат точек на плоскости:

$$\Delta_П = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}, \qquad (3)$$

где индексы «1» и «0» соответствуют координатам фактической точки позиционирования и нулевой точки, заданной программой, соответственно.

Для получения более достоверной информации о точностных параметрах процесса сборки, необходимо учитывать еще один действующий фактор, а именно погрешность γ_{Σ}, возникающую вследствие влияния угла наклона оси присоединяемой детали, находящейся в захватном устройстве. Она вызывает дополнительное смещение центра торцевого сечения присоединяемой детали относительно центра отверстия в базовой детали, увеличивая погрешность Δ_{Σ}.

Для определения последней может быть использована зависимость:

$$\gamma_{\Sigma} = \{ [\text{arctg} (\frac{A_x^H - A_x^B}{H})]^2 + [\text{arctg} (\frac{A_y^H - A_y^B}{H})]^2 \}^{1/2}, \qquad (4)$$

где H – расстояние между уровнями расположения датчиков (индикаторов часового типа), равное 50 мм, принятое при проведении эксперимента;

A_i – в ходе проведения экспериментальной проверки – отсчеты по шкалам индикаторов часового типа по координатным осям X и Y, соответственно в нижнем «Н» и верхнем «В» уровнях.

После завершения теоретической части исследований были проведены многочисленные эксперименты в широком диапазоне изменения геометрических (точностных) параметров сборочной позиции, а также сравнительные эксперименты с использованием различных средств, повышающих безотказность процесса сопряжения деталей.

Таким образом, выполнение точностного анализа сборочной роботизированной позиции, частично представленного выше, позволило получить ряд количественных критериев оценки безотказности самого процесса, а также данные практического характера по разработке специальных захватных устройств промышленного робота, в том числе для групповой параллельной сборки.

Список литературы

1. Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л., Скопин С.Ю. Многопозиционное захватное устройство. Авторское свидетельство СССР №1207755, МКИ 25J15/02, 1985.

2. Апатов Ю.Л., Потанин Е.Л. Групповой схват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1535714 МКИ B25J15/00, 1989 г.

3. Апатов Ю.Л. Групповой схват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1717341 МКИ B25J15/00, 1991 г.

Разработка многоместных захватных устройств промышленных роботов как основы повышения производительности автоматизированных сборочных операций

Апатов Ю.Л.[a], Мухарицин С.А.[b], Фасхутдинов Р.Р.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения[a]
магистрант кафедры технологии машиностроения[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: apatov.yu@yandex.ru

Аннотация: Средства технологического оснащения промышленных роботов (ПР) являются относительно новым видом объектов проектирования, в то время как, являются неотъемлемой частью любого РТК – робототехнического комплекса. На сборочных операциях, если сравнивать их со вспомогательными операциями (например, с загрузкой заготовок на станок), значение этих устройств возрастает: они должны обеспечить высокую точность ориентации деталей, надежное удержание на всех возможных режимах манипулирования. Однако, при выполнении их по стандартной однопозиционной схеме, наблюдается ограничение другого важнейшего показателя – производительности процесса сборки. Применительно к процессу сборки может быть существенно повышена производительность операции применением многоместных захватных устройств (ЗУ). Следует отметить также недостаточное количество теоретических работ, а также малое число успешных попыток создания опытной технологической оснастки в указанном направлении.

Целью данной статьи послужило создание методики расчета и проектирования захватных устройств многопозиционного исполнения.

Результаты работы могут быть полезны специалистам в области конструирования средств технологического оснащения промышленных роботов.

Ключевые слова: сборка, зажимное усилие, уравнитель давления, пневматический привод, промышленный робот.

Вопросу проектирования средств технологического оснащения промышленных роботов (ПР), занятых на операциях автоматизированной сборки, которые предназначены для захвата, переноса и установки в требуемое положение деталей, например, в процессе выполнения сборочных операций до некоторого времени уделялось недостаточно внимания. Это в значительной степени сужает

и ограничивает возможности применения этого нового и прогрессивного технологического оборудования на таких трудоемких операциях как сборка.

Нельзя отрицать, что расширение функциональных возможностей и повышение эффективности применения промышленных роботов в производ-

ственных условиях может быть достигнуто разработкой рациональных видов технологической оснастки, в частности, групповых многопозиционных захватных устройств (ГЗУ) (или схватов). Отсюда возникает задача получения теоретических данных и рекомендаций с последующей их экспериментальной проверкой, а также разработки конкретных примеров конструктивного исполнения групповых (многоместных) захватных устройств промышленных роботов.

В настоящее время сборка соединением (сопряжением) деталей ведется последовательной установкой очередной детали в очередное же отверстие. Это связано со значительными потерями вспомогательного времени, требуемого на захват, манипулирование, доориентацию деталей, причем основное технологическое время, затрачиваемое непосредственно на соединение очень мало. Следует учесть, что это движение осуществляется на скоростях до трех раз меньших, чем скорости указанных вспомогательных переходов.

В результате каждого рабочего цикла ПР по доставке в сборочную позицию и установки деталей в изделие создается избыток вспомогательного времени, что негативно влияет на производительность процесса.

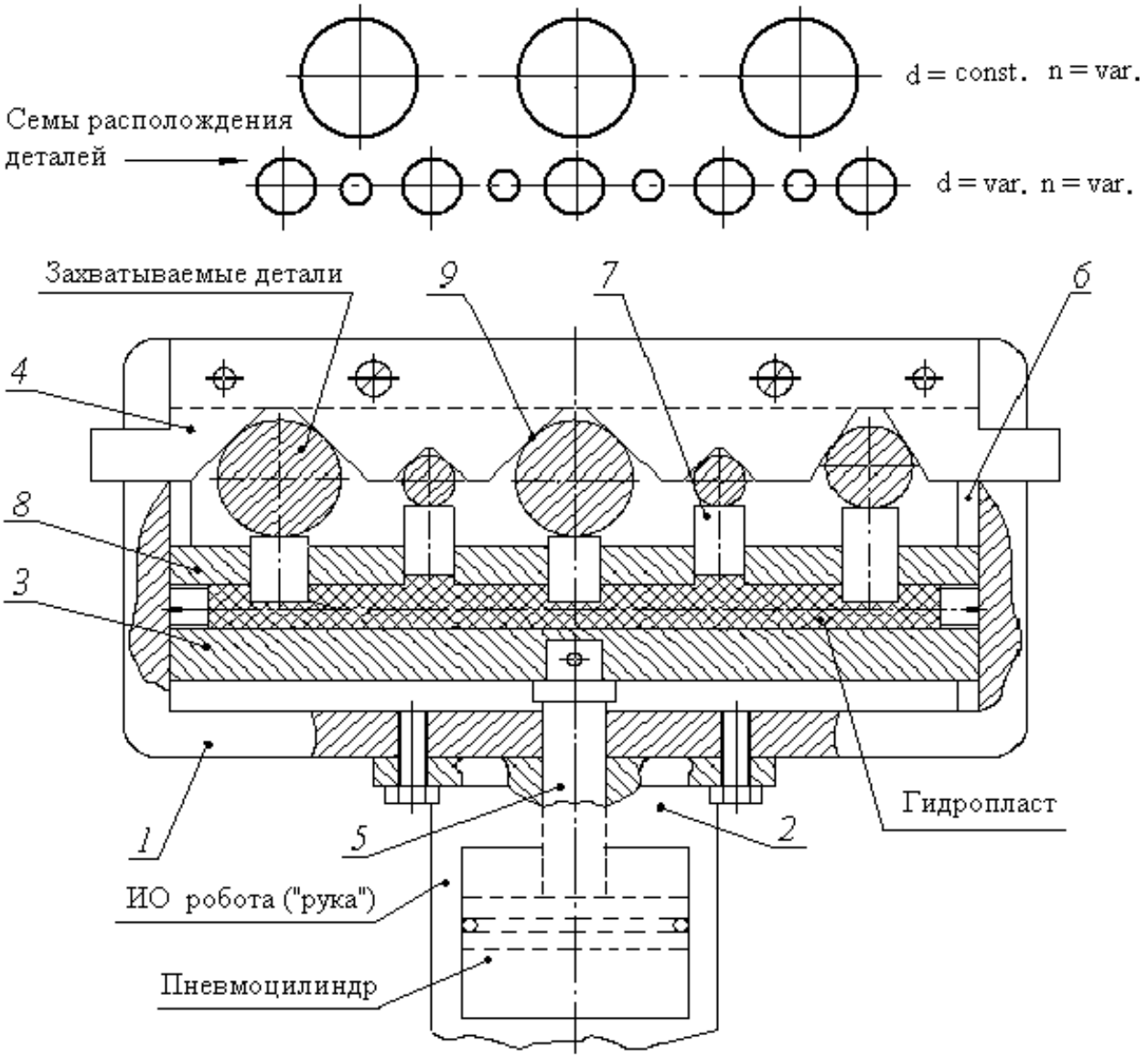
В этом случае можно отметить недостаточное внимание разработчиков новой техники к задачам повышения эффективности рассматриваемых процессов путем повышения их интенсивности и производительности за счет рационального подхода к проектированию захватных устройств ПР, прежде всего, занятых в сборочном производстве.

Весьма перспективным направлением является разработка многоместных или групповых захватных устройств (ГЗУ), которые способны обеспечить надежное удержание роботом одновременно нескольких деталей, а также манипулирование ими на всех возможных режимах. Последние, различаясь между собой по размерам в пределах поля допуска, требуют компенсации этих отклонений за счет конструкции самого ГЗУ при зажиме от общего привода.

Недостатком многих известных конструкций является невозможность прочного одномоментного зажима группы деталей, а также необходимость

ручной настройки на размер захватываемых деталей, что ведет к большим потерям времени на наладку и, в конечном итоге, к простоям робота.

В статье делается попытка пополнить сведения в указанных направлениях, дать информацию о выполненных работах и их результатах.



1 – корпус; 2 – ИО робота, 3 – подвижная зажимная губка;
4 – губка неподвижная; 5 – шток; 6 – направляющая; 7 – плунжер;
8 – уравнитель зажимного усилия; 9 – базирующая призма

Рисунок 1. Многоместное групповое захватное устройство промышленного робота с уравнителем давления и схема возможного расположения деталей

Расположение деталей в устройствах предлагаемого типа может варьироваться с изменением их количества, диаметральных размеров и сочетанием

этих параметров. Возможно линейное, круговое, матричное многорядное и иные схемы расположения деталей, исходя из технологических требований.

Устройство (рис. 1) содержит корпус 1, жестко закрепленный на исполнительном органе 2 ПР («руке»), подвижную зажимную губку 3 и неподвижную губку 4, закрепленную на корпусе устройства. Подвижная зажимная губка связана со штоком 5 приводного пневматического цилиндра и установлена с возможностью перемещения по направляющим 6.

В подвижной губке 3 выполнены отверстия, в которых размещены плунжеры 7, сопряженные одним своим торцом с этими деталями, а другим – взаимодействующие с уравнителем 8 усилия зажима в виде гидропластмассы, заполняющей замкнутую полость, выполненную в подвижной зажимной губке.

В неподвижной губке выполнены призматические базирующие выемки 9 (базирующие призмы) соответствующие по размерам и конфигурации группе одновременно захватываемых деталей.

Работа ГЗУ производится следующим образом. Для захвата группы деталей подвижная зажимная губка 3 под действием штока 5 перемещается в направлении неподвижной губки 4 при включении пневмоцилиндра «руки» 2 по направляющим 6. Это сопровождается базированием деталей в призматических выемках 9 и зажимом их плунжерами 7. При этом обеспечивается одновременное и равномерное усилие зажима благодаря уравнителю усилия 8. Плунжеры 7 устанавливаются относительно деталей, имеющих разброс размеров, за счет подвижности в осевом направлении.

После захвата группы деталей, устройство «рукой» 2 робота переносится в сборочную позицию, где уже должна находиться базовая деталь, и осуществляется позиционирование с необходимой для этого точностью и взаимная ориентация собираемых деталей. Далее подвижная губка 3 отводится от неподвижной губки 4 при подаче сжатого воздуха в штоковую полость пневмоцилиндра и происходит одновременная установка группы присоединяемых деталей в отверстия общей базовой детали. Возможен вариант многоместной налад-

ки, когда вместо одной базовой детали предусматривается комплект из нескольких отдельных деталей «Втулок».

Выполнение схватов робота по предлагаемым схемам позволяет повысить производительность сборочных процессов за счет одновременного соединения нескольких деталей с общей базовой (чаще всего – корпусной) деталью или с таким же количеством отдельных деталей типа «Втулка» для получения группы узлов (сборочных единиц) посредством сокращения вспомогательного времени в рабочем цикле ПР. Равномерность усилия, обеспечиваемая уравнителем давления, исключает повреждение поверхности захватываемых деталей.

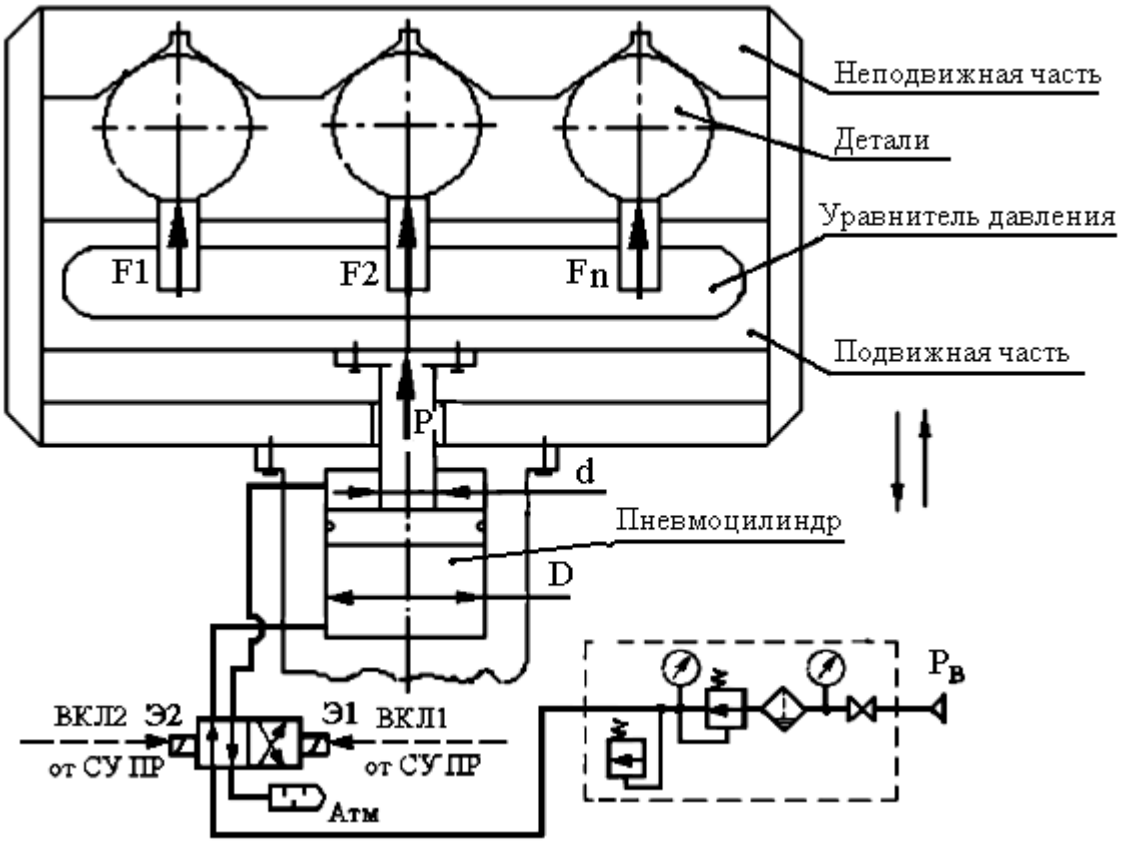


Рисунок 2. Схема к определению силовых и размерных параметров групового захватного устройства

Отметим, что для питания предлагаемого захватного устройства необходим блок подготовки воздуха (на рис. 2 справа-внизу), состоящий из входного вентиля, двух манометров, фильтра с влагоотделителем, и редукционного кла-

пана. Предполагается для использовать двухпозиционные пневмораспределители с электромагнитным управлением, легко вписывающиеся в СУ робота.

Для определения необходимого усилия захвата одиночных детали используем выражения, приведенные в [1]. Само это усилие (сила зажима) будет зависеть от направления и характера перемещения по координатным осям.

Выражения для расчета параметров предлагаемых ГЗУ даны в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные формулы для определения характеристик группового ЗУ ПР

№ п/п	Формулы для расчета		Комментарий
1	$F = G \cdot \frac{K}{\mu} \cdot \left(1 + \frac{a_B}{g}\right)$	$a_B = \frac{V_t - V_0}{\tau}$	При подъеме по вертикали (ось OZ), осуществляемом промышленным роботом
2	$F = G \cdot \left(\frac{K}{\mu} + \frac{a_r}{g} \cdot tg\alpha\right)$		При движении по горизонтали (ось OX) (Выдвижение «руки» робота)
3	$F = G \cdot \left(\frac{K}{\mu} + \frac{\omega^2}{g} \cdot R \cdot tg\alpha + \frac{\varepsilon}{g} \cdot R\right)$		При повороте ЗУ вокруг вертикальной оси (угол φ) в горизонтальной плоскости
4	$\frac{\mathrm{P}}{\eta} = \sum_{i=1}^{n} F$		Взаимосвязь усилия на штоке пневмоцилиндра и суммарной силы зажима
5	$\mathrm{P} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot \eta$	$\frac{\mathrm{P}}{\eta} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho$	При подаче воздуха в поршневую и штоковую полость пневмоцилиндра
6	$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \mathrm{P}}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}}$		Искомый диаметр гильзы пневмоцолиндра привода при подаче воздуха в поршневую полость
7	$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \mathrm{P}}{\pi \cdot \rho \cdot \eta \cdot (1 - C^2)}}$	$c = \frac{d}{D} = 0{,}5$	То же, при подаче воздуха в штоковую полость и рекомендуемое соотношение диаметров штока и поршня
8	$F = \frac{\mathrm{P}}{n} \cdot \rho \cdot \eta$		Потребная сила зажима деталей в ГЗУ предлагаемой конструкции

В представленных формулах обозначено:

D и d – диаметры гильзы (поршня) и штока пневмоцилиндра, соответственно;

c – эмпирическая постоянная, равная (приближенно) 0,5;

η – коэффициент полезного действия. В нашем случае принимается: η = 0,9;

ρ – удельное давление воздуха, для роботов стандартное: ρ = 0,4 МПа.

G – масса захватываемой роботом детали (кг);

K – коэффициент запаса надежности удержания детали в ЗУ: К=1,5 – 2;

a_B – ускорение вертикального (аналогично и горизонтального) перемещения;

μ – коэффициент трения между зажимными губками и деталью; для стали 0,1;

g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2;

α – угол скоса базирующих призм в неподвижной зажимной губке (см. рис.1);

ω – угловая скорость вращения «руки» робота вокруг вертикальной оси;

ε – угловое ускорения поворота ЗУ;

R – расстояние от оси вращения до центра захватного устройства.

По этим формулам целесообразно рассчитывать пневматический привод захватного устройства, так как здесь учтены режимы транспортирования детали и фактические размеры в крайнем неблагоприятном случае.

После определения потребных усилий зажима, целесообразно провести проверку захватываемых деталей на контактную прочность, чтобы убедиться что в результате зажима, детали не получат повреждения поверхности.

Возможно использовать принцип обратимости, когда уравнитель давления помещен в неподвижную зажимную губку, что также учтено в одной из разработок по этой тематике. Эффект, достигаемый при этом остается неизменным. Задача усложнялась при круговой компоновке захватываемых деталей.

В этой статье и смежных статьях авторов отражены некоторые результаты теоретических исследований точностных и динамических факторов, определяющих безотказность сборки, соединения в изделие цилиндрических деталей,

в соответствии с нестандартным подходом к построению самой сборочной операции и проектированию специальной оснастки в виде многопозиционных захватных устройств ПР.

Они нашли подтверждение большим объемом экспериментов и итогами опытно-конструкторских работ, направленных на создание и реализацию новых подходов к конструированию технологической оснастки для промышленных роботов в реальных производственных условиях.

Таким образом, приведенные в статье сведения могут быть полезными разработчикам средств оснащения промышленных роботов в направлении повышения интенсивности их использования, прежде всего, в сборочном машиностроительном производстве. Речь идет, в первую очередь, о повышении производительности сборочных ПР, как о важнейшем критерии эффективности применения этого, сравнительно нового вида, технологического оборудования. Надеемся также, что данная статья будет полезна обучающимся по техническим специальностям и направлениям студентам, магистрам и аспирантам.

Список литературы

1. Козырев, Ю. Г. Промышленные роботы: справочник / Ю. Г. Козырев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1988. - 392с.: ил

3. Корсаков В.С., Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л. Групповой схват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №975389 МКИ B25J15/00 1982

4. Корсаков В.С., Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л. Многопозиционное захватное устройство. Авторское свидетельство СССР №994254 МКИ B25J15/00, 1983 г.

5. Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л., Вахрушев Н.А. Многопозиционный захват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1491701 МКИ B25J15/00, 1989 г.

6. Апатов Ю.Л., Потанин Е.Л. Групповой схват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1535714 МКИ B25J15/00, 1989 г.

7. Апатов Ю.Л. Групповой схват промышленного робота. Авторское свидетельство СССР №1717341 МКИ B25J15/00, 1991 г.

Архитектурная организация генеральных планов АЭС

Безверхов Г. М.
кандидат архитектуры, доцент, зав. кафедрой архитектуры и градостроительства
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: arh_bezverkhov@vyatsu.ru

Аннотация: Развитие атомной энергетики в XXI веке осуществляется опережающими темпами.

Опыт проектирования и строительства атомных электростанций показывает, что, обладая независимостью от источников сырья и компактностью ядерного горючего, комплексы АЭС гигантскими масштабами уже сегодня сооружаются в различных точках Земного шара. Темпы строительства АЭС, создание современных видов атомно-энергетического оборудования требуют качественного подхода к организации архитектурного проектирования сооружений ядерной энергетики.

Разнообразие климатических и природных условий, влияние окружающей среды, специфичность технологических схем АЭС с реакторами различных типов, выбор места размещения и строительства, экономика и безопасность – это основополагающие факторы проектирования и строительства АЭС. Эти факторы влиятельно определяют возможности архитектурной организации комплексов АЭС в сфере художественно-образных категорий градостроительства. Архитектура АЭС особенное значение приобретает на современном этапе мощного развития и строительства крупных ядерно-энергетических комплексов, когда атомные электростанции формируют природно-градостроительное пространство, имеют широкие предпосылки размещения у крупных городов. Такое размещение определяется безопасностью АЭС для окружающей среды и населения и является фундаментальным фактором в перспективных проектах промышленных районов и агропромышленных комплексов.

Одним из важнейших вопросов архитектурной организации значительных и мощных АЭС является проблема сохранения и преумножения ценных для жизнедеятельности человека в биологическом и эстетическом отношении природных ландшафтов окружающей среды.

Олицетворяя собой научно-технические достижения современной эпохи, атомные электростанции, размещаемые с учетом экономических и технологических требований, должны составить гармоничное целое с окружающими ландшафтами, не разрушать их эстетическую ценность как загрязнением воздуха, воды и окружающей территории, так и значительной масштабной и композиционной несогласованностью.

Все более актуальными становятся вопросы экономики и рационального использования территории, улучшения внешнего облика АЭС и их благоустройство.

Ключевые слова: выбор площадки, факторы размещения, архитектурные принципы, основные группы требований, схемы компоновки.

Размещение и выбор площадки АЭС является важной и сложной проблемой, которая содержит два фундаментальных требования: безопасность и экономичность станции, а также определяет архитектурно-планировочное решение и объемно-пространственную структуру АЭС.

При выборе местоположения АЭС необходимо учитывать влияние многочисленных факторов, которые на основе исследования опыта проектирования и строительства предлагается объединить в три группы одной структуры.

Факторы I группы определяют общие вопросы местоположения в зависимости от целевого назначения АЭС. Они включают в себя экономические критерии определения и местоположения АЭС в общих чертах: рациональность типа АЭС (АТЭЦ), потребители энергии тепла, возможность охлаждения, удаление от потребителя.

Метеорологические условия выбора площадки должны удовлетворять требованиям ветрового режима, хорошей продуваемости и размещения АЭС с подветренной стороны по отношению к ближайшему населенному пункту.

Если учесть, что атомные станции не зависят от размещения топливной базы, то условия обеспечения охлаждающей водой являются наиболее важными и часто определяющими требованиями к выбору площадки размещения электростанции.

Факторы II группы объединены для экономического доказательства целесообразности конкретной площадки размещения АЭС. Правильный выбор площадки в строительстве оказывает огромное влияние на себестоимость электрической энергии.

Архитектурные принципы взаимосвязи выбора места площадки АЭС и окружающего природного ландшафта автор исследования рекомендует учитывать в структуре первых двух групп основных факторов, определяющих размещение АЭС. Основные архитектурно-планировочные факторы, определяющие размещение и влияющие на композиционную структуру АЭС объединены в третьей группе факторов.

Факторы III группы являются определяющими для архитектурно-планировочной организации генеральных планов АЭС с учетом радиационной безопасности и экономики. Исследование показывает, что недопустимо рассматривать будущее размещение АЭС только с точки зрения радиационной безопасности, экономики и технологических требований, так как это ограничит развитие объемно-пространственной композиции и архитектурно-художественной выразительности зданий и сооружений АЭС.

При компоновке ситуационного плана должны быть выполнены следующие требования:

1. Наилучшее использование местных природных условий, как правило, намеченные на основе ТЭО.

2. Достижение оптимального взаимного положения АЭС и жилого поселка.

Обобщая вышеизложенное, необходимо отметить, что выбранное местоположение строительной площадки АЭС в значительной мере определяет схему генерального плана, а главными общими требованиями к размещению АЭС являются:

– близость к центру электрической и тепловой нагрузок обслуживаемого района;

– наличие строительной площадки и территории, обеспечивающей перспективное расширение АЭС;

– незатопляемость местности в половодье;

– наличие соответствующих геологических условий и грунтов;

– наличие источника водоснабжения;

– благоприятный рельеф местности, требующий минимальной планировки;

– наличие железнодорожных или водных подъездных путей;

– благоприятное положение относительно преобладающего направления ветров.

Критерии выбора площадок для размещения АЭС позволили определить в исследовании три основных группы требований: общие инженерные требования, требования безопасности для населения и окружающей среды и социально-экономические, включая общественное мнение. Важно отметить новые принципы в подходе к выбору мест для размещения АЭС. В России, США и Англии считают, что при вводе больших энергетических мощностей АЭС целесообразно размещать на одной площадке несколько блоков АЭС общей мощностью до 8-10 млн. кВт. Такой подход резко снижает риск для населения, так как площадки могут выбираться в районах с малой плотностью населения, а вероятность крупной аварии для такой площадки останется на уровне вероятности аварии для единичной АЭС.

Сегодня все более актуальными становятся вопросы экономии и рационального использования территории и сохранения окружающей среды, улучшение внешнего облика АЭС и благоустройства. В современных условиях высоких темпов проектирования и строительства мощных комплексов АЭС, рациональное размещение станций должно учитывать не только требования технологии, экономики и безопасности, но и сложный круг вопросов архитектурно-планировочной организации генеральных планов АЭС.

Современное развитие архитектурно-композиционных решений генеральных планов АЭС происходит в нескольких направлениях, которые определяются применяемыми типами реакторов, технологическими и компоновочными схемами АЭС. Взаимное расположение по сомкнутой или разомкнутой компоновке двух основных технологических групп в комплексе АЭС – реакторной и турбинной, является определяющим фактором формирования объемно-пространственных композиций АЭС.

Социальные и архитектурные стороны градостроительства выдвигают определенные требования к архитектурно-композиционным решениям АЭС, которые возводятся на свободных территориях и заметно влияют на преобразование обширных природных ландшафтов [Владимиров и др., с.125].

Размещение АЭС в условиях жаркого климата, суровых районов Крайнего Севера, на берегах морей и океанов, крупных рек и водоемов, а в будущем около крупных городов и в составе промышленных районов и агропромышленных комплексов – повышает ответственность архитектора в решении комплексных вопросов разнообразия объемно-пространственных композиций АЭС с учетом экономических, технологических, конструктивных, экологических и других проблем. Определяющее влияние на архитектурное решение АЭС оказывают природные и климатические условия района размещения АЭС. Необходимо отметить, что благодаря большим размерам объемов основных сооружений, АЭС занимает доминирующее положение в пространстве, композиционно организуя окружающую среду.

Анализ архитектурно-композиционных решений АЭС показывает, что оптимальное блокирование зданий АЭС базируется на совершенствовании технологии и значительно способствует снижению показателей удельной площади АЭС, формированию выразительной архитектурной композиции с доминирующими главными корпусами реакторов и отвечает основным требованиям архитектурно-планировочных решений АЭС: максимальной компактности, экономии территории, сохранению естественных ландшафтов, безвредности для окружающей среды и жизнедеятельности человека, высокому уровню комфортабельности условий труда, высоким художественно-эстетическим качествам АЭС [Глазычев, с.205].

Атомная электростанция представляет собой комплекс сооружений, различных по функциональному назначению, форме и размерам. Архитектурный и технологический центр комплекса АЭС – здание реактора, которое является основным элементом композиции. При объединении нескольких реакторов в одном здании и блокировании с турбогенераторным цехом и вспомогательными зданиями – главное здание представляет собой единый ансамбль, который вместе с открытой подстанцией составляют основу композиции генерального плана [Гидион, с.102]. Вокруг здания реактора группируются вспомогательные здания, связанные с ним технологическим процессом; они расположены в соот-

ветствии со своим функциональным назначением в общем технологическом цикле и смягчают гигантские масштабы основного корпуса. Размещение на площадке зданий турбогенераторной и административно-бытовой групп продиктовано помимо функционального назначения стремлением к компактности АЭС и гармоничному сочетанию различных объемов.

Анализ генеральных планов отечественных и зарубежных АЭС позволил выявить четыре принципиальных схемы их компоновки, отличающихся как взаимным размещением зон, так и их расположением относительно источников водоснабжения [Смоляр, с.29]. Общим для указанных схем является размещение большинства подсобно-производственных, складских и специальных сооружений с двух или трех сторон основной производственной зоны и расположение административно-бытовой зоны на наиболее удаленной от основной производственной зоны части территории.

Фронтальная или линейная схема характерна для комплексов мощных АЭС. В этом случае здание турбогенераторов компонуется в одном протяженном здании для нескольких блоков реакторов (пристроенных или отдельно стоящих), а общественные объекты компонуются в одном административно-бытовом здании.

Компактная схема планировки характерна для АЭС средней и малой мощности. При этой компоновочной схеме сохраняется высокая плотность застройки и открывается значительная часть фасадов доминирующих реакторов.

Пространственная компоновочная схема характерна для АЭС различной мощности с многообъемным решением зданий и при строительстве АЭС очередями. Такая схема может быть простой для относительно небольших АЭС и сложной для мощных и многообъектных АЭС.

Архитектурно-композиционное решение с применением любой из схем должно учитывать четкое, функциональное зонирование групп зданий и оптимальное блокирование зданий в каждой группе.

Современные генеральные планы АЭС существенно отличаются от генеральных планов первого этапа становления архитектуры АЭС большей компо-

зиционной четкостью построения, компактностью застройки и более высоким уровнем благоустройства территории.

Будущее архитектуры АЭС представляется значительным, как в области архитектурно-планировочный организации и образного воплощения специфики энергетического сооружения, так в решении общекомпозиционных задач организации пространства.

Список литературы

1. Владимиров В. В., Саваренская Т. Ф., Смоляр И. М. Градостроительство как система научных знаний. Научное издание. М., РААСН, 1999. 258 с.
2. Глазычев В. Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды. М., 1984. 305 с.
3. Гидион З. Пространство, время, архитектура. М., 1973. 243 с.
4. Смоляр И. М. Принципы градостроительного проектирования и предложения по разработке генеральных планов городов в новых социально-экономических условиях. М., 1995. 262 с.

Основные виды сводчатых перекрытий

Безверхов Г.М..(а), Пушпашев М. Е.(б), Чуренкова М. В. (в)
заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства (а)
студент 3 курса ФСА (б), студент 3 курса ФСА (в)
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация (а,б,в)
E-mail:kaf_arh@vyatsu.ru (а), p.max9708@yandex.ru (б,в)

Аннотация: В статье проведен ретроспективный анализ сводчатых перекрытий, конструктивная система которых подвергалась изменениямна протяжении долгого периода. Появлялись новые формы, позволяющие разнообразить архитектуру зданий и сооружений: цилиндрический свод, крестовый свод, сомкнутый свод, зеркальный свод, парусный свод, крещатый свод, крестово-купольный свод, ступенчатый свод, купол. В статье приведены классификации сводов, выявлены характерные и отличительные черты их основных конструктивных решений, анализируется их происхождение и функциональное применение в разные исторические периоды. В настоящее время с развитием новых технологий и появлением современных строительных материалов для воплощения причудливых и замысловатых идей архитекторов применение сводчатых перекрытий особенно актуально, поэтому развитие конструкций сводов является перспективным и необходимым в строительной отрасли.

Ключевые слова: свод, конструктивная система.

С древних времен и по сей день существуют две основные конструктивные схемы строительных конструкций – стоечно-балочная и стоечно-арочная. Балочное перекрытие на протяжении веков практически не менялось и оставалось предельно простым, в то время как арка постоянно эволюционировала, и из нее вырастали сложные сводчатые системы и множество их комбинаций. Сводчатые перекрытия использовались, в первую очередь, для религиозных и общественных помещений, поскольку такая система может покрыть огромное пространство. Под действием нагрузки свод работает преимущественно на сжатие, в отличие от балки, работающей на изгиб. Поэтому применение криволинейных сводов показывает более высокую прочность, позволяющую значительно превысить размер пролета балочно-стоечной системы. Например, в стоечно-балочной конструкции величина прочности камня на изгиб ограничивает ширину пролета примерно до 5 метров, в то время как предельная пролетность каменных сводов доходит до 43 метров.

На протяжении долгого периода конструктивная система сводов подвергалась изменениям. Появлялись новые формы, позволяющие разнообразить архитектуру зданий и сооружений. Рассмотрим основные виды сводчатых перекрытий.

Древнейшей основной формой монументального покрытия является **цилиндрический свод**. Практическое применение и художественное выражение своду дал Передний Восток — Месопотамия, Ассирия и Иран. В архитектуре этих стран он применялся как в зданиях самого высокого назначения для величественных дворцовых залов и храмов, так и в скромных утилитарных сооружениях, таких как длинные коридоры, лестницы и водосточные каналы. Цилиндрический свод имеет опоры в виде продольных непрерывных стен, на которые равномерно распределен распор свода. Свод имеет бесконечную протяженность и не замыкает пространства. В проездах, туннелях и каналах свод может при ограниченной протяженности быть открытым и не иметь замыкающих стен. Во внутренних помещениях необходима торцевая стена, которая дает тот или другой предел протяженности свода и отсекает определенную часть пространства [Кузнецов, с.70].

Согласно классификации Кузнецова А.В. из всех разнообразных форм и приемов применения цилиндрического свода можно выделить пять основных групп:

1. Короткий цилиндрический свод. Продольная ось его слабо выражена, а при квадратном плане появляются две оси, придающие своду фальшивый характер. Только торцевой свет с одной или двух сторон оправдывает эту форму и придает ей пространственную завершенность.

2. Длинный цилиндрический свод на стенах, с входом с одной торцевой стены. Другой конец свода завершается нишей или абсидой с жертвенником, троном или памятником. В данном случае ось подчеркнута наиболее выразительно и требует осевое симметричное освещение — торцевое, со стороны входа, боковое с двух сторон или верхнее с шелыги свода.

3. Длинный цилиндрический свод, но со сквозным проходом в обоих торцах (галереи) и с боковым светом, нарушающим осевое равновесие. Эту проблему пытался исправить архитектор Жюль Ардуэн-Мансар в Зеркальной галерее Версальского дворца (Франция), оформляя обе стены совершенно одинаково и остекляя фальшивые окна глухой стены зеркалами.

4. Цилиндрический продолговатый свод опирается с двух сторон на ряды колонн, имея основанием их архитравные перекрытия, что создает необычайно четкую, завершенную композицию.

5. Цилиндрический свод, опирающийся с одной стороны на стену, а с другой на колоннаду.

Основой для новых типов сводов стал римский прямой **крестовый свод** над квадратным в плане помещением. Крестовый свод образовался пересечением двух цилиндрических сводов. Нагрузки, возникающие от этого свода, распределяются по диагональным ребрам, а с них передаются на четыре опоры по углам перекрываемого пространства, а не на стены [Алексеев и др., с.137]. Такие ребра получили название «нервюры» и были изобретены в XI веке. Теперь стену можно было делать не такой массивной и прорезать ее большими окнами. Наибольшее разнообразие форм крестового свода дала готика, для которой этот тип свода является основным.

Типичным для западноевропейского средневековья был **сомкнутый свод**. Он образуется наклонным продолжением стен, сходящихся в верхней точке — шелыге. Такой свод распределяет свой вес равномерно по всей длине стен и создает незначительный боковой распор [3]. В то же время сомкнутый свод, как и крестовый, является производным от цилиндрического свода. Составные его части — лотки — вырезаны из нижней части цилиндра и заключают в себе всю часть цилиндрического свода, опирающуюся на стену. В сомкнутом своде оконные проемы размещаются в углах, где давление минимальное. Недостатком данной конструкции можно отметить тот факт, что ряд сомкнутых сводов не применим для одного помещения, так как не образуется единого перекрытия. Примером может служить ряд сомкнутых сводов в Ватиканском коридоре,

в лоджиях Рафаэля (Италия). Сомкнутый свод не был активным элементом ни в античной, ни в средневековой архитектуре. В римском зодчестве мы встречаем только восьмигранный и десятигранный сомкнутый свод, который воспринимается скорей как купол. В готике можно указать на единичные случаи применения сомкнутого свода в монастырских зданиях.

Разновидностью сомкнутого свода является **зеркальный свод**, актуальный в эпоху Возрождения. Зеркальный свод был необходим, прежде всего, для живописи, требования к которой заставляли упрощать среднюю часть свода, доводя ее до формы плоского плафона (зеркала). Кроме того, он применялся как новое пространственное решение залов гражданских зданий, и в то же время в нем была решена задача освещения плафона и уменьшение высоты перекрытия. Переход от вертикальных стен к горизонтальному плафону осуществляется посредством гладкой паддуги или паддуги с распалубками для придачи данному виду перекрытия особой легкости. От паддуг плафон обычно отделяется четкой рамой, форма которой может быть весьма разнообразной. Понятие «зеркальный свод» подразумевает форму зеркала и требует связи рамки зеркала со стенами посредством распалубок [Трацевский и др., с.98]. Такой свод применим для прямоугольных помещений любой длины при увеличении числа распалубок. Особую форму и решение пространства дает зеркальный свод на колоннах, встречающийся в дворцовых дворах (двор палаццо Канчеллариа). Но наиболее рационально применение зеркального свода на опорах для вестибюлей и открытых лоджий. Также в декоративных целях само помещение может быть перекрыто балочной или стропильной конструкцией, к которой подвешивается ложный зеркальный свод.

Парусный свод, в силу специфичности своей формы и малого подъема над шелыгами несущих арок, является только одной из лучших форм покрытия внутреннего пространства. Парусный свод дает одинаково ценные и выразительные архитектурные формы покрытия в различных условиях:

а) на квадратном плане, замкнутом стенами;

б) на четырех колоннах, в виде законченной формы балдахина, равноценного балдахину крестового свода;

в) при перекрытии больших зал рядами парусных сводов по двум направлениям на большом числе колонн.

Парусный свод является законченной формой на любой высоте и может иметь в шелыге круглое отверстие любого радиуса, используемое для освещения. Параллели и меридианы составляют основные линии парусного свода. Основная параллель на уровне шелыг арок членит парусный свод на две зоны — нижнюю несущую, в виде четырех сферических треугольных парусов, и верхнюю несомую, плоскую часть сферы, называемую скуфьей. Ряд новых форм парусного свода можно получить путем изменения размера и кривизны арок и введения распалубок. Чем меньше радиус и сильнее кривизна арок в горизонтальной их проекции, тем выше они поднимаются к шелыге свода, причем размеры скуфьи будут изменяться в зависимости от кривизны арок в плане. Форма парусного свода с распалубками сохраняет все преимущества парусного и крестового сводов. Очень часто встречаются распалубки только по двум сторонам прямоугольного плана, что дает возможность сделать правильную круглую скуфью. Такую новую форму применил уже в конце XVII века архитектор Кристоф Ренв среднем нефе собора Павла в Лондоне.

В начале XVI века русскими зодчими был изобретен **крещатый свод**. В сущности это сомкнутый свод, перерезанный четырьмя крестообразно расположенными распалубками [Паламарчук, с.49-53]. Он давал возможность без столбов перекрыть внутреннее пространство церкви. Фасады получались с завершением в виде трехлопастной арки. Первым древнерусским храмом, перекрытым таким сводом стала церковь мученика Трифона в Напрудном (Москва).

Формирование **крестово-купольного свода** происходило на протяжении V—VIII вв. в Византии. Главную роль в композиции храма играл центральный купол, высоко поднятый на барабане. Ярусом ниже располагаются сводчатые рукава креста, ещё ниже - угловые помещения. Купол опирался на 4 столба в центре здания, откуда расходились четыре сводчатых рукава креста. Образую-

щиеся при этом угловые помещения часто также перекрывались небольшими куполами или сводами. Ярчайшим примером крестово-купольного храма является главный Софийский собор в Киеве, возведенный в первой половине XI века.

Ступенчатый свод — тип свода, применявшийся для перекрытия небольших бесстолпных церквей. Пространство здания перекрывается при помощи системы поперечных арок, расположенных ступенями, на которые опираются ступенчатые арочки продольного направления. Таким образом, в центре перекрытия образуется открытый квадрат, завершенный световым барабаном. Самые ранние ступенчатые своды были возведены в погребальных камерах пирамид, ложные арки– в храмовых святилищах Древнего Египта.

Из всех сводов, только **купол** является одновременно и внутренним покрытием и крышей. Такая конструкция возникла в Месопотамии и представляла собой обычный тип глиняного или кирпичного покрытия жилищ в странах Востока, где нет дерева и мало камня. Под основной формой купола обычно понимается поверхность, образовавшаяся путем вращения одной непрерывной выпуклой кривой вокруг вертикальной оси. Благодаря этому он органично сочетается с центрической формой сооружения – квадратной, круглой, многогранной. Как тело вращения купол имеет параллели в виде окружностей, а меридианы – в виде разных кривых: круговых, эллиптических, параболических, или составных их частей со сферической или остроконечной шелыгой.

Каменные купола имеют следующую классификацию:

1. Массивные гладкие купола. Это простая, наиболее употребительная конструкция, особенно при малой величине пролета.

2. Массивные купола со скрытыми или слабо выявленными ребрами, облегчающими производство работ.

3. Ребристые купола, меридиальные ребра которых являются основными конструктивными элементами.

4. Гладкие купола из облегченных материалов.

К современным новейшим системам куполов относятся:

1. Сплошные безреберные купола-оболочки. Чаще всего выполняются из железобетона и дерева.

2. Ребристые купола с одной или двумя оболочками (пустотелые). Ребра только меридиальные с заполнением плитой. Выполняются из одного материала, чаще в железобетоне, реже в дереве.

3. Каркасные купола. Заполнение чаще иного материала, чем сам каркас.

4. Сетчато – стержневая система. Выполняется в дереве из косяков с металлическими скрепами в местах пересечения или врубками. Сетчатая система в металле возводится из косяков двутаврового профиля, соединенных в узлах заклепками, болтами, сваркой.

5. Волнисто – складчатая конструкция. Широко используется для цилиндрических сводов, в ангарах для дирижаблей. Для куполов такая система еще не применялась.

В настоящее время с развитием новых технологий и появлением современных строительных материалов можно воплотить любую идею архитектора. Таким образом, варианты конструктивного исполнения сводов увеличиваются, не ограничиваясь простыми формами. Применение сводов оправдано для больших помещений общественного назначения, такие как стадионы, арены, храмы и многие другие сооружения. Благодаря этому развитие конструкций сводов является перспективным в отрасли строительной деятельности.

Список литературы

1. Кузнецов А.В. Своды и их декор. М.: Издательство В. Шевчук, 2003. 420с.

2. Алексеев Ю.В., Казачинский В.П., Бондарь В.В. История архитектуры градостроительства и дизайна. Курс лекций. М.: Издательство АСВ, 2008. 448 с.

3. Виды сводов – сомкнутый свод // Книга эхо Эзопа – URL:http://ezop.su/?item=44ce6d5f-b463-48d2-b127-ef1edac268f1&termin=9f4e32d8-dccc-4837-bec6-c93226189994 (дата обращения - 14.02.2018).

4. Трацевский В.В., Колосовская А.Н., Чижик И.Л. Классические архитектурные формы: учеб.пособие. Минск: Выш. шк., 2008. 208с.

5. Паламарчук П. Г. Сорок сороков. Т. 2: Москва в границах Садового кольца. М., 1994. 664с.

Оценка перспектив использования кавитационных процессов для автономных источников тепловой энергии

Беляев А.Н.[a], Гурдин Р.А.[b]
Кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и инженерных систем[a]
Магистр, кафедра технологии машиностроения[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: belyaev71@list.ru[a], rgurdin@mail.ru[b]

Аннотация: В последние годы в связи с развитием индивидуального строительства и необходимостью обеспечения предприятий более дешевой тепловой энергией возрос спрос на автономные системы отопления и горячего водоснабжения. Такие системы требует вдвое меньше капитальных вложений, чем централизованные, кроме того, они значительно экономичнее в эксплуатации. По экспертным оценкам, годовой расход топлива при автономном теплоснабжении снижается в среднем на 40 – 50%, затраты на обслуживание - в 2,5 раза. Общая эффективность автономных систем не опускается ниже 89%.

Основной целью публикации является представление результатов исследований по возможности использования кавитационных процессов в системах автономного теплоснабжения.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований различных конструкций кавитационных реакторов и дана их оценка.

Определены перспективы в поиске оптимальных конструкционных параметров и технологических режимов работы кавитационных теплогенераторов.

Ключевые слова: отопление, теплогенератор, кавитационный реактор, динамика нагрева.

В последние годы в связи с развитием индивидуального строительства и необходимостью обеспечения предприятий более дешевой тепловой энергией возрос спрос на автономные системы отопления и горячего водоснабжения.

Для решения проблем теплоснабжения жилых и производственных помещений, разработаны и производятся вихревые кавитационные теплогенераторы, способные обеспечить автономное отопление и горячее водоснабжение [Пирсол, с. 44][Козырев, с. 156].

Кавитационные теплогенераторы - новое экологически чистое устройство, предназначенное для автономного отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных помещений. Его принцип действия основан на преобразовании электрической энергии в тепловую без использования нагрева-

тельных элементов – это происходит за счет образования вихревого движения жидкого теплоносителя при подаче его электронасосом в вихревую камеру под давлением. Основные преимущества гидравлических теплогенераторов – это обеспечение нагрева, а также принудительная циркуляция теплоносителя в системе отопления. Это не требует тщательной водоподготовки и может работать на различных видах жидкости (в том числе химически агрессивных и пожароопасных) [Беляев, с. 2]. При этом исключается появление отложений на внутренних поверхностях терплогенератора и системы отопления. Кавитационные теплогенераторы отличаются высоким КПД (до 94%) и не нуждаются в постоянном обслуживании, так как их система управления обеспечивает работу в автоматическом режиме [Беляев, с. 3]. Такие установки не требуют разрешения от котлонадзора, служб по экологическому, технологическому и атомному надзору так как электрическая энергия используется не для нагрева теплоносителя, а для работы электродвигателя. Одним из создателей современного кавитационного теплогенератора является российский ученый Ю.С. Потапов [Теплогенератор для нагрева жидкости. Патент РФ 2045715. М., кл. 5; В 25, В 29/00, 1993 Потапов Ю.С. № RU 2045715 С1 от 9 февраля 2000 г.], а В.И. Серовым была запатентована автономная система теплоснабжения, которая осуществляет из одного теплоисточника [Автономная система теплоснабжения. Патент РФ Серов В.И. №2272965 от 27 марта 2006 г].

В целях поиска оптимальных конструкционных параметров и технологических режимов работы кавитационных теплогенераторов на кафедре промышленной безопасности и инженерных систем ВятГУ проведен ряд исследований с различными конструкциями кавитационных реакторов кавитационным реактором конструкцией для оценки возможности использование кавитационных

Для осуществления обработки воды в рамках проведенных исследований рассматривалась возможность использования трех различных конструкций кавитационного реактора, выполненных на основе полипропиленовых труб с цилиндрическим возбудителем кавитации диаметром dв=8мм [Способ обеззараживания воды синергетическим воздействием: пат. 2445272 Рос. Федерация

9МПК9 C02F1/34/ А.Н. Беляев, И.В. Флегентов.– №2010141209: заявл. 07.10.2010; опубл. 20.03.2012. - 6с.]:

– трубная одноуровневая конструкция;

– трубная 2-х уровневая конструкция;

– 2-х уровневая конструкция «труба в трубе».

С помощью данного устройства были исследованы такие показатели как время нагрева, объем исследуемой воды, расход, скорость в канале, давление и температура. При испытаниях использовались разные виды насосов, а именно Calpeda MXV 40-819, Pedrollo F50/160B и Pedrollo F50/250 A.

Исследования проводились с различными объемами воды. Анализ результатов позволил разбить их на 6 групп и определить скорость нагрева воды, представленную на графике 1, а также удельное ее значение, приведенное к 1 м^3 (таблица 1). Данные представлены для конструкции «труба в трубе».

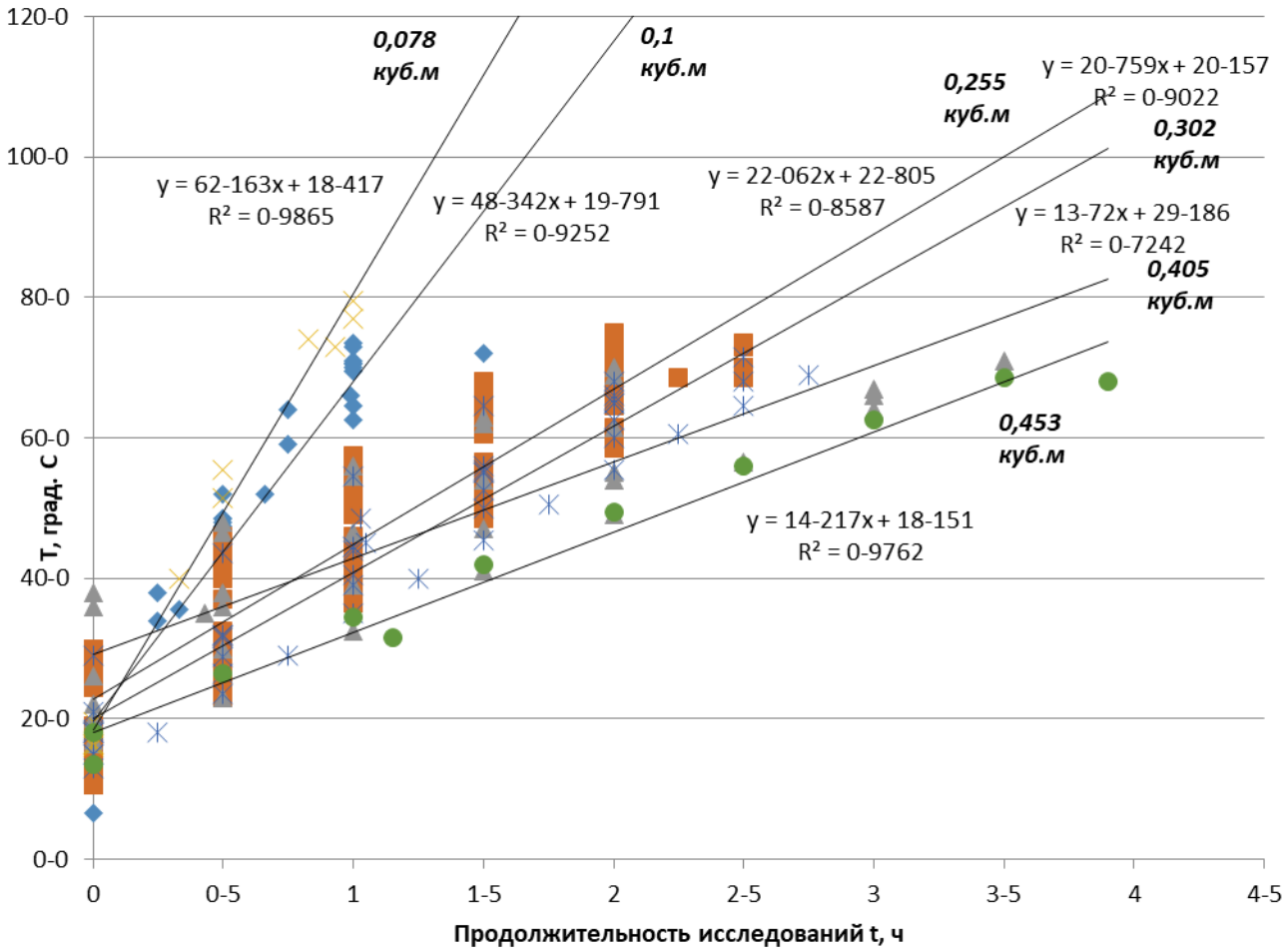


Рисунок 1. Изменение скорости нагрева воды различных объемов

Таблица 1

Расчет удельных показателей

Объем воды, $м^3$	Уравнение	R^2	Скорость нагрева, $^0С/ч$	Удельная скорость нагрева 1 $м^3$, ℃*куб.м/ч
0,078	T=62,163t+18,417	0,9865	62,163	4,85
0,1	T=48,342t+19,791	0,9252	48,342	4,83
0,255	T=22,062t+22,805	0,8587	22,062	5,63
0,302	T=20,759t+20,157	0,9022	20,759	6,27
0,405	T=13,72t+29,186	0,7242	13,72	5,56
0,453	T=14,217t+18,151	0,9762	14,217	6,44

Таким образом, скорость нагрева 1 $м^3$ изменяется от 4,83 до 6,44 ℃*куб.м/ч.

На основании полученных результатов исследований, были проанализированы различные конструкции кавитационного реактора: трубная одноканальная конструкция, трубная двухканальная конструкция и двухканальная конструкция «труба в трубе». Результаты представлены на графике 2.

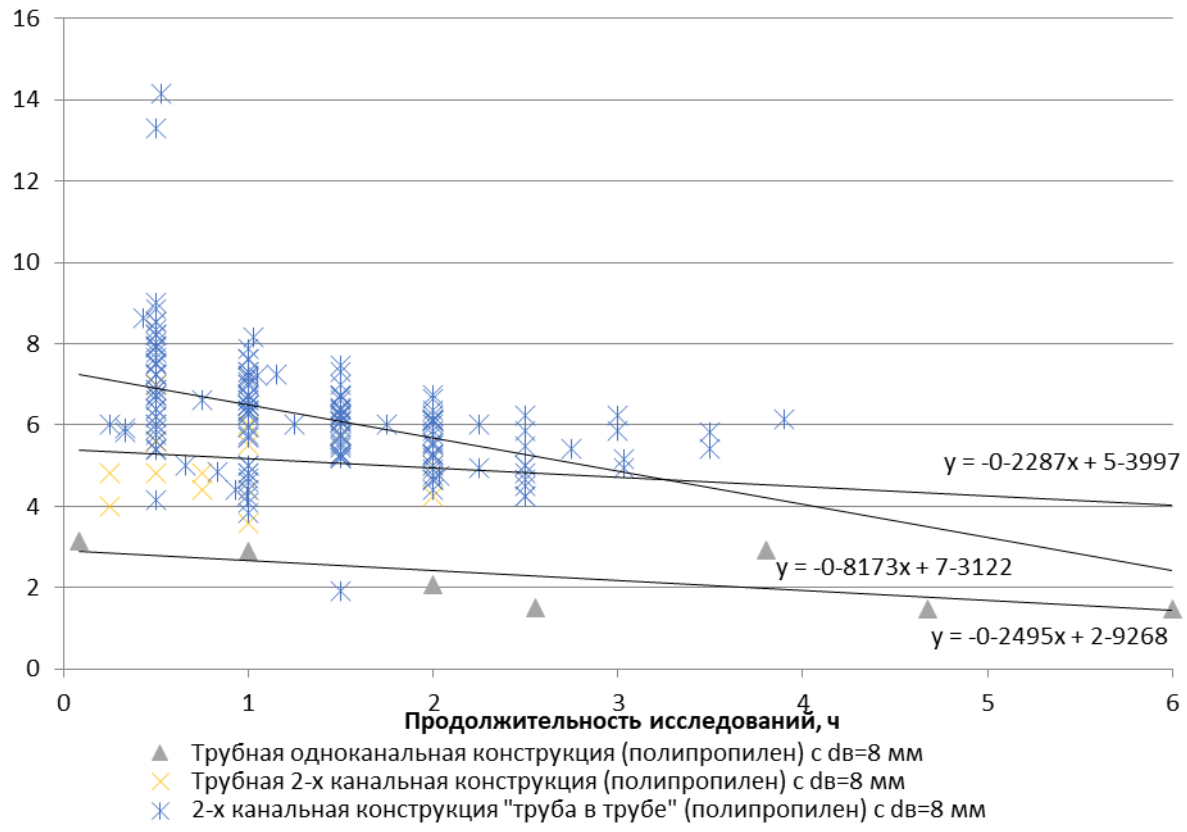


Рисунок 2. Изменение скорости роста температуры, ℃*куб.м/ч

Из графика видно, что наибольшее изменение температуры происходит при использовании 2-х канальной конструкции «труба в трубе», поэтому она является самой эффективной конструкцией из рассмотренных, а одноканальная – малоэффективной.

Исходя из этого сравним 2 наиболее эффективные конструкции: трубная 2-х канальная конструкция (полипропилен) и 2-х канальная конструкция "труба в трубе" (полипропилен). Конструкции сравнивались между собой по величине изменения скорости нагрева воды. Результаты представлены и графике 3.

При построении графика была получена зависимость скорости нагрева 1 м^3 воды от времени, которую можно описать следующими уравнениями для трубной двухканальной конструкции (формула 1) и двухканальной конструкции "труба в трубе", (формула 2).

$$V_t = -0{,}027T + 6{,}3586, \quad (1)$$

$$V_t = -0{,}0496T + 8{,}1434, \quad (2)$$

где: V_t – скорость нагрева, м^3/ч

T – температура воды, ^{0}C

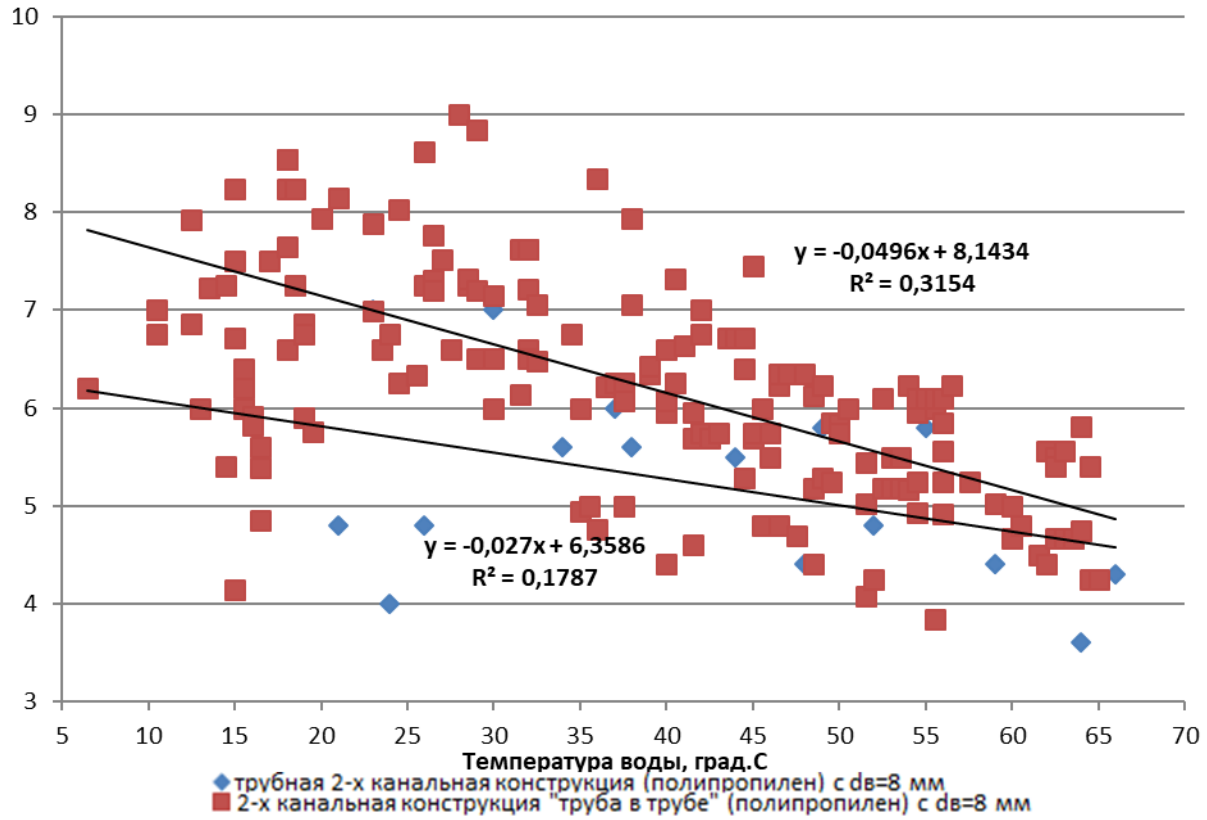


Рисунок 3. Скорость нагрева 1 куб.м воды, °С/ч

На графике 3 видно, что эффективность скорости нагрева на начальном этапе у двухканальной конструкции "труба в трубе" была на 20,5 % выше, чем у трубной двухканальной конструкции. При температуре 40 ^{0}C разница в скорости нагрева стала меньше и составила 16 %, а при 70 ^{0}C скорость нагрева в рассмотренных конструкциях стала практически одинаковой. Построив линию тренда был получен низкий результат сходимости из-за многочисленности проводимых измерений и полученных данных.

Таким образом, по результаты проведенных исследований можно сделать вывод, что большую динамику нагрева демонстрирует 2-х уровневая конструкция «труба в трубе», которая на начальном участке (в области наиболее вероятной работы кавитационного реактора), в 1,45 раза превышает трубную 2-х уровневую конструкцию и в 2,68 раза – одноуровневую. Скорость нагрева 1 м^3 воды для существующих условий при этом составила 7,85 °C/ч.

Полученные данные позволяют констатировать возможность эффективного использования кавитационных устройств в системах автономного теплоснабжения зданий, а также открывают широкие перспективы для их дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Пирсол И. Кавитация.- М.: Мир, 1975.- 95 с.
2. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации.- М.: Машиностроение, 1971.- 240 с.
3. Современные системы теплоснабжения - безопасность, эффективность, перспективы развития [Электронный ресурс] /Беляев А.Н., Флегентов И.В., Шебалина А.Ю., Устименко К.А.// Общество, наука, инновации. (НПК – 2014) [Электронный ресурс] : всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов, 15–26 апреля 2014 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2014. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM). – (Факультет строительства и архитектуры (ФСА). Секция «Экология и промышленная безопасность». Статья № 6).
4. Российский патент на изобретение №2045715 «Теплогенератор и устройство для нагрева жидкостей» с приоритетом от 26 апреля 1993г.
5. Российский патент на изобретение №2272965 «Автономная система теплоснабжения» от 27 марта 2006 г.
6. Российский патент на изобретение №2445272 «Способ обеззараживания воды синергетическим воздействием» от 20 марта 2012г.

Объемно-планировочные, конструктивные и инженерные решения зданий повышенной этажности и высотных зданий, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре

Богомазова Ю.В.
магистрант Вятского государственного университета
E-mail: jul945@mail.ru

Аннотация: Увеличение темпов и объемов строительства высотных зданий влечет за собой прирост числа возможных жертв при чрезвычайных ситуациях, так как в них всегда присутствует большое количество людей, которые подвергаются панике и часто не в силах контролировать себя. Для обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре существуют комплексы мероприятий по объемно-планировочным, конструктивным и инженерным решениям, которые при грамотном подходе к их осуществлению обеспечивают своевременное оповещение и включение противопожарных систем, координируют и направляют потоки эвакуирующихся людей. К таким решениям относятся: незадымляемые лестничные клетки, система удаления дыма, пожаробезопасные зоны, пожарные лифты, аварийные выходы из квартир, система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. В статье будут более подробно рассмотрены подобные варианты решений.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, комплекс мероприятий по пожаробезопасности, противопожарные системы.

Здания повышенной этажности стали неотъемлемой частью городской среды. Причинами этому послужили ограниченно свободная территория в городах и мегаполисах, желание инвесторов получить наибольшую прибыль с малой территории. Высота таких зданий составляет от 28 до 75 м или от 10 до 25 этажей. Эти здания являются местом массового пребывания людей, и в то же время представляют повышенную опасность при чрезвычайных ситуациях. Пожары сопровождаются человеческими потерями, большим материальным ущербом.

Существуют целые комплексы мероприятий, позволяющие свести к минимуму число жертв. Ниже рассмотрим часто применяемые и наиболее эффективные объемно-планировочные, конструктивные и инженерно-технологические решения.

1. Незадымляемые лестничные клетки обеспечивают безопасную и быструю эвакуацию людей при пожаре в многоэтажном здании. Согласно [1] незадымляемые лестницы подразделяются на следующие виды:

– Н1 – с входом в лестничную клетку с этажа через наружную воздушную зону по открытым переходам, при этом должна быть обеспечена незадымляемость перехода через воздушную зону;

– Н2 – с подпором воздуха в лестничную клетку при пожаре;

– Н3 – с входом в лестничную клетку с этажа через тамбур-шлюз с подпором воздуха (постоянным или при пожаре).

Самыми распространенными являются лестницы типа Н1, это обусловлено отсутствием дополнительной системы подпора воздуха. На каждом этаже лестничной клетки устанавливаются самозакрывающиеся двери с уплотнением для большей герметичности.

2. Далее рассмотрим систему дымоудаления в жилых зданиях. Это комплексное инженерно-техническое и конструктивное решение включает в себя возводимую во всю высоту здания дымоудаляющую шахту с клапанами дымоудаления на каждом этаже и вытяжным вентилятором, как правило, монтируемым на крыше здания.

Различают два вида систем дымоудаления.

– Статичная. Данное решение носит традиционный характер, используется достаточно давно и проверено временем, как надежное и простое. Принцип работы этой системы: при возникновении пожара срабатывает датчик, блокирующий работу клапана вентиляции, вследствие чего дым не может распространяться по вентиляционным шахтам, а поступает в систему удаления дыма.

– Принудительная. Она является наиболее эффективной. Схема действия системы: при возгорании пожарный извещатель отправляет сигнал в управляющее устройство, затем оно автоматически открывает клапан дымоудаления, включает вытяжной вентилятор и вентиляторы подпора воздуха в незадымляемых лестничных клетках и шахтах лифтов, а также автоматически опускает лифты на первый этаж. Все действия происходят без участия человека. Однако

некоторые системы предусматривают ручное включение системы, при этом на каждом этаже устанавливается кнопка принудительного запуска.

Статичные системы дымоудаления на данный момент применяются реже, в то время как принудительные стали пользоваться всё большим спросом. Они стремятся к максимальной автоматизации для работы без вмешательства человека.

Однако системы дымоудаления имеют и обратный эффект: при пожаре одновременно с удалением продуктов горения в здание поступает порция свежего воздуха, так необходимая человеку в горящем здании, которая поддерживает процесс и распространение огня. В процессе модернизации этот недостаток устраняется в комплексном объединении и централизации систем дымоудаления и пожаротушения.

3. Для людей с ограниченными возможностями здоровья возможно устраивать пожаробезопасные зоны, руководствуясь [2]. Пожаробезопасная зона представляет собой изолированное выделенное помещение с ограждающими конструкциями, огнестойкость которых нормируется по [3]. Пожаробезопасная зона устраивается отдельно от других помещений и примыкающих коридоров противопожарными преградами, имеющими пределы огнестойкости: стены – REI90, перекрытия – REI 60, двери и окна – первого типа.

Одним из ключевых конструктивных способов организации пожаробезопасной зоны является подпор воздуха. В зоне создается избыточное давление в 20 Па при условии, что одна дверь эвакуационного выхода открыта. Таким образом, допускается устройство пожаробезопасных зон на незадымляемых лестничных клетках типов Н-2 и Н-3, на которых предусматривается подпор воздуха.

Однако, несмотря на преимущества этого объемно-планировочного решения для спасения людей с ограниченными возможностями здоровья, в статье [4] был сделан вывод по результатам исследований, что только треть даже здоровых людей исключили бы возможность эвакуации при пожаре данным способом. Такие психологические факторы как паника и страх человека остаться

незамеченным спасателями, во многом определяют действия эвакуируемых. Именно поэтому пожаробезопасные зоны должны быть размещены на основном пути эвакуации.

4. Еще одним вариантом обеспечения дополнительной пожаробезопасности здания является установка пожарных лифтов.

Пожарный лифт представляет собой лифт, который позволяет во время пожара спасателям быстро и с наименьшим риском перемещаться на требуемые этажи. Внутри кабины имеются пункт связи, полностью ручное управление движением лифта и дополнительная противопожарная защита.

Согласно [5] для обеспечения транспортировки пострадавших от пожара и маломобильных групп населения размеры кабины лифта устанавливаются не менее 1,1 х 2,1м, а также нормируется ширина дверей лифта, которая должна составлять не менее 0,8 м. Пожарные лифты в высотных жилых зданиях устанавливаются грузоподъемностью не менее 630 кг, в общественных и производственных, сооружениях – 1000 кг.

Данные лифты должны оборудоваться эффективными противодымными системами, недопускающие попадание дыма в шахту. Для большей безопасности двери лифта открываются только при удержании специальной кнопки и закрываются сразу после ее отпускания.

Пожарные лифты могут эксплуатироваться как пассажирские или грузопассажирские, при этом они имеют несколько режимов работы.

1) Перевозка пассажиров.

2) «Пожарная опасность» – лифт автоматически перемещается на основной посадочный этаж (как правило, первый) и открывает двери.

3) «Перевозка пожарных подразделений» – режим, при котором движение кабины лифта возможно только под управлением пожарных, находящихся внутри кабины. Доступ к управлению лифта осуществляется специальным ключом, который и переводит лифт в соответствующий режим, обеспечивающий движение лифта, исключительно по командам пожарных из кабины. По

прибытии пожарных на требуемую отметку здания двери лифта открываются медленно и также по команде, что позволяет оценить ситуацию на этаже.

В настоящее время имеется тенденция к установке пожарных лифтов и включение их в систему противопожарной защиты жилых и общественных зданий. К сожалению, их использование часто пугает пожарных. Многие считают, что проводить тушение пожара и эвакуацию лучше традиционными способами, а не вверять свою жизнь технически сложному устройству, опасаясь остаться в западне. Однако отказываться от идеи использования пожарным лифтом не стоит, ведь это современное инженерное решение позволяет ускорить время пожаротушения, спасти людей с ограниченной возможностью передвижения.

5. Наличие аварийных выходов из квартир на порядок увеличивает шансы людей на спасение во время пожара. К ним относятся незастекленный балкон (лоджия) как оборудованный наружной лестницей, так и без нее. В теории всё достаточно эффективно. Однако, как показывает практика, жильцы считают данное объемно-планировочное решение непрактичным и не понимают его целесообразности. Они боятся попадания неожиданных гостей, поэтому часто лестницу срезают, люки бетонируют или просто закладывают вещами. По различным причинам владельцы квартир застекляют балконы, что приводит к невозможности использования ими как эвакуационными выходами.

6. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) – комплексное организационное и техническое решение, осуществляющее своевременное информирование людей о возникновении пожара, берущее на себя функцию наиболее рационального оперативного и безопасного вывода людей.

В зависимости от функционального назначения здания, согласно [6] выделяют пять типов СОУЭ от самого простого, включающего оповещение во все помещения здания, с помощью световых, речевых и звуковых сигналов, до наиболее комбинированного с разделением на зоны оповещения, обратной связью, различными вариантами эвакуации и централизованным управлением всеми противопожарными системами в здании.

Полное и своевременное исполнение всех представленных выше решений на соответствующих стадиях строительства с учетом соблюдения требований нормативных документов обеспечивает пожарную безопасность находящихся в здании людей. Поэтому требуется полноценный контроль за соблюдением правильности выполнения всего комплекса мероприятий по пожаробезопасности, как на стадии проектирования, так и во время строительства и последующей эксплуатации здания.

Не менее важна информационная работа с населением. Требуется разъяснять людям необходимость всех систем, обеспечивающих пожарную безопасность, и приучать их внимательно и бережно относиться к, возможно, единственному шансу на спасение во время пожара.

Список литературы

1. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. Прин. 01.07.1999 и 19.07.2002 ; действ. с 01.07.1999. и с 01.07.2002. М., 2002. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: ред. от 29.07.2017. Доступ из справ.-поиск. системы «КонсультантПлюс».

3. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 35-01-2001. Прин. 14.11.2016 ; действ. с 15.05.2017. М., 2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

4. Холщевников В.В., Самошин Д.А., Истратов Р.Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата URL: http://www.fireevacuation.ru/files/disabled_survey.pdf (дата обращения 12.02.2018).

5. ГОСТ Р 52382-2010. Лифты пассажирские. Лифты для пожарных. Прин. 13.08.2010 ; действ. с 14.10.2010. М. : Стандартинформ, 2010. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

6. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах. Требования к пожарной безопасности. Прин. 25.03.2009 ; действ. с 25.03.2009. М., 2009. Доступ из справ.-поиск. системы «КонсультантПлюс».

Идентификация студента по фотографии с помощью компьютерного зрения

Бородавкин Д.А.[a], Фищева И.Н.[b]
студент факультета компьютерных и физико-математических наук,
кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[a]
старший преподаватель кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: den-bor@bk.ru[a], mininairn@yandex.ru[b]

Аннотация: В статье затрагивается тема современного дистанционного образования. Описываются его преимущества, в сравнении с очным образованием, раскрываются проблемы идентификации студента в процессе проверки его знаний, приобретенных во время обучения. В качестве решения данной проблемы предлагается использование библиотек компьютерного зрения. Обсуждаются способы распознавания и сравнения лиц на изображении с помощью библиотек компьютерного зрения, описывается общий алгоритм анализа изображения с целью обнаружения и сравнения лиц. В статье рассматриваются общие принципы работы библиотеки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV. Затронуты вопросы технической поддержки современного дистанционного обучения, в частности использование сети интернет. Показана необходимость и возможность использования технологии компьютерного зрения в области идентификации лиц по изображению для идентификации студента в процессе дистанционного обучения.

Ключевые слова: компьютерное зрение, распознавание лица, OpenCV, дистанционное образование.

Дистанционное образование – взаимодействие учителя и учащихся между собой на расстоянии. В настоящее время перспективным является интерактивное взаимодействие с учащимися посредством сети интернет. Дистанционные образовательные технологии с использованием интернета применяются как для освоения отдельных курсов повышения квалификации пользователей, так и для получения высшего образования. Преимущества дистанционного обучения в том, что можно получить образование, не выезжая из своего города, тем самым экономя средства, не затрачивая их на дорогу, проживание, питание в период обучения, самостоятельно выбирая время для изучения материала.

Контроль знаний осуществляется путем сдачи экзаменов и зачетов на учебном портале в форме контрольных работ, тестирований или по веб-камере при непосредственном участии преподавателя. Идентификация студента осу-

ществляется с помощью логина и пароля или с помощью изображения, полученного с веб-камеры. Последний вариант является более предпочтительным, так как использует для идентификации биометрические данные, подделать которые очень сложно [9].

Задача идентификации, в общих чертах, сводится к анализу изображения, выделения лица и сравнения полученного лица с фотографией студента, хранящейся в учетной карточке.

Эта задача решается при помощи компьютерного зрения. Компьютерное зрение – это совокупность теории и технологии, с помощью которой машины могут находить, отслеживать, классифицировать и идентифицировать объекты, извлекая данные из изображений и анализируя полученную информацию [Шапиро, Стокман]. По сложности, компьютерное зрение эквивалентно искусственному интеллекту [Девятков], поэтому на современном этапе оно реализовано в некоторых узких прикладных областях. Одной из этих областей является распознавание лиц.

Человек может легко определить, что изображено на картинке, однако для компьютера это более сложная задача. Компьютер в отличие от человека оперирует числами, а не образами. Изображение в понимании компьютера – это набор пикселей, каждый из которых имеет свое значение яркости или цвета. Для того чтобы машина определила, что представлено на картинке, изображения обрабатываются при помощи специальных алгоритмов.

Общий алгоритм анализа изображения состоит из нескольких шагов:

Шаг 1. Выявление значимых мест — то есть определение примерного расположения объектов или их границ. Это можно сделать несколькими способами. Например, используя алгоритм Difference of Gaussians (DoG, разность гауссиан) [Калиниченко, Ищенко]. Он несколько раз применяет к исходной картинке размытие по Гауссу, каждый раз изменяя радиус размытия. После чего результаты сравниваются друг с другом. Таким образом, на изображении можно выявить наиболее контрастные фрагменты, например, яркие пятна или изломы линий.

Шаг 2. Описание значимых мест с помощью чисел. Запись фрагмента картинки в числовом виде называется дескриптором. С помощью дескрипторов можно быстро и точно сравнивать фрагменты изображения, не используя сами фрагменты. Существует много разных алгоритмов получения дескрипторов — например, SIFT, SURF и другие [12].

Шаг 3. Кластеризация – распределение дескрипторов по группам или кластерам. В один кластер попадают похожие дескрипторы от разных изображений. Каждый кластер имеет свой номер. Дескрипторы часто представлены достаточно большим набором чисел, поэтому для их сравнения требуется больше вычислительных ресурсов. Кластеризация позволяет ускорить вычисления.

Шаг 4. Квантование – это присвоение каждому дескриптору номер кластера, при этом номер кластера называется квантованным дескриптором. Таким образом, сам дескриптор изображения можно не рассматривать, что существенно сокращает объем обрабатываемых данных.

Используя квантованные дескрипторы, компьютер распознает объекты и сравнивает изображения. В задаче распознавания квантовые дескрипторы используются для обучения классификатора – алгоритма, который в нашем случае определяет, наличие человеческого лица на изображении. В случае со сравнением картинок компьютер сопоставляет наборы квантованных дескрипторов с разных изображений и делает вывод о том, насколько похожи эти изображения или их отдельные фрагменты. Такое сравнение лежит в основе поиска дубликатов и поиска по загруженной картинке.

Существуют и другие подходы к анализу изображения. С развитием технологий все чаще применяются нейронные сети, которые выводят важные для классификации признаки изображения, непосредственно в процессе обучения.

Для решения задачи предполагается использовать библиотеку OpenCV. OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом) — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Реализована на C/C++, также разрабатывается для

Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков. Данную библиотеку можно свободно использовать в академических и коммерческих целях — распространяется на условиях лицензии BSD. Для распознавания лиц можно использовать каскад Хаара [Тимошенко]. Каскады или признаки Хаара обычно используются как база для выделения сложных объектов, например, лиц и рук людей, номеров автомобилей, пешеходов и так далее. Каскад Хаара – это набор примитивов, для которых считается свертка с изображением. Используются простые примитивы, состоящие из прямоугольников и имеющих только два уровня. Причем каждый прямоугольник используется несколько раз разного размера. Простые каскады Хаара представлены на рисунке 1, на самом деле их больше.

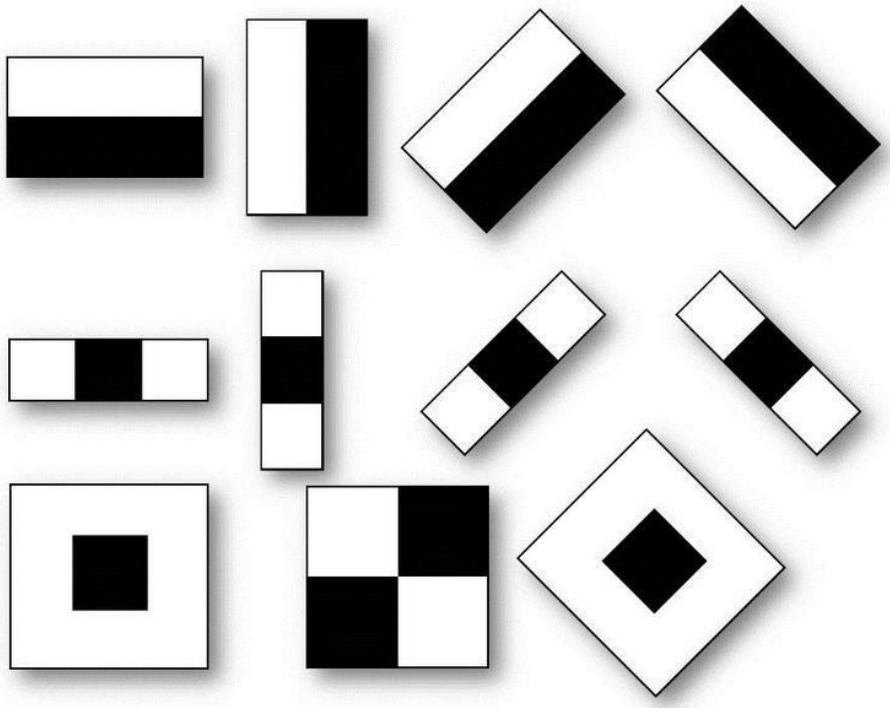


Рисунок 1. Каскады Хаара

Под сверткой в данном случае подразумевается $s = X - Y$, где $Y -$ сумма элементов изображения в темной области, а $X -$ сумма элементов изображения в светлой области. С помощью таких сверток можно получить структурную информацию объекта. Свертка для центра человеческого лица представленная на рисунке 2 всегда будет отрицательной. Область глаз будет темнее, чем область между ними, аналогично область рта будет темнее чем лоб.



Рисунок 2. Применение каскадов Хаара

Каскад Хаара это один из простейших способов распознавания классов объектов с большой скоростью работы. Чтобы вероятность распознавания была велика, каскад необходимо обучить. Для этого существуют специальные алгоритмы машинного обучения, обычно для обучения каскадов Хаара используются алгоритмы AdaBoost [Автоматическое обнаружение лиц …] и SVM [7]. Также для обучения необходима тестовая выборка, которая включает:

- изображения предмета в реальной среде обитания. От качества выборки сильно зависят результаты распознавания. Например, если обучать каскад для распознавания лиц по фотографиям людей в студии, то для фотографий, сделанных на улице, уровень распознавания будет ниже. На это влияют как тени, одежда, так и выражение лица;
- выборка отрицательных фотографий, на которых нет объекта распознавания. Фотографии должны быть сделаны в той же среде где будет распознавание.

Для стабильно работающего детектора лиц необходимо примерно 3000-4000 положительных примеров и столько же отрицательных. Процесс обучения занимает много времени, но чем больше примеров обработано, тем вероятность распознавания лица будет выше.

Таким образом, задача идентификации студентов для дистанционного обучения может быть решена с помощью библиотеки OpenCV, реализующей компьютерное зрение.

В Вятском государственном университете активно применяются технологии дистанционного образования, и задача идентификации студента по фото-

графии является востребованной. Для ее внедрения в учебный процесс планируется разработка веб-сервиса и его интеграция с существующей информационной системой [Токмакова].

Список литературы

1. Пару слов о распознавании образов. URL: https://habrahabr.ru/post/208090 (дата обращения 01.02.2018)
2. Савонин А.И. Использование нейросети и SIFT дескрипторов для сравнения изображений // Молодежный научно-технический вестник. 2016. №6. С. 2–8.
3. Использование каскада Хаара для сравнения изображений. URL: https://habrahabr.ru/post/198338 (дата обращения 01.02.2018)
4. Калиниченко Ю.В. Ищенко Я.С. Алгоритм быстрого размытия по Гауссу // Сборник научных трудов SWORLD. 2012. №4. С. 83 – 86.
5. Тимошенко Д.М. Комбинированный метод детектирования лиц на статических изображениях с применением смеси гауссовых распределений и каскадов Хаара // Вестник СПбГУ. 2013. №4. С. 99 – 103.
6. Автоматическое обнаружение лиц на цифровых изображениях на основе метода адаптивной классификации AdaBoost / И.В. Бекетова и др. // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. №8. С. 2 – 6.
7. Метод опорных векторов – Supported Vector Machine (SVM). URL: http://statistica.ru/branches-maths/metod-opornykh-vektorov-supported-vector-machine-svm (дата обращения 01.02.2018)
8. Токмакова О.В. Особенности реализации стратегии университета в области электронного обучения // Общество, наука, инновации. 2013. С. 7 – 10.
9. Биометрическая идентификация. URL: http://www.techportal.ru/glossary/biometricheskaya_identifikaciya.html (дата обращения 01.02.18)
10. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
11. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта. М.: Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2001. 352 с.
12. Детекторы и дескрипторы ключевых точек. Алгоритмы классификации изображений. Задача детектирования объектов на изображениях и методы её решения. URL: https://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1105/lecture/17983?page=2 (дата обращения 01.02.2018)

Моделирование влияния внедрения инноваций на прогрессивность новой техники

Бочков А.П.
доктор технических наук, профессор кафедры математического моделирования
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: kostpea@mail.ru

Аннотация: В статье учет инноваций в конструктивной схеме разрабатываемого образца создаваемой техники предлагается оценивать с помощью качественных характеристик прогрессивности. При этом учитывается преемственная схема её развития. Разработана математическая модель, отражающая влияние внедрения в конструктивную схему образца инноваций, технических решений на уровне изобретения, на его прогрессивность. Показано, что на ранних этапах разработки при анализе совокупности пар «базовый образец - его преемник» коэффициент прогрессивности имеет вероятностную природу, поэтому логично использовать качественные характеристики прогрессивности. Получены моделирующие зависимости для оценки влияния инноваций на прогрессивность образца новой техники при условии, если коэффициент прогрессивности распределен по экспоненциальному закону со сдвигом. Сформированы этапы получения качественных характеристик прогрессивности образца. Приводится конкретный пример по оценке качественных характеристик прогрессивности разрабатываемого образца, сделаны соответствующие замечания.

Обсуждаются результаты проведенного исследования по выявлению влияния инноваций на прогрессивность образца, подчеркивается новизна исследования, а также практическая значимость полученных результатов, связанная с формированием предпочтительных вариантов облика образца на ранних этапах его разработки.

Ключевые слова: образец создаваемой техники, преемственная схема развития, техническое решение на уровне изобретения, коэффициент прогрессивности, базовый образец, преемник, качественные характеристики прогрессивности.

Анализ существующей практики создания новой техники показал, что повышение её конкурентоспособности проводится путём внедрения разного рода инноваций. Внедряются инновации, технические решения по улучшению элементной базы, по которым есть определенные наработки, получены патенты на изобретения. Это способствует тому, что не уделяют внимание делению элементов, узлов и блоков конструктивной схемы образца создаваемой техники на малозначимые, значимые и основные в плане влияния на повышение его качества. Технические решения, по которым есть задел, как правило, стараются

внедрить, несмотря на то, что они направлены на улучшение малозначимых узлов и механизмов. Возникает ситуация неопределенности в процессе разработки новой техники, что значительно снижает качество создаваемого образца, его конкурентоспособность.

Известны показатели, характеризующие конкурентоспособность образца продукции [1,2], которые имеют качественную трактовку и характеризуют внедренные технические решения в создаваемый образец. Но они не отражают значимость элементной базы образца для его конкурентоспособности, не связывают внедренные технические решения (инновации) с прогрессивностью образца. Кроме того, существующая практика системных исследований по развитию образца какой-либо техники или технической системы [3-5], не предусматривает анализа преемственной схемы образца – «базовый образец – его преемник».

Учитывая это, целью работы является удаление неопределенностей в процессе создания новой техники путем разработки математической модели, отражающей взаимосвязь прогрессивности техники непосредственно с внедрением технических решений (инноваций) в элементную базу образца, с учетом преемственной схемы развития.

Реализация данной цели предусматривает тщательный анализ вариантов облика разрабатываемого образца продукции, когда образец рассматривается на уровне идеи. В этом случае важно знать, как изменится непосредственно конструкция образца продукции при повышении его технического уровня, т.е. на какие блоки и узлы образца необходимо в первую очередь обратить внимание при разработке и уже после этого планировать технические решения по улучшению качества функционирования элементной базы образца.

Формализация и описание математической модели. Объективно новые изменения в образце новой техники, как фактор развития, характеризуются признаком прогрессивности, под которой понимают применение в нем научного открытия, технического решения на уровне изобретения и др. [6-8]. Это ведет к положительным сдвигам в техническом уровне (ТУ) образца технической

системы. Известно [6,8], что изобретение в два и более раз должно повышать эффект использования того или иного устройства, будь то элемент, подсистема или блок. Учитывая принятую схему преемственности “базовый образец - его преемник”, можно рассматривать прогрессивность преемника по отношению к базовому образцу техники. В целях формирования исходных данных для оценки и прогнозирования прогрессивности рассмотрим её виды или качественные характеристики (КХ).

Допустим, что прогрессивность может быть слабой, удовлетворительной, нормальной, высокой и преобладающей. Слабая прогрессивность (СПр) образца предусматривает применение в нем $n_{отд}$ технических решений на уровне изобретений, которые реализуются для малозначимых отдельных элементов и блоков. Удовлетворительная прогрессивность (УПр) в свою очередь предусматривает реализацию в нем изобретений для малозначимых и не основных элементов и блоков ($n_{ну}$ -количество изобретений для не основных элементов и блоков). Нормальная прогрессивность (НПр), кроме того, что реализуются изобретения для малозначимых и не основных элементов и блоков, предусматривает ещё и использование $n_{оу}$ технических решений на уровне изобретений, касающихся основных элементов и блоков. Соответственно высокая прогрессивность (ВПр) в отличие от нормальной обладает дополнительно применением $n_{об}$ технических решений на уровне изобретения, касающихся всей конструкции образца или её части. Преобладающая прогрессивность (ППр) отличается от высокой прогрессивности большим числом применяемых изобретений и наличием технических решений, основанных на разработке качественно иных принципов действия (ПД). Так, например, на основе анализа преемственного развития конкретного образца техники можно установить следующие границы прогрессивности:

$$
\begin{aligned}
&n_{отд} \geq 1 && \text{- СПр;} \\
&n_{отд} \geq 0, n_{ну} \geq 1 && \text{- УПр;} \\
&n_{отд} \geq 0, n_{ну} \geq 0, n_{оу} \geq 1 && \text{- НПр;}
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

$n_{отд} \geq 0, n_{ну} \geq 0, n_{оу} \geq 1, n_{об} \geq 1$ - ВПр;

возможно применение технических
решений на качественно иных ПД - ППр.

Рассмотрение прогрессивности новой техники сводится, как правило, к оценке её ТУ [9-12]. Чтобы оценить прогрессивность в динамике, необходимо учитывать развития техники, т.е. использовать методологию преемственности. Известные подходы оценки прогрессивности не учитывают принципа единства изменяемости и повторяемости, заключенного в эволюционном цикле развития [13], и в основном пригодны для сравнения разнородных образцов. Поэтому представляется логичным выразить прогрессивность преемника по отношению к базовому образцу. Коэффициент прогрессивности в этом случае будет определяться выражением

$$W = W_{п} / W_{б} , \qquad (2)$$

где $W_{П}, W_{б}$ - технический уровень преемника, базового образца техники.

В данном случае осуществляется уход от КХ прогрессивности за счет введения коэффициента прогрессивности, который предусматривает их вторичность. Можно проследить связь коэффициента W с КХ прогрессивности для типового образца технической системы (см., например, Табл.1).

Значения $W_{П}$, $W_{б}$ рассчитываются по зависимости представленной, например, в [9, с.15-24]. Показатели $W_{П}$, $W_{б}$ учитывают изменение совокупности основных характеристик образца.

Для каждой *i*-й пары «базовый образец - его преемник» можно определить значение W_i, которые в силу объективных причин являются случайными величинами и имеют определенный закон распределения (в данном случае, экспоненциальный закон со сдвигом), который находится по выборочным данным (см., например, Табл.1). К таким причинам относятся:

неоднозначность зависимости по оценке величин $W_{п}$, $W_{б}$, обусловленная методом оценки;

неоднозначность при выборе для образца основных характеристик, отражающих его технический уровень;

разные цели по созданию образца (например, если целью является повышение надежности, то оценка $W_{п}$, не учитывающая показатель надежности, может быть ниже, чем оценка $W_{б}$) и др.

Таблица 1

Исходные данные для типового образца новой техники

№ п/п	Индекс базового образца, $W_б$	Индекс образца преемника, $W_п$	Время разработки преемника, Т	Вид (КХ) прогрессивности				1.1.1.1.1
				СПр	УПр	НПр	ВПр	
1	МВ-1, 3.762	S-1, 4.171	1				+	1.108
2	МВ-2, 3.458	S-2, 4.541	5				+	1.313
3	МВ-3, 3.972	S-3, 4.679	3		+			1.178
4	МВ-44, 5.459	S-4, 6.048	6				+	1.108
5	МВ-5, 3.849	S-5, 3.762	3		+			1.031
6	МВ-6, 4.171	S-6, 4.303	7			+		1.195
7	МВ-7, 3.448	S-7, 4.119	4			+		1.389
8	МВ-8, 4.352	S-8, 6.048	6				+	1.078
9	МВ-9, 3.849	S-9, 4.151	7			+		1.283
10	МВ-10, 4.541	S-10, 5.827	5				+	1.394
11	МВ-11, 3.915	S-11, 5.459	4				+	1.027
12	МВ-12, 3.808	S-12, 3.912	5			+		0.991
13	МВ-13, 3.577	S-13, 3.545	10		+			1.152
14	МВ-14, 3.426	S-14, 3.949	8				+	1.236
15	МВ-15, 3.539	S-15, 4.375	5				+	1.236
16	МВ-16, 4.108	S-16, 4.399	7				+	1.071
17	МВ-17, 3.949	S-17, 4.189	1.5		+			1.061
18	МВ-18, 4.119	S-18, 4.2	1	+				1.020
19	МВ-19, 3.577	S-19, 3.889	1	+				1.087
20	МВ-20, 3.577	S-20, 3.577	3	+				1.000
21	МВ-21, 3.577	S-21, 3.537	5		+			0.989
22	МВ-22, 3.577	S-22, 3.747	4		+			1.047
23	МВ-23, 5.827	S-23, 5.562	2				+	0.97
24	МВ-24, 3.458	S-24, 3.448	1			+		0.997
25	МВ-25, 6.048	S-25, 5.915	1.5	+				0.978

На Рис.1 в соответствии с исходными данными (см. Табл.1) представлены опытное и теоретическое распределение величины прогрессивности *W*. При этом, гипотеза о соответствии опытного распределения теоретическому проверялась по критерию согласия Пирсона (см. Табл.2).

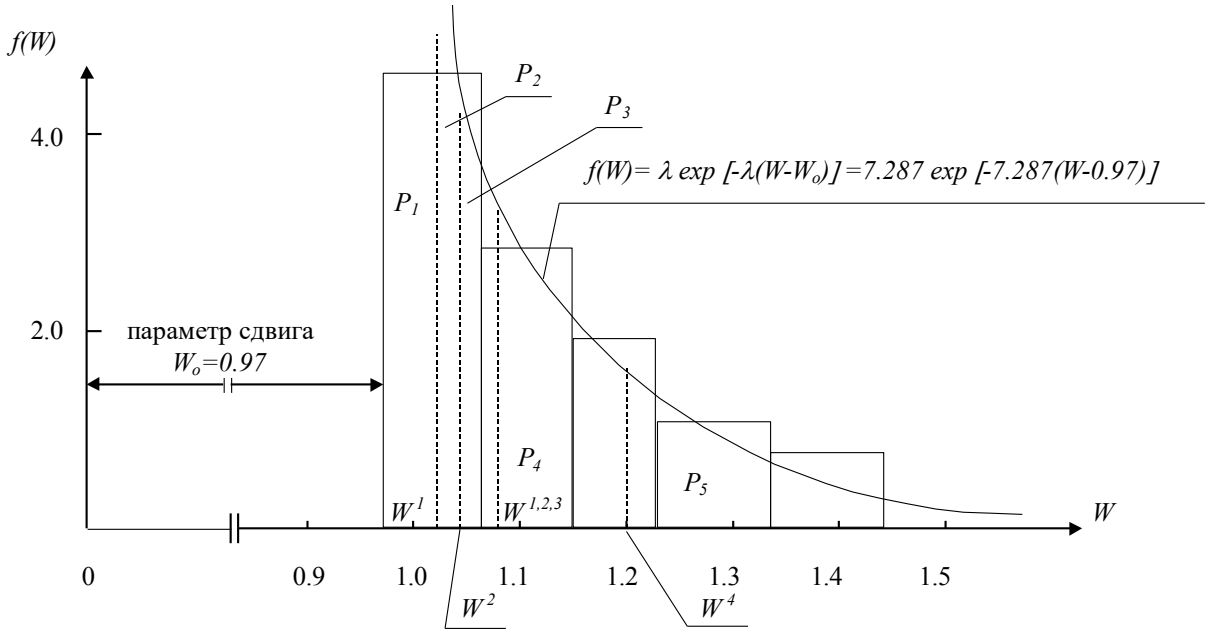


Рисунок 1. Опытное и теоретическое распределение величины W

Таблица 2

Данные по расчету критерия Пирсона χ_p^2

Интервал	0.97; 1.06	1.06; 1.15	1.15; 1.24	1.24; 1.33	1.33; 1.44
n_i	11	6	4	2	2
nP_i	12.025	6.24	3.24	1.675	1.820
n=25; m=1.107; χ_p^2=0.3557; $\chi_{3;0.95}^2$=0.352					

В ходе исследования определяются граничные коэффициенты W^1, W^2, W^3, W^4, при изменении которых меняется вид прогрессивности,

$$W^j = \frac{1}{l_j}\sum_i W_i^j,$$

где l_j - количество пар образцов соответственно со СПр (j=1), УПр (j=2), НПр (j=3), ВПр (j=4);

W_i^j - значения прогрессивности для i-й пары соответственно с j-м видом прогрессивности.

Зная такие граничные коэффициенты, можно определить вероятностные оценки прогрессивности по выражениям

$$P_1 = 1 - exp\left(-\lambda\left(W^1 - W_0\right)\right) \quad - \quad \text{СПр;}$$

$$P_j = exp(\lambda W_0)\left\{exp\left(-\lambda W^{j-1}\right) - exp\left(-\lambda W^{j}\right)\right\}$$

($j=2$-УПр, $j=3$-НПр, $j=4$-ВПр); (3)

$$P_5 = exp\left(-\lambda\left(W^4 - W_0\right)\right) \text{ - ППр.}$$

Для создаваемого образца устанавливают по оценочным данным технический уровень W_p и предполагаемое время его разработки T. Следует отметить, что это весьма проблематично, т.к. на ранних этапах фактически нет никакой информации. Тем не менее, какой-то базовый образец есть, и разработчики могут организовать расчет этих величин по оценочным данным. Для определения времени разработки T можно использовать известную модель "скорости" изменения срока внедрения нового образца $dW/d\overline{W} = T\left(1-\overline{W}\right)$, где $\overline{W} = W_p/W_{max}$ - нормированное значение ТУ разрабатываемого образца (W_{max}- максимальное значение ТУ для исходной совокупности). На основе этой модели

$$T = T_0 \exp\left(0.5\overline{W}^2 - \overline{W} - \overline{W}_0\left(0.5\overline{W}_0 - 1\right)\right), \quad (4)$$

где $\overline{W}_0 = W_0/W_{\max}$ - минимальное нормированное значение ТУ, соответствующее аналогичным образцам продукции в настоящее время;

T_0 - осредненный период внедрения в производство современных образцов-аналогов (значения $\overline{W}_0$ и T_0 находятся по известной статистике, см. Табл.1).

Рассмотрев основные виды (или КХ) прогрессивности и сформировав на основе опытных значений прогрессивности W_i их вероятностные оценки, можно перейти непосредственно к прогнозированию прогрессивности будущего образца продукции. Для этого, при наличии достаточной статистики, а она достаточная, т.к. за счет слияния прогрессивностей устанавливается граница $W^{1,2,3} = 1,0657$, осуществляется построение экстраполяционных моделей $W^j(t), j = \overline{1,4}$ и расчет прогнозного W_*^j, с учетом которого и с помощью выражения (3) получаются оценки видов прогрессивности P_j^*.

Учитывая большое количество факторов, влияющих на результат прогнозирования, показатель прогрессивности разрабатываемого образца W^* имеет вероятностную трактовку

$$P(W^*) = P(W < W^*) = \int_0^{W^*} f(W)dW = 1 - \exp(-\lambda(W^* - W_0)), \qquad (5)$$

где $W^* = W_p / W_б$ - значение прогрессивности разрабатываемого образца (W_p - технический уровень разрабатываемого образца, сформированный по оценочным данным).

Заключение о виде прогрессивности разрабатываемого образца можно сделать на основе последовательной проверки неравенств

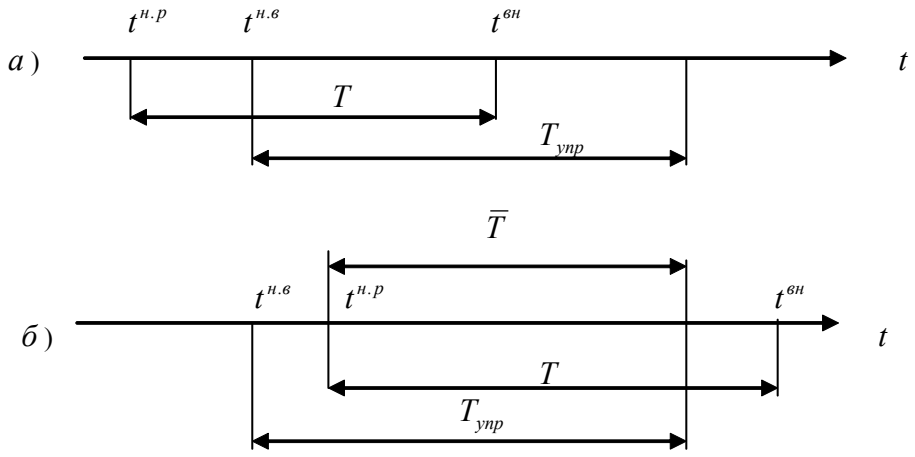
$$P(W^*) \le P_1^* \text{ - СПр;} \qquad P(W^*) \le \sum_j^2 P_j^* \text{ - УПр;} \qquad (6)$$

$$P(W^*) \le \sum_j^3 P_j^* \text{ - НПр;} \quad P(W^*) \le \sum_j^4 P_j^* \text{ - ВПр;} \quad P(W^*) > \sum_j^4 P_j^* \text{ - ППр.}$$

Получив временные характеристики разрабатываемого образца можно подсчитать риск разработки, что будет дополнительной информацией при принятии решений по созданию образца. Если на момент времени проведения прогноза $t^{н.в}$ разработка перспективного образца продукции уже ведется, время $(t^{н.в} - t^{н.р})$, то значение W_p определяется по оценочным данным описания разрабатываемого образца продукции (см. Рис.2, случай *а*). Если разработка перспективного образца продукции не начата, то W_p формируется на основе общих требований (см. Рис.2, случай *б*). Количественное выражение величины риска *R* при создании образца продукции описывается соотношением [14]

$$R = 1 - \overline{R},$$

где $\overline{R} = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{упр} \ge (t^{вн} - t^{н.в.}); \\ \overline{T}/T, & \text{если } \overline{T} < T. \end{cases}$



$t^{н.р}$ – время начала разработки образца; $t^{н.в}$ – настоящее время;
$t^{вн}$ – время внедрения разрабатываемого образца продукции.

Рисунок 2. Случаи для формирования оценок риска

Основные этапы формирования КХ прогрессивности, отражающих влияние внедрение инноваций в схему разрабатываемого образца новой техники на его прогрессивность.

1. Анализ преемственного развития образца. Выбор метода оценки его ТУ, определение коэффициента прогрессивности и построение по набранным исходным данным эмпирической гистограммы с последующим подбором теоретического закона распределения.

2. Формирование качественных характеристик по виду прогрессивности конструкции образца в зависимости от внедрения в его конструктивную схему инноваций (технических решений на уровне изобретения) с соответствующими вероятностными оценками.

3. Формирование по оценочным данным технического уровня создаваемого образца новой техники и определение времени его разработки T (внедрения) на основе известной модели "скорости" изменения срока внедрения нового образца (см. выражение (4)). Выбор базового образца для создаваемого образца.

4. Построение экстраполяционных моделей $W^j(t), j=\overline{1,4}$ и расчет прогнозного значения W_*^j с учетом времени разработки T. Определение по выражению (3) оценок видов прогрессивности P_j^*.

5. Расчет коэффициента прогрессивности разрабатываемого (будущего) образца W^*, его вероятностной оценки (5), на основе которой по (6) получают КХ прогрессивности образца.

6. Оценка риска разработки образца, как дополнительная информация при принятии решений, в зависимости от времени его создания и периода упреждения прогноза.

Основным достоинством предлагаемой модели является то, что разработчик, варьируя основными количественными характеристиками перспективного образца продукции, будет получать степень его превосходства над базовым образцом (прогрессивность) и срок внедрения, что снижает неопределенности в процессе создания новой техники.

В соответствии с этапами формирования КХ прогрессивности разрабатываемого образца проведено экспериментальное исследование, на расчетных примерах показаны особенности расчетов.

По ***первому этапу***, результаты анализ преемственного развития образца новой техники представлены в Табл.1. Подобран метод оценки ТУ образцов, на основе которого определены коэффициенты прогрессивности W. Построена по набранным исходным данным эмпирическая гистограмма с последующим подбором теоретического закона распределения, получился экспоненциальный закон со сдвигом (см. Рис.1).

По ***второму этапу***, проведен качественный анализ внедрения технических решений в конструктивную схему образца преемника по отношению к базовому образцу. При определении КХ прогрессивности (СПр, УПр, НПр, ВПр) использовали соотношение (1), результаты такого анализа представлены знаками «+» в Табл.1. Рассчитаны граничные коэффициенты, видно, что значения граничных коэффициентов почти не отличаются друг от друга (W^1=1,02117; W^2=1,04051; W^3=1,0657; W^4=1,20243), поэтому имеет смысл объединить первые три коэффициента в один обобщенный $W^{1,2,3}=1,0657$. Тогда соответственно

вероятностные оценки прогрессивности по выражению (3) имеют вид: $P_{1,2,3}$=0,502 (P_1=0,311; P_2=0,091; P_3=0,1); P_4=0,314; P_5=0,184.

Для рассматриваемого примера слабая, удовлетворительная и нормальная прогрессивности сливаются, и устанавливается граница $W^{1,2,3}$=*1,0657*. Тем самым увеличивается статистика, на основе которой можно построить две прогнозные модели граничных значений $W^{1,2,3}$ для суммы СПр, УПр, НПр и W^4 для ВПр (см. Табл.3, для построения первой модели имеется статистика – 15 значений, для построения второй - 10).

При выполнении ***третьего этапа*** проводится формирование по оценочным данным технического уровня создаваемого образца (задано значение 5,475) и определяется время его разработки T (внедрения) на основе известной модели "скорости" изменения срока внедрения нового образца по выражению (4) . Величины $\overline{W}_0$ и T_0 формируются на основе исходных данных (см. Табл.1, $\overline{W}_0$=0,570105, T_0=4,24). Зная W_p=5,475, $\overline{W} = W_p / W_{max}$=0,905257. По зависимости (4) T=3,883, т.е. приблизительно 4 года.

На ***четвертом этапе*** по исходным данным о вводе образцов в эксплуатацию (см. Табл.3) строятся модели $W^{*1,2,3} = 0{,}89 + 0{,}02 \times t$, $W^{*4} = 0{,}6767 + 0{,}041 \times t$. Здесь значение t является условной временной единицей, при t=1 понимается размерное время равное 2, например, 2 года. С учетом, что разработка образца начата в момент времени $t = 16$ и добавляя время его разработки, $T = 3{,}883 \approx 4$ (шаг на временной оси равен 2) получаем значение времени ввода в эксплуатацию разрабатываемого образца $t = 18$. Ориентируясь на него рассчитываются прогнозные оценки $W^{*1,2,3} = 0{,}89 + 0{,}02 \times 18$=1,25, $W^{*4} = 0{,}6767 + 0{,}041 \times 18$=1,415 и по выражению (3) вероятностные оценки прогрессивности

$$P^*_{1,2,3} = 1 - \exp\left(-\lambda\left(W^{*1,2,3} - W_0\right)\right) = 0{,}87 ;$$

$$P^*_4 = \exp(\lambda W_0)\left\{\exp\left(-\lambda W^{*1,2,3}\right) - \exp\left(-\lambda W^{*4}\right)\right\} = 0.091 ;$$

$$P^*_5 = \exp\left(-\lambda\left(W^{*4} - W_0\right)\right) = 0.039 .$$

Таблица 3

Исходные данные по временам ввода образцов S-1,…,S-25 в эксплуатацию и значениям их прогрессивности

Время ввода образца в эксплуатацию, *t*	**W** (СПр, УПр, НПр)	**W** (ВПр)	Индекс образца с КХ	
			СПр, УПр, НПр	ВПр
16		1,394		S-10
12	1,178	1,078	S-3	S-8
7	1,031	0,970	S-5	S-23
13	1,195	1,236	S-6	S-15
15	1,389	1,313	S-7	S-2
14	1,283	1,236	S-9	S-14
3	0,991		S-12	
11	1,152	1,071	S-13	S-16
8	1,061	1,027	S-17	S-11
6	1,020		S-18	
9	1,087	1,108	S-19	S-1
5	1,000		S-20	
2	0,989		S-21	
10	1,047	1,108	S-22	S-4
4	0,997		S-24	
1	0,978		S-25	

При выполнении ***пятого этапа*** в качестве базового образца брался образец продукции с техническим уровнем 3,912 (образец S-12, см. Табл.1), показатель прогрессивности разрабатываемого образца W^*=1,4. Тогда по выражению (5) имеем

$$P(W^*) = 1 - \exp(-\lambda(W^* - W_0)) = 0{,}956.$$

В данном случае, проверяя неравенства (6), получаем

$$P(W^*) = 0{,}956 \le (P^*_{1,2,3} + P^*_4) = 0{,}961 \ .$$

Таким образом, можно сделать заключение, что разрабатываемый образец имеет высокую прогрессивность (ВПр), т.е. в его конструктивной схеме, кроме реализации технических решений на уровне изобретения в малозначимых, не основных и основных блоках, еще применяются и технические решения на уровне изобретения, касающиеся всей конструкции образца. Уже на стадии разработки получается информация о внедрении инноваций в создаваемый образец новой техники.

Для проверки модели на чувствительность в качестве базового образца выбирается образец с более высоким техническим уровнем 4,399 (образец S-16, см. Табл.1), тогда W^*=1,245. Видно, что $P(W^*)=0{,}865 \le P^*_{1,2,3}=0{,}87$, это значит, разрабатываемый образец уже по отношению к базовому имеет прогрессивность ниже ВПр, скорее это будет НПр. Вывод, внедрение инноваций в его конструктивную схему будет меньше чем в предыдущем случае, т.е. технических решений на уровне всей схемы образца уже не будет.

Выполнение следующего этапа, ***шестого этапа***, имеет обеспечивающее значение и характеризуется необходимостью при принятии решений получить дополнительные данные о риске внедрения разрабатываемого образца. При расчете риска в основном оперируют временными показателями, которые отражают ситуацию прогнозирования. В совокупности это расширяет информационную базу, используемую на ранних этапах разработки продукции, и тем самым повышается обоснованность принимаемых решений.

Обсуждая результаты проведенного исследования можно отметить, что разработана математическая модель, отражающая взаимосвязь внедрения в конструктивную схему образца инноваций (технических решений на уровне изобретения), с ее прогрессивностью, которая показывает, на сколько разрабатываемый образец (преемник) превосходит базовый. При этом учитывается, в какие элементы и подсистемы образца внедрены изобретения, в малозначимые, значимые и основные в плане влияния на повышение его качества. В этом и заключается **новизна** исследования. На конкретном примере иллюстрируется применение модели. Предлагаются качественные характеристики прогрессивности, руководствуясь которыми определяются направления разработки новых образцов в технике. Таким образом, значительно снижется неопределенность, возникающая на ранних этапах создания техники. К тому же, вероятностные оценки КХ прогрессивности могут быть использованы при формировании предпочтительных вариантов облика на ранних этапах создания образца. В [15], например, показано как это делается. В этом будет заключаться **практическая значимость** результатов данного исследования.

Необходимо отдельно остановиться на практической значимости. Дело в том, что на ранних этапах разработки очень важно формировать варианты облика будущего образца с учетом законов развития техники. Это будет способствовать тому, что разработанный образец не устареет в момент вывода его на рынок. Известны исследования, которые рассматривают свойства разрабатываемого образца как объекта развития [16], формируются показатели этих свойств и на ранних этапах создания с их помощью формируются предпочтительные варианты облика разрабатываемого образца. Прогрессивность входит в состав этой системы свойств и отражает применение в конструкции образца инноваций (научных открытий, изобретений и др.), которые улучшают основные его характеристики по сравнению с прототипом. Учёт этого свойства усиливает преемственный характер развития технических систем, а также использование законов развития техники.

Таким образом, в статье показаны проблемы, возникающие на ранних этапах разработки образца новой техники, связанные с отсутствием рассмотрения преемственной схемы его развития. В соответствии с этим поставлена цель исследования по разработке математической модели, отражающей связь прогрессивности техники с внедрением технических решений в конструктивную схему её образца с учетом преемственного развития. Проведены формализация и описание математической модели, на примере показано ее использование при формировании КХ прогрессивности образца, выделены этапы формирования вероятностной оценки прогрессивности. При обсуждении результатов проведенного исследования показана его научная новизна и практическая значимость.

Список литературы

1. Андреева Л.О., Плеханов А.В. Показатели оценки конкурентоспособности промышленной продукции. Проблемы экономики и юридической практики. 2016. № 3. С. 33-36.

2. Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. Управление качеством промышленной продукции. Монография. СПб.: Наука, 2014.-412с.

3. Томова М.Б., Дедушева Л.А. Инновационное развитие машиностроения Российской Федерации. Вестник Университета (Государственный университет управления). 2016. № 12. С. 162-168.

4. Мустафаев Г.А., Кабулова М.Ю., Рехвиашвили Э.И. Системный подход к управлению качеством продукции. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-2 (45). С. 31-32.

5. Ромашова И.Б. Развитие системного подхода к управлению качеством продукции. В сборнике: Социально-экономические науки и юриспруденция: теория, методология, практика. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, ученых, специалистов. 2016. С. 203-209.

6. Золотарев П.В., Киселёва Э.А. Инженерное творчество. Молодежный научно-технический вестник, 8 (август). - М.: 2015, с. 47-48.

7. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник/ Под ред. А.И. Половинкина, В.В. Попова. - М.: НПО “Информ-система”, 1995.-408 с.

8. Гмошинский В.Г. Инженерное прогнозирование. - М.: Энергоиздат, 1982.-208с.

9. Бочков А.П. Математические методы в производственном и коммерческом предпринимательстве. Учебное пособие. - СПб.: ООО «Русская коллекция СПб», 2014.– 111с.

10. Ерохин М.А. Управление качеством продукции машиностроения. В сборнике: Актуальные проблемы социально-гуманитарных знаний. Сборник статей. Отв. редактор Мысенко Г.В. - Москва, 2015, с. 238-243.

11. Кузякова Т.В. Совершенствование методов оценки технического уровня на машиностроительных предприятиях. Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки, (2009), 2-2, С.158-163

12. Сухорукова Е.В., Агеева А.А. Управление качеством продукции. В сборнике: Современные инновации в науке и технике Сборник научных трудов 6-ой Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А. – М.: 2016. С. 154-156.

13. Соколов Б.В., Птушкин А.И., Иконникова А.В., Потрясаев С.А., Юсупов Р.М., Цивирко Е.Г. Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искуственно созданных объектов. Труды СПИИРАН. 2011. № 1 (16). С. 37-109

14. Горелова В.Л., Мельникова Е.Н. Основы прогнозирования систем: Учебное пособ. для инж.-экон. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1986.- 287с.

15. Бочков А.П. Моделирование развития технических систем. МО, 1992. -105с.

16. Бочков А.П. Свойства промышленного образца на ранних этапах его создания. Advances in Science and Technology: сборник статей VIII Международной НПК, 30 апреля 2017. Ч.1 – М.: «Научно-издательский центр «Актуальность. РФ», 2017, С. 71-79.

Оценка реализуемости и полезности нового принципа действия для инновационного образца технической системы

Бочков А.П.
доктор технических наук, профессор кафедры математического моделирования
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: kostpea@mail.ru

Аннотация: В статье предлагается математическая модель оценки реализуемости и полезности принципа действия в конструктивной схеме образца новой техники, которая может использоваться на ранних этапах его создания. Актуальность предлагаемой модели определяется тем, что она учитывает высокую степень неопределенности, характерную ранним этапам создания новой техники ввиду неоднозначности исходных данных о лучших образцах, которые являются аналогами разрабатываемого.

Разработана схема прогнозирования реализуемости и полезности нетрадиционного принципа действия для образца новой техники, учитывающая особенности предлагаемой математической модели. Поясняются основные этапы данной схемы, их особенности. Кроме того, проведен анализ нечетко-байесовских правил, показано, что правило выбирается в соответствии с условиями разработки. На конкретном примере показано применение модели при выборе нетрадиционного принципа действия, а так же каким образом проводится оперирование с нечеткими категориями. Основные нечеткие категории: нечеткое событие, функция принадлежности нечеткого события, возможность нечеткого события, строгая выгода, функция нечеткой выгоды и др. При обсуждении результатов моделирования показана новизна и практическая значимость прогнозирования реализуемости и полезности принципа действия. Так же показано, что модель может быть использована при формировании предпочтительных вариантов облика создаваемого образца на новом принципе действия, который ранее не использовался в аналогичных образцах технических систем.

Ключевые слова: нетрадиционный принцип действия, образец новой техники, прогнозирование, математическая модель, нечеткая выгода, нечеткое событие, возможность нечеткого события, функция строгой выгоды.

Введение. Разработка новой техники проходит в настоящее время с новыми особенностями, характерными современным инновационным процессам. В частности, приоритет отдается ранним этапам создания образца технической системы (ТС), когда закладывается только идея его общей конструктивной схемы, определяются принципы действия его основных узлов и механизмов. В этих условиях оценивать технический уровень образца еще рано, т.к. самого образца еще нет, а принципы действия его узлов и механизмов необходимо уже

выбирать. Известны работы по генерированию принципов действия (ПД) (см., например, [1]), которые дают возможность в автоматизированном режиме получать определенную совокупность ПД для конкретного образца. При этом возникает неопределенность в выборе ПД для реализации его в образце ТС. В этих условиях сам принцип действия может оказаться весьма нетрадиционным для рассматриваемого образца, т.е. ранее он не использовался при разработке аналогичных образцов. Это способствует тому, что возникает неопределенность при выборе принципов действия, на которых будет функционировать образец ТС. Для снятия такой неопределенность необходим методический аппарат, с помощью которого можно было бы оценить ПД на предмет использования его в конструктивной схеме образца. Таким образом, возникает весьма актуальная задача оценки отработанности и реализуемости нетрадиционного принципа действия (НПД) в конструктивной схеме разрабатываемого образца ТС.

Цель работы – создание методического аппарата по сравнению НПД на предмет их оценки на отработанность и реализуемость в конструктивной схеме образца новой техники. Это позволит проводить дальнейшие исследования по вариантной проработке облика образца на ранних этапах его создания и снять возникающие при этом неопределенности.

Формализация и описание математической модели. Сформировав возможные отработанные ПД, необходимо выяснить их реализуемость в конструктивных схемах вариантов образца новой техники. В [2] дано понятие свойства реализуемости ПД, отражающее его приспособленность для использования в конкретной конструктивной схеме. Наряду с оценкой реализуемости должна рассматриваться и оценка полезности от внедрения отработанного ПД. Прогнозирование реализуемости и полезности ПД включает формирование исходных данных, формализацию этих данных в нечетких терминах и непосредственное прогнозирование реализуемости того или иного ПД в конструктивной схеме образца новой техники на основе обобщающего правила принятия решения (см. Рис. 1).

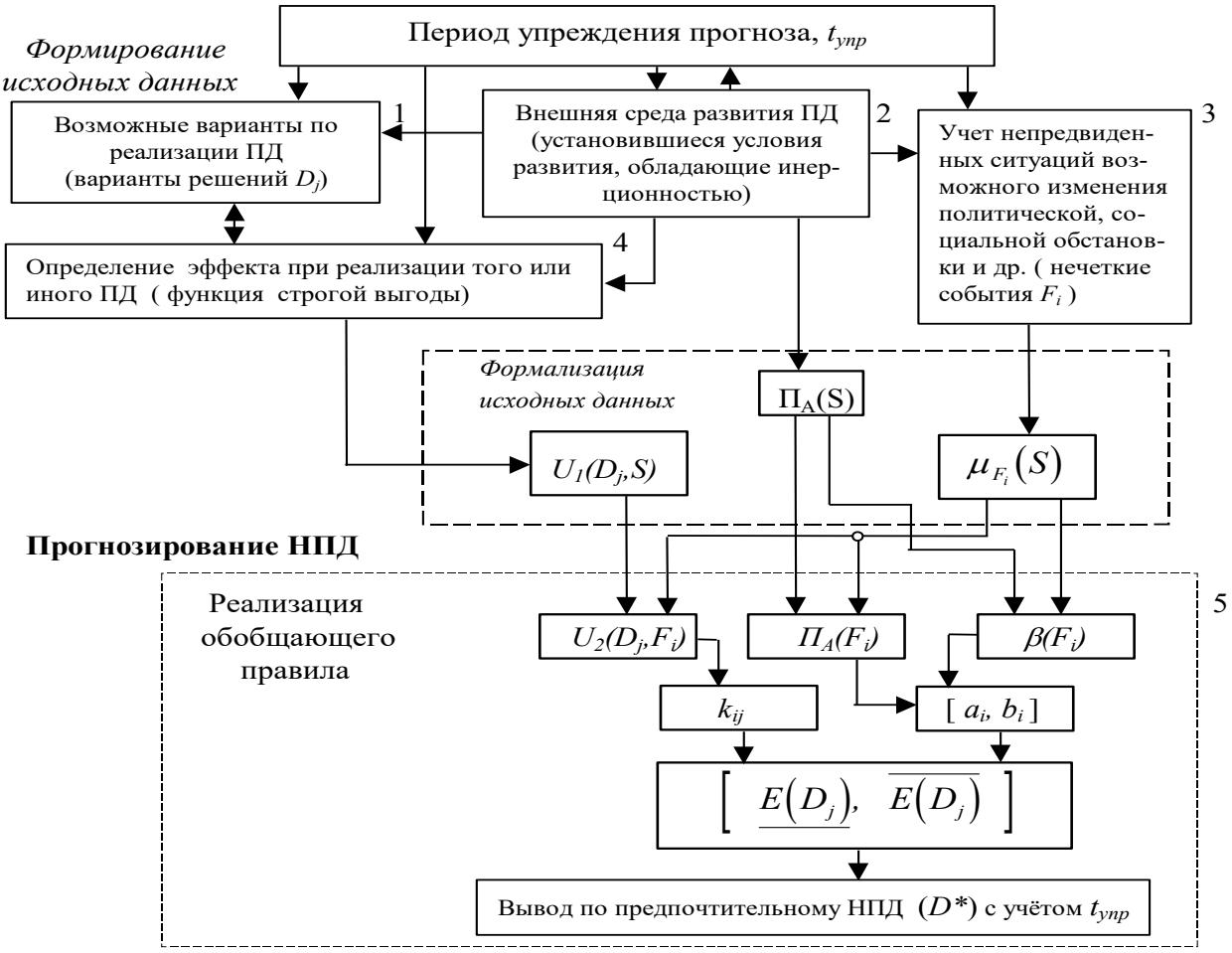


Рисунок 1. Схема прогнозирования реализуемости и полезности НПД

Для принятия решения о реализуемости и полезности ПД в образце новой техники необходимо иметь исходные данные по возможным исходам реализации ПД 1, внешней среде развития ПД 2, по которой фиксируется типичная конструктивная схема образца новой техники, возможным непредвиденным ситуациям 3 и ориентировочному эффекту от реализации того или иного ПД 4. Формализацию таких исходных данных удобно провести в нечетких терминах: нормального распределения возможности знания эксперта A о внешней среде развития S $\Pi_A(S)=\exp\left(-(s-a)^2/d_A\right)$, где a - центральный параметр среды S, d_A - параметр рассеивания среды относительно её центра; функции строгой выгоды $U_1(D_j,S)$; функции принадлежностей нечётких событий F_i $\mu_{F_i}(S)$.

Внешняя среда формализуется словесным описанием возможных условий развития образца новой техники и условиями его эксплуатации в будущем. Им в соответствие ставится величина *S*, которая изменяется в определённом интервале. Наиболее вероятные условия развития и эксплуатации (типовые условия) определяются центром внешней среды и фиксируются центральным параметром a, d_A будет характеризовать степень отличия (разброса) остальных условий (внешней среды) от типовых. Таким образом, зная типовые условия применения образца новой техники, не трудно сформировать его облик, в котором планируется реализовать отработанный ПД. При определении центрального параметра внешней среды выявляется общая конструктивная схема образца новой техники, соответствующая внешней среде. Распределение возможности знания эксперта о внешней среде S строится в соответствии с известными рекомендациями в [3]. В данном случае оно выбрано в виде $\Pi_A(S)$, что соответствует многофакторной природе внешней среды. Функция строгой выгоды $U_1(D_j, S)$ отражает эффект при реализации определённого *j*-го ПД в конструктивной схеме системы D_j при заданной внешней среде *S*. Построение её проводится на экспертной основе по отдельным фиксированным точкам строгой выгоды в зависимости от условий S. В рассмотренном ниже примере функции строгой выгоды аппроксимированы линейными зависимостями. Функции принадлежностей нечётких событий F_i $\mu_{F_i}(S)$ строятся на основе известных способов и процедур. Особенность заключается в выборе самих нечетких событий F_i . Как правило, их делят на благоприятные события, удовлетворительные и неблагоприятные.

После формализации исходных качественных данных алгоритм прогнозирования реализуемости отработанных ПД в конкретной конструктивной схеме образца ТС, соответствующей центру внешней среды, сводится к применению обобщающего нечетко-байесовского правила принятия решений [4]. Для уяснения его обобщающего характера рассмотрим характеристику проблемы байесова решения и наиболее типичных правил принятия решений.

В общем случае проблема байесова решения имеет вид:

$$(S, D, U_1, \pi, \theta),$$

где S - множество состояний внешней среды;

$D = \{D_1, D_2, ..., D_n\}$ - множество решений (альтернатив);

U_1 - функция выгоды;

π - априорная вероятность по θ (пространству параметров).

Учитывая нечёткость в принятии решений, будем рассматривать множество нечётких событий по S $F = \{F_1, F_2, ..., F_m\}$. Кроме того, наложение множества нечётких событий F на вероятные решения D даёт возможные ситуации $F \times D$, каждой из которых соответствует функция нечёткой выгоды U_2. Тогда проблема нечётко-байесова решения определяется как

$$(F, D, U_2, \pi, \theta). \qquad (1)$$

В Табл.1 представлены правила принятия решений с учётом выражения (1). В первом правиле осуществляется поиск оптимального решения D^* на основе вероятности нечёткого события и нечёткой ожидаемой выгоды $U_2(D_j, F_i)$. При этом лицо, принимающее решение (ЛПР) руководствуется априорной информацией о внешней среде $\pi(S)$, вероятных событиях $\mu_{F_i}(S)$. Кроме того, ЛПР с полной уверенностью задаётся выгодами $U_2(D_j, F_i)$, которые в этом случае можно назвать чёткими выгодами.

Второе правило отличается от первого тем, что ЛПР ничего неизвестно о выгодах $U_2(D_j, F_i)$, но оно имеет информацию о точной выгоде $U_1(D_j, S)$ и руководствуется априорной информацией о внешней среде $\pi(S)$ и вероятных событиях $\mu_{F_i}(S)$. Общим для двух правил является необходимость соблюдения условия

$$\sum_s \mu_{F_i}(S) = 1. \qquad (2)$$

Третье правило используется, когда ЛПР не может составить точное представление об априорном распределении внешней среды или вероятных событиях, последнее не позволяет выполнить условие (2).

Таблица 1

Нечётко-байесовские правила принятия решений [4]

Характеристика правил принятия решений
1. Принятие решений на основе вероятности нечёткого события по Заде $P(F_i)=\int \mu_{F_i}(S)\pi(S)\,dS$, где $\mu_{F_i}(S)$ - функция принадлежности, отражающая меру проявления события F_i при состоянии S, $\sum_s \mu_{F_i}(S)=1$. Нечёткая ожидаемая выгода для *j*-го решения $E(D_j)=\sum_i U_2(D_j,F_i)P(F_i)$, где $U_2(D_j,F_i)$ задается экспертом. Оптимальное решение $D^*=\max_j[E(D_j)]$.
2. Принятие решений на основе функции нечеткой выгоды $U_2(D_j,F_i)=\int \mu_{F_i}(S)/U_1(D_j,S)$, где $U_1(D_j,S)$- функция строгой выгоды, $\sum_s \mu_{F_i}(S)=1$. Нечеткая ожидаемая выгода *j*-го решения $E(D_j)=P(F_1)\otimes U_2(D_j,F_1)\oplus\ldots\oplus P(F_m)\otimes U_2(D_j,F_m)$. Упорядочивание по правилу: $Pos(E(D_j)>E(D_i))\geq 0.5$ для всех i $(i\neq j)$, то $D^*=D_j$ - оптимальное решение.
3. Принятие решений на основе меры возможности нечеткого события $\widetilde{\Pi}_A(F_i)=\max_s \Pi_A(S)\mu_{F_i}(S)$, где $\Pi_A(S)=\exp(-(s-a)^2/d_A)$ - нормальное распределение возможности знания эксперта *A* о внешней среде *S* (*a* - центральный параметр среды *S*, d_A - широкий параметр). Нечеткая ожидаемая выгода *j*-го решения $E(D_j)=\widetilde{\Pi}_A(F_1)\otimes U_2(D_j,F_1)\oplus\ldots\oplus\widetilde{\Pi}_A(F_m)\otimes U_2(D_j,F_m)$. Упорядочивание и получение D^* аналогично правилу 2.
4. Принятие решений на основе распределения возможности нечёткого события $\Pi_A(F_i)=\int \mu_{F_i}(S)/\Pi_A(S)$. Нечеткая ожидаемая выгода *j*-го решения $E(D_j)=\Pi_A(F_1)\otimes U_2(D_j,F_1)\oplus\ldots\oplus\Pi_A(F_m)\otimes U_2(D_j,F_m)$. Упорядочивание и получение D^* аналогично правилу 2.

Принимается, что ЛПР на основе своих знаний может сформировать нормальное распределение возможности $\Pi_A(S)$ более легко, чем точное априорное распределение $\pi(S)$. Поэтому здесь вместо вероятности нечёткого события используется мера возможности нечёткого события $\Pi_A(F_i)$. Нечёткая ожидаемая выгода $E(D_j)$ является суммой произведений функций нечёткой выгоды на

меры возможности нечётких событий. Принимается, что распределение возможности нечёткой выгоды по *j*-му решению является нормальным распределением возможности с параметрами, определяемыми нейтральным экспертом. Правилам 1-3 присущ недостаток: вероятность и мера возможности нечётких событий обладают недостаточной общностью, связанной с распределением возможности нечётких событий. Поэтому в четвёртом правиле принятие решений производится непосредственно по распределениям возможности нечётких событий (см. Табл. 1). В [4] предлагается правило принятия решений, которое обобщает все рассмотренные правила и обладает большими возможностями за счёт применения так называемых представительных интервалов нечётких ожидаемых выгод

$$\left[\ \underline{E(D_j)}, \ \overline{E(D_j)} \ \right] = \left[\sum_i k_{ij} a_i ; \sum_i k_{ij} b_i \right], \qquad (3)$$

где $k_{ij} = U_2\left(D_j, F_i\right)^{-1}(\alpha)$ - представительное значение функции нечёткой выгоды;

$\alpha = \max\limits_y \ U_2\left(D_j, F_i\right)(y)$, $U_2\left(D_j, F_i\right)^{-1}$ - обратная функция $U_2\left(D_j, F_i\right)$, $U_2\left(D_j, F_i\right) = \int \mu_{F_i}(S) / U_1\left(D_j, S\right)$;

$\left[a_i, b_i\right] = \left[\Pi_1\left(F_i\right)^{-1}(\delta); \Pi_2\left(F_i\right)^{-1}(\delta) \right]$- представительный интервал *i*-го события;

$\delta = \Pi_A\left(F_i\right)\beta\left(F_i\right)$, $\beta\left(F_i\right) = sup \ \inf\limits_s \left(\mu_{F_i}(S), \Pi_A(S) \right)$ - мера возможности нечёткого события по Заде, $\Pi_1\left(F_i\right)^{-1}$ и $\text{п}_2\left(F_i\right)^{-1}$ - две обратные функции $\Pi_A\left(F_i\right) = \int \mu_{F_i}(S) / \Pi_A(S)$.

В соответствии с [3,5] проводится упорядочивание представительных интервалов и определяется оптимальное решение D^* по правилу:

$$\text{если } \underline{E\left(D_j\right)} \le \overline{E\left(D_j\right)} \qquad (4)$$

для всех $i \ \left(i \ne j\right)$, то D_j является оптимальным.

Таким образом, проведённый анализ нечётко-байесовских правил принятия решений позволит ЛПР производить выбор их в большей степени соответствующего имеющимся информационным исходным данным по разработке НПД. Сам процесс прогнозирования будет аналогичен байесовской парадигме: прогнозист задаёт априорные вероятности проявления того или иного НПД и, после использования определённой информации о ведущихся разработках принципов действия, пересматривает эти значения вероятностей (получает апостериорные вероятности). Специфика прогнозирования заключается в формализации информации о ведущихся разработках НПД с целью дальнейшего её использования.

Прогнозирование реализуемости и полезности НПД образца новой техники с учётом обобщающего правила принятия решений по представительным интервалам нечётких ожидаемых выгод осуществляется в следующем порядке.

1. Определение возможных исходов по реализации НПД.

2. Уяснение условий разработки НПД (внешней среды) и их формализация.

3. Выделение возможных событий, которые в той или иной мере могут повлиять на реализацию НПД, определение их природы и формализация.

4. Формирование функций выгоды, соответствующих возможным исходам по реализации и условиям разработки НПД.

5. Реализация обобщающего правила по представительным интервалам (проведение расчётов и составление суждений по прогнозированию НПД образца продукции).

При выборе какого-либо другого правила, этапы 1-4 будут соответственно изменены. На Рис. 1 представлена схема прогнозирования НПД, которая отражает формирование исходных данных (этапы 1-4) и непосредственное прогнозирование НПД (этап 5). Формализация исходных данных, подробно описанная выше, с помощью распределения возможности внешней среды развития, функций принадлежности нечётких событий и функций строгой выгоды проводится ЛПР и нейтральными экспертами известными методами. Несомненным

достоинством является то, что информация по этапам 1-4 может носить словесный (описательный) характер и обладать неточностью и неопределённостью. Это соответствует учёту при формировании исходных данных периода упреждения прогноза. К одному из основных моментов при формировании исходных данных следует отнести внешнюю среду развития НПД 2, т.к. она ввиду своей определённой инертности, в общем-то, и является задающей. Но здесь необходимо сделать пояснение того, что внешняя среда по своей природе иерархична и, если на одном уровне она стабилизировалась, то воздействия на неё с более высокого уровня могут привести к нарушению сложившейся стабилизации. Воздействия более высокого уровня внешней среды в схеме прогнозирования отражены нечёткими событиями F_i 3, которые учитываются в обобщающем правиле через функции принадлежностей $\mu_{F_i}(S)$. Возможные исходы по реализации НПД 1 формируются главным образом с учётом инерционности развития 2 и возможного эффекта от их внедрения 4. После реализации обобщающего правила делается заключение о наиболее предпочтительном НПД на перспективу с учётом $t_{\text{упр}}$. Пояснив связи схемы прогнозирования на описательном уровне, в качестве иллюстрации работоспособности предлагаемой модели осуществим прогнозирование реализуемости и полезности НПД конкретного образца новой техники.

Рассмотрен пример оценки и прогнозирования реализуемости и полезности НПД в инновационной ТС. Пусть активно ведутся работы по реализации в конструктивной схеме ТС следующих НПД: электромагнитного принципа действия (D_1), электротермохимического (D_2) и электротермического (D_3). Выбор данных принципов обусловлен, прежде всего, их отработанностью. Необходимо оценить данные ПД и спрогнозировать наиболее реализуемый и полезный для ТС.

Формирование исходных данных. Внешнюю среду развития определим в виде непрерывного множества S (0,100). Учитывается допущение, что уровень трудности разработки ТС на НПД аналогичен разработке технических систем, в

прошлом уже совершивших подобный качественный скачок. Предполагается, что возможность внешней среды развития может быть представлена симметричным распределением с одним максимумом $\Pi_A(S)$. Непредвиденные ситуации развития внешней среды разбиты на три группы и выделены соответственно им три нечётких события по внешней среде: F_1 - благоприятное, F_2 - удовлетворительное, F_3 - неблагоприятное. Определены эффекты реализации выделенных НПД с учётом внешней среды развития и отражены нейтральным рискующим лицом в функциях строгой выгоды $U_j(D_j, S)$, $j = \overline{1,3}$. Формализация исходных данных по этапам 2-4 производится известными методами построения распределений возможностей и функций принадлежностей, которые приведены, например, в [3,5]. Результаты формализации исходных данных приведены на Рис.2-4.

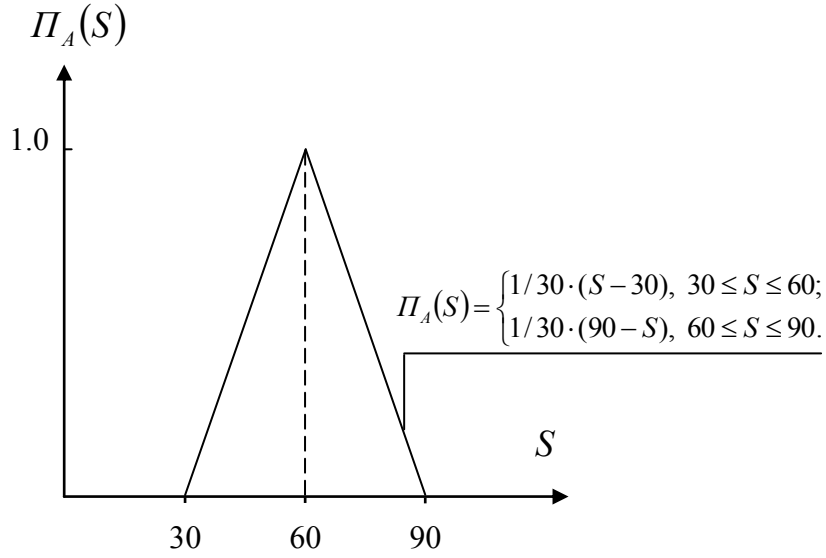
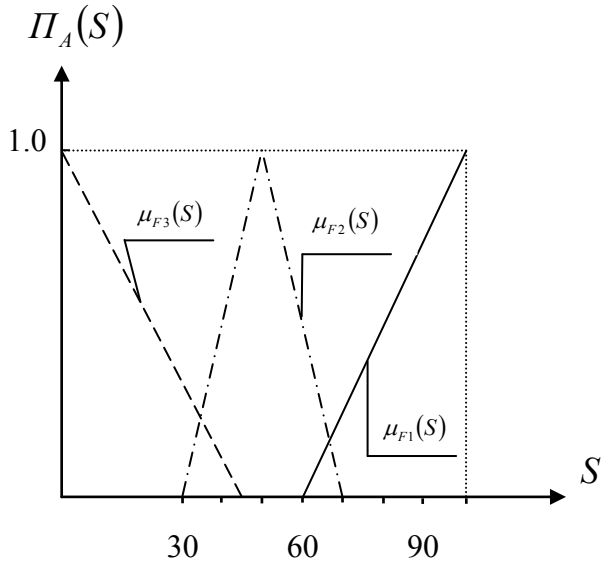


Рисунок 2. Распределение возможности внешней среды развития НПД



$$\mu_{F1}(S)=\begin{cases}0, & 0\le S\le 60;\\ 1/40\cdot(S-60), & 60\le S\le 100\end{cases}.$$

$$\mu_{F2}(S)=\begin{cases}0, & 0\le S\le 30;\\ 1/20\cdot(S-30), & 30\le S\le 50;\\ 1/20\cdot(70-S), & 50\le S\le 70;\\ 0, & 70\le S\le 100.\end{cases}$$

$$\mu_{F3}(S)=\begin{cases}1/45\cdot(45-S), & 0\le S\le 45;\\ 0, & 45\le S\le 100.\end{cases}$$

Рисунок 3. Функции принадлежностей нечетких событий F_i

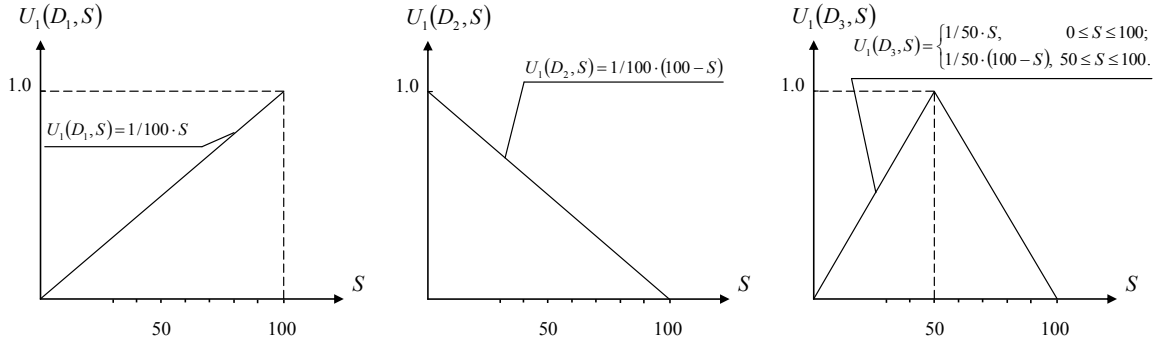


Рисунок 4. Функции строгой выгоды

Применение обобщающего правила (прогнозирование полезности и реализуемости НПД) производится в соответствии со схемой прогнозирования по выражению (3) путём получения $\Pi_A(F_i)$, $\beta(F_i)$, $U_2(F_i,D_j)$ (см. Рис.5-7) и нахождение на их основе представительных интервалов нечётких ожидаемых выгод:

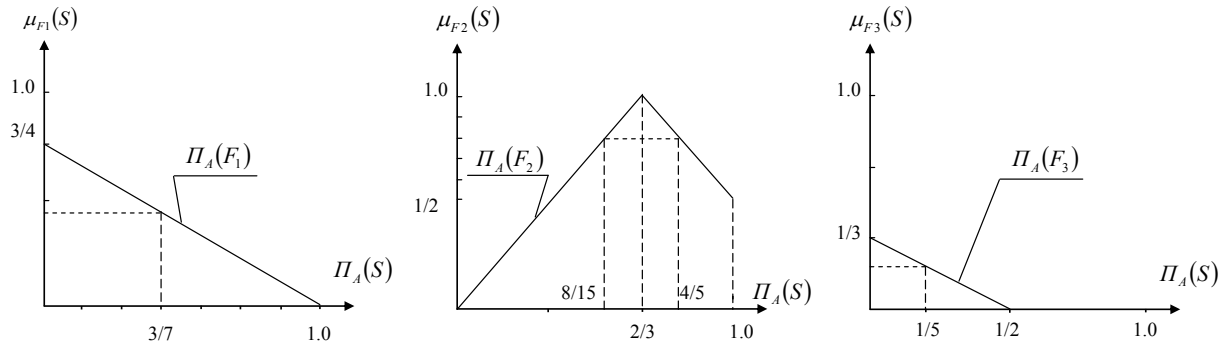


Рисунок 5. Распределение возможности нечетких событий

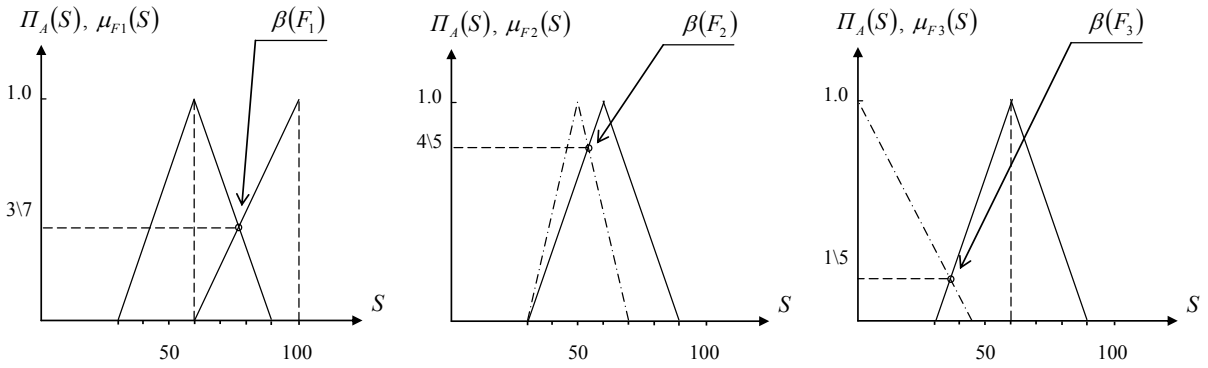


Рисунок 6. Определение меры возможности нечетких событий $\beta(F_i)$

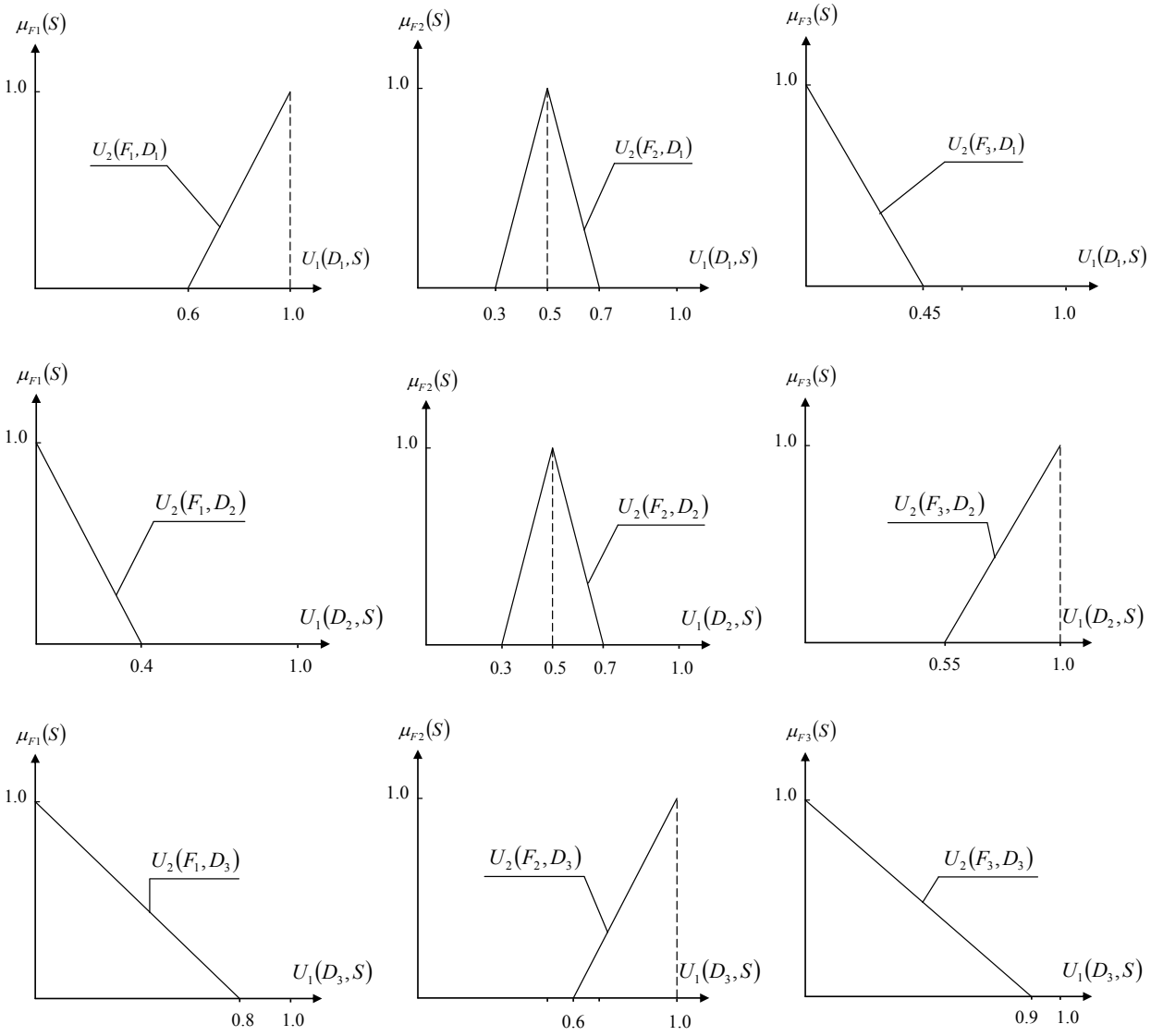


Рисунок 7. Функции нечеткой выгоды

$$\beta(F_1)=3/7,\ \beta(F_2)=4/5,\ \beta(F_3)=1/5;$$

$$[a_1,b_1]=[0,3/7],[a_2,b_2]=[8/15,4/5],[a_3,b_3]=[0,\ 1/5];$$

$$k_{11}=1,\ \ k_{21}=0.5,\ \ k_{31}=0,\ \ k_{12}=0,\ \ k_{22}=0.5,\ \ k_{32}=1,\ \ k_{13}=0,\ \ k_{23}=1,\ \ k_{33}=0;$$

$$\left[\underline{E(D_1)},\overline{E(D_1)}\right]=[0.266,0.828],\ \ \left[\underline{E(D_2)},\overline{E(D_2)}\right]=[0.266,0.6],$$

$$\left[\underline{E(D_3)},\overline{E(D_3)}\right]=[0.533,0.8]\ \ .$$

В соответствии с неравенством (4) наиболее полезной и вероятной будет реализация в конструктивной схеме ТС электротермического принципа действия $\left(D_3 = D^*\right)$.

Обсуждая полученные результаты моделирования, необходимо отметить, что новизна предлагаемого исследования заключается, прежде всего, в нестандартной формализации исходных данных на ранних этапах разработки новой техники, которая заключается в оперировании нечеткими понятиями, возможность нечеткой функции, нечеткая выгода, нечеткое событие, возможность нечеткого события и другие понятия. Практическая значимость определяется возможностью с помощью предлагаемой модели находить оптимальные решения по выбору НПД в конструктивной схеме образца новой техники.

Специфика предлагаемой модели прогнозирования направлена на учёт значительной неточности и неопределённости исходных данных, что соответствует ситуации прогнозирования НПД. Приведенный пример ориентирован на выбор наиболее реализуемого и полезного принципа действия. При увеличении количества отработанных принципов действия, из которых необходимо выбрать наиболее полезный и реализуемый, модель будет усложняться. Поэтому представляется, что необходимо из всей совокупности ПД отбирать по три ПД и, используя данную модель, выбирать один наиболее полезный принцип. Затем такую же процедуру проводить для уже отобранных принципов, т.е. необходимо осуществлять последовательный выбор. Тогда на каждом его этапе область совокупности ПД будет уменьшаться. В конце выбор будет осуществляться из трех наиболее полезных и реализуемых ПД. Такая процедура многократного выбора укрепит практические навыки исследователя по формализации

исходных данных рассматриваемого ПД, и способствует развитию его умения оперировать нечеткими категориями при принятии решений.

Список литературы

1. Алейников А.Ф. Автоматизированный синтез принципов действия. Вестник Новосибирского государственного аграрного университета, номер 1(26). - Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2013, С. 99-106.

2. Бочков А.П. Свойства промышленного образца на ранних этапах его создания. В сборнике: Advances in Science and Technology. Сборник статей VIII международной научно-практической конференции. Под редакцией В.Б. Соловьева. 2017, С. 71-79

3. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. - М.: Радио и связь, 1990.-288с.

4. Uemura Y. A. Simple decision rule on fuzzy events. Cybernetics and Systems. 1993, 24: 509..521.

5. Борисов А.Н., Алексеев А.В. Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решения. - М.: Радио и связь, 1989. - 304с.

Разработка инновационных технических решений для образца технической системы

Бочков А.П.
доктор технических наук, профессор кафедры математического моделирования
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: kostpea@mail.ru

Аннотация: Предлагается методический аппарат по разработке инновационных технических решений для образца технической системы, актуальность которого подтверждается использованием особенностей развития научно-технического прогресса и функционально-структурного подхода. Приводится общая схема порядка разработки, которая включает в себя пятнадцать блоков. По каждому блоку даны подробные пояснения, определены его основные задачи. Центральным звеном предлагаемой схемы является использование функционально-структурного подхода для разработки инновационных технических решений. При этом разрешаются противоречия, как в функциональной, так и в структурной организации конструктивной схемы образца технической системы. Данный методический аппарат связан с поиском эффективных инновационных технических решений, отвечающих требованиям изобретения и определяющих новый тип элемента, подсистемы технической системы и может быть использован на ранних этапах разработки технических систем для увеличения морфологического пространства элементной базы образца, что будет способствовать формированию предпочтительных вариантов облика образца. Результаты исследований апробированы при разработке технических решений на уровне изобретения, получены авторские свидетельства и патенты.

Ключевые слова: функционально-структурная схема образца, техническое решение на уровне изобретения, инновационное техническое решение.

Введение. Разработка технических решений при создании любого образца технической системы весьма актуальна, т.к. закладывается основа будущего образца. В этом случае при формировании морфологического пространства элементной базы образца технической системы (ТС), которое впоследствии используется при прогнозировании его облика, выбираются все хорошо себя зарекомендовавшие и эффективные типы, виды элементов и подсистем, уже реализованные или оформленные как технические решения на изобретения. Но данное морфологическое пространство необходимо пополнять новыми типами, видами элементной базы образца. В связи с этим требуется создать научно-методический аппарат разработки новых, инновационных технических реше-

ний, особенностью которого является то, что они определяют новый тип элемента, подсистемы. Применение его будет способствовать расширению морфологического пространства, используемого при создании образца ТС. Фактически происходит генерирование возможных качественных характеристик (КХ) облика, которые могут реализоваться в будущем образце. Уровень эффективности таких инновационных технических решений, как правило, должен отвечать требованиям изобретения. Кроме того, существенной особенностью их разработки является то, что для эффективного решения задач по совершенствованию образца необходимо учитывать достаточно большое множество качественных показателей и преодолевать неполноту информации об анализируемых альтернативах, которые представляют новые знания о его функциях и структуре.

Существующий научно-методический аппарат по разработке технических решений в основном базируется на анализе патентной информации и совершенствовании определенного прототипа [1-4]. Однако, как показала практика разработки технических решений на уровне изобретений по элементной базе какого-либо образца ТС, не предусматривается возможности дальнейшего их улучшения с учетом развития научно-технического прогресса (НТП), а это как раз и дает возможность получать новый тип элемента, подсистемы. В ходе прогнозных исследований на ранних этапах разработки образца ТС рассматриваются вероятные пути развития НТП, но они зачастую остаются без должного внимания при непосредственном проектировании. Для устранения такого положения дел необходимо уже на стадии исследования и обоснования разработки использовать методы, применение которых позволит сравнивать различные варианты принципов действия (физическую основу) разрабатываемого технического решения с учетом НТП и находить наиболее полезный вариант.

Постановка цели и задачи исследования. Для решения задачи разработки новых, инновационных технических решений с выделенными особенностями необходимо использовать комбинированные методы, которые сочетают в себе наряду с общепринятыми методами [5, с.72-75] функционально-структурный подход к анализу сложных систем и элементы теории принятия решений.

Ведущим подходом для данного исследования является функционально-структурный подход, который позволяет на более высоком уровне проводить анализ аналогов и прототипов, выявлять основные противоречия в их функционально-структурной организации и определять направления разрешения основных противоречий в соответствии с развитием НТП. На его базе можно получать технические решения (ТР), которые и будут определять новый тип элемента, подсистемы образца (учитывается первая особенность прогнозирования ТР). Использование теории принятия решений в свою очередь позволит на основе сформированной системы показателей выбрать более удачное техническое решение из полученных решений, после чего включить его в морфологическую матрицу для прогнозирования облика ТС.

В [6] для принятия решения по наиболее предпочтительному варианту предлагается использовать теорию многомерной полезности, представляющую собой методику сглаживания конфликтов, где прогнозируемые альтернативные варианты характеризуются признаками, для которых определяется субъективная количественная полезность. В теории многомерной полезности рассматриваются вопросы релевантности признаков, измерения ценностей, объединения величин для установления приоритетов элементов и ряд других вопросов. К её недостаткам следует отнести отсутствие методов структурирования проблем и необходимость обязательного выполнения требований по обеспечению полной транзитивности при установлении предпочтений для различных признаков, что часто может не выдерживаться в групповых процедурах принятия решений. Учитывая эти недостатки, представляется, что в данном случае лучше использовать метод анализа иерархий [7], который позволяет действовать эффективно в слабо структурированных проблемах и объединять суждения, предположения и интуицию экспертов. Кроме того, его применение обеспечивает обсуждение противоречивых предложений и суждений группы экспертов, а также объяснение динамического взаимодействия между элементами исследуемой проблемы, способствуя логическому переходу от фокуса проблемы к целям, критериям и альтернативным решениям. Это даёт возможность учитывать вторую особен-

ность разработки технических решений, связанную с необходимостью преодоления существенной неполноты информации об анализируемых вариантах и использования достаточно большого множества качественных показателей при сравнительной оценке полученных технических решений.

В процессе построения конкретной иерархии для формирования технических предложений решается две задачи: составление списка качественных показателей и формирование их многоуровневой структуры. Установление иерархии качественных показателей во многом является интуитивным, хотя при выполнении этой процедуры используется ряд эвристических правил. Прежде всего, соблюдается правило конкретности, в соответствии с которым задача должна быть реальной, т.е. реализуемой в доступных организационно-технологических условиях. Формировать качественные показатели целесообразно путем перехода от уровня к уровню, двигаясь попеременно снизу вверх и сверху вниз, "придумывая" их методом "мозговой атаки". Наиболее эффективный прием "придумывания" показателей заключается в попарном анализе всех альтернатив и установлении свойств, по которым у них существует разница. Показатели, по которым у альтернатив (вариантов) нет различий, в иерархию не включаются.

Получение многоуровневой структуры показателей осуществляется тремя способами. Первый заключается в конкретизации (декомпозиции) заданного множества качественных показателей (для чего требуется иметь перечень неупорядоченных показателей и знать цели исследования). Второй предполагает синтез более общих качественных показателей из заданных частных. Третий состоит в упорядочивании предварительно заданного множества показателей на основе их попарного сравнения.

Опыт разработки иерархических структур качественных показателей для отдельных образцов ТС показал, что наиболее предпочтительными для решения данной задачи являются первые две схемы представления, поскольку в них более явно заложен иерархический принцип.

Таким образом, разработка новых инновационных технических решений будет состоять из двух этапов: прогнозирование совокупности технических решений, определяющих новый тип элемента, подсистемы и выбор более удачного для включения в морфологическую матрицу перспективного образца ТС. Первый этап основывается на функционально-структурном подходе, а второй – на использовании метода анализа иерархий (МАИ).

Общая схема разработки инновационных технических решений представлена на Рис.1. Прогнозирование развития элементной базы образца ТС можно свести к следующим трём основным моментам:

формирование задач развития образца, их декомпозиция для элементов, подсистем (блоки 1-3) и выделение в соответствии с этим к ним требований (блоки 4-5);

составление схем функциональной и структурной для элемента, подсистемы с последующим их анализом (блоки 6-8), выявление противоречий в функционально-структурной организации элемента (подсистемы), из-за которых он не удовлетворяет предъявленным требованиям (блок 9);

анализ условий, в которых проводится разработки инновационных ТР (блоки 10-13), организация творческого процесса, генерация технических идей, по формированию прогнозных технических решений на уровне изобретения (блоки 14-15).

Необходимо пояснить содержание работ наиболее важных блоков предлагаемой схемы. Прогноз изменений во взглядах на процессы с участием образца определяется на основе анализа возможных вариантов будущих ситуаций и характера взаимодействий в этих ситуациях, а прогноз изменений в комплексах разнородных образцов основывается на перспективах их развития и оценке существующего уровня элементной базы. Эти прогнозы имеют тесную взаимосвязь и требуют обширных исследований, которые связаны с задачами, плохо формализуемыми в математическом плане. Поэтому в данном случае можно использовать эвристическое прогнозирование, которое базируется на получении и специальной обработке прогнозных оценок по рассматриваемому вопро-

су путём систематизированного опроса высококвалифицированных специалистов.



Рисунок 1. Схема разработки технического решения

Оно применяется для уточнения задач развития образца и производится с использованием анкет. При таком подходе учитываются результаты прогноза характеристик, определяющих работу элемента (подсистемы) (блок 2), которые находятся с использованием корреляционно-регрессионных моделей, факторного анализа и др. Кроме того, придерживаясь принятой системы взглядов на качество образца, учитывают схему декомпозиции задач его развития.

Анализ устройства элемента (подсистемы) образца (блок 8), особенностей его работы, предусматривает знание принципа действия всего элемента (подсистемы) и его составляющих.

В соответствии с [8] при формировании функционально-структурного описания элемента, подсистемы (блоки 6-7) выполняются следующие работы:

выделяются основные и дополнительные функции;

проводится декомпозиция основных и дополнительных функций с целью формирования системы функций;

выделяется набор вещественно-энергетических составляющих, необходимых для формирования структуры элемента (подсистемы);

функции *i*-го уровня декомпозиции представляются набором функциональных составляющих;

проводится анализ связей между составляющими *i*-го уровня (соседними уровнями);

при необходимости строятся временные диаграммы активности составляющих *i*-го уровня.

Всё это проводится при общем анализе развития элементов-аналогов, формировании основного противоречия, рассмотрении частных противоречий, возникающих при декомпозиции основного и поиске ключевых противоречий - основных факторов сдерживания развития принципиальных схем элемента (подсистемы).

Заключительный момент прогнозирования развития принципиальной схемы элемента (подсистемы) характерен особенностями более детального анализа элементов-аналогов и проведения генерации технических идей по разрешению выявленных ключевых противоречий. При устранении обострившихся противоречий в функционально-структурной организации элемента (подсистемы) анализируется совокупность элементов (подсистем) аналогичного назначения и достигнутый уровень их создания. Исследуется возможность реализации образцов-аналогов, их принципов построения при разрешении противоречий в функционально-структурной организации прогнозируемой принципиальной схемы. Поэтому при более детальном анализе элементов-аналогов (анализ патентной информации (блок10)) проводится рассмотрение основных принципов технической реализации, которые в той или иной мере разрешают ключевые

противоречия, и выявление наиболее эффективной структуры (прототипа). Как правило, известные структуры не дают нужного эффекта при создании образца. Поэтому проводится генерация технических решений по устранению выявленных ключевых противоречий, которая определяется, прежде всего, путями разрешения противоречий в процессе изобретательского творчества. Основными из них являются использование диалектической концепции "многофункциональность-специализация" и разрешение спектра используемых форм движения материи [8].

Специалисты группы поиска технических решений (блоки 12-13) сознательно или бессознательно пользуются определёнными эвристическими приёмами (блок 11), соответствующими приведенным основным путям разрешения противоречий. Многолетняя практика изобретательской работы по развитию образцов любого назначения показала, что применительно к развитию элементов и подсистем какого либо образца ТС чаще всего используются следующие эвристические приёмы, базирующиеся на различных аспектах принципа многофункциональности: количественное изменение функциональной нагрузки (увеличение числа активных или пассивных элементов, многократное их использование); изменение структуры системы (изменение состава элементов, изменение связей и перераспределение функций элементов, изменение состава элементов и связей между ними).

Однако главным является второй путь разрешения противоречий, т.к. он в наибольшей мере соответствует закономерности направленности процесса развития элемента (подсистемы) образца. В [9, с. 303-314] сведены наиболее распространённые эвристические приёмы по второму пути разрешения противоречий.

Каждый эксперт при прогнозировании развития элемента (подсистемы) формирует индивидуальный фонд эвристических приёмов, при составлении которого предусматривается следующее: приоритет приёмов преобразования по аналогии; изучение и анализ истории конструктивной эволюции элемента (подсистемы) и соответствующего патентного фонда; включение приёмов, отража-

ющих субъективный стиль мышления специалиста, его личный опыт. Отбор приёмов целесообразно производить во время изучения и анализа истории конструктивной эволюции и патентного фонда указанных классов образцов.

Сформированные технические решения являются результатом прогнозирования принципиальных схем выбранного элемента (подсистемы) образца. Данный алгоритм важен для пополнения общего фонда их возможных схем исполнения, который и определяет общее количество КХ облика перспективного образца. Алгоритм составлен в результате длительного технического творчества по моделированию процессов развития и созданию новой элементной базы образцов ТС.

Следующим этапом разработки инновационных технических решений является выбор наиболее приемлемого технического решения для дальнейшего использования при формировании облика образца. В этом случае можно пользоваться определенной системой критериев, способствующих решению задачи выбора. В общем случае выбор нового технического решения имеет этапы, которые основаны, например, на известном методе анализа иерархий, могут использоваться и другие методы приведенные в [10].

Предлагаемая схема разработки инновационных технических решений с соответствующим методическим аппаратом сформирована на основе длительной практики разработки изобретений. В Табл.1 приведены результаты по разработке изобретений для ТС разного назначения, на них получены авторские свидетельства.

Таблица 1

Технические решения на уровне изобретения

Объект, в котором применяется ТР	Конкретизация объекта	Число ТР на уровне изобретения
конкретный образец	Техническая система 1	16
	Техническая система 2	8
в области электронно-вычислительной техники	Устройства по определению параметров движения	2
	Датчики, генераторы случайных чисел	8
	Вычислительные устройства для оценки качества (эффективности)	6
испытательные установки	-	2
1. Филюстин А.Е., Боев В.Д., Бочков А.П. и др. Датчик равномерно распределенных случайных чисел. А.С. №1381499, 1987. 2. Боев В.Д., Филюстин А.Е., Бочков А.П. и др. Датчик случайных чисел, распределенных по треугольному закону. А.С. № 1674116, 1991. ……		42

С принятием закона об изобретательстве на изобретения выдаются патенты, с учетом этого на основе предлагаемой схемы получены патенты [11-14]. Таким образом, подтверждается практическая значимость полученных результатов исследования по разработке инновационных ТР. Предлагаемый методический аппарат в наибольшей степени подходит для прогнозирования и выбора технических решений по элементной базе образца ТС и особенно эффективен на стадии исследования и обоснования разработки в силу того, что принятые технические решения существенно расширяют его морфологическое пространство, необходимое для формирования предпочтительных вариантов облика ТС.

Список литературы

1. Гмошинский В.Г. Инженерное прогнозирование. - М.: Энергоиздат, 1982.-208с.

2. Ерохина Л.С., Калугина К.В., Михайлов С.К. Методы прогнозирования развития конструкционных материалов. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1980.-256с.

3. Моисеева Н.К. Выбор технических решений при создании новых изделий. - М.: Машиностроение, 1980.-181с.

4. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988.-368с.

5. Саркисян С.А., Акопов П.Л., Мельникова Г.В. Научно-техническое прогнозирование и программно-целевое планирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1987.-304с.

6. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. - New York: McGraw-Hill, 1980.-287p.

7. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991.-224с.

8. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. - М.: Радио и связь, 1985.-320 с.

9. Автоматизация поискового конструирования. (Искусственный интеллект в машинном проектировании)/ А.И. Половинкин, Н.К. Бобров, Г.Я. Буш и др. - М.: Радио и связь, 1981.-344с.

10. Бочков А.П., Гасюк Д.П., Филюстин А.Е. Модели и методы управления развитием технических систем. – СПб.: Союз, 2003.-288с.

11. Генератор случайных чисел. / Филюстин А.Е., Кивалов А.Н., Бочков А.П. и др. патент на изобретение RUS 2106684.

12. Генератор случайных чисел. / Боев В.Д., Филюстин А.Е., Бочков А.П. и др. патент на изобретение RUS 2050586.

13. Боевой элемент кассетного снаряда тройного действия. / Филюстин А.Е., Гасюк Д.П., Бочков А.П. и др. патент на изобретение RUS 2192612.

14. Боевая часть типа «ударное ядро» боевого элемента точного прицеливания. / Филюстин А.Е., Бочков А.П., Анищенко В.Г. и др. патент на изобретение RUS 2084808.

Архитектурно-планировочное формирование усадьбы С.А.Сунцова в г. Вятке

Брызгалова К.В.
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail:kv_bryzgalova@vyatsu.ru

Аннотация: Настоящее исследование посвящено актуальным вопросам сохранения архитектурных ансамблей в условиях активного преобразования исторических городов. В статье рассматриваются история возникновения и основные этапы архитектурно-планировочного формирования купеческой усадьбы С.А.Сунцовав г.Вятке, выявляются объемно-планировочные и архитектурно-композиционные особенности зданий усадьбы. На основе архивных и историко-градостроительных изысканий, включающих натурное обследование, фотофиксацию исторической застройки усадьбы и прилегающей территории, изучение архивных документов и чертежей, старинных фотографий, определяется значимость сохранения архитектурного ансамбля в исторической среде старого города. Ансамбль усадьбы относится к опорным элементам застройки города Вятки (Кирова), имеет существенную историко-градостроительную и архитектурно-художественную ценность. Сохранение и реконструкция усадьбы в исторической части города являются необходимым и единственно правильным решением в современной градостроительной практике.

Ключевые слова: историко-архитектурное наследие, ансамбль.

Актуальность исследования по истории архитектуры особенно очевидна в настоящее время в условиях активного преобразования исторических городов. Многочисленные проблемы, возникающие при этом, диктуют необходимость раскрытия архитектурной специфики сложившихся архитектурных ансамблей и отдельных зданий. Изучение историко-архитектурного наследия конкретного региона, г.Вятки (Кирова), позволят выявить местные особенности застройки и прогнозировать перспективы современной градостроительной практики.

Целью данной статьи является сохранение и популяризация архитектурных ансамблей в исторической среде старого города. В соответствии с поставленной целью в статье решаются следующие задачи: изучить историю возникновения и выявить этапы архитектурно-планировочного формирования усадьбы С.А.Сунцова; дать архитектурную характеристику зданиям усадьбы; определить значимость сохранения исторической усадьбы в центре современного

города Кирова. Методика исследования основана на архивно-исторических и историко-градостроительных изысканиях, включающих натурное обследование и фотофиксацию исторической застройки усадьбы и прилегающей территории, изучение архивных документов и чертежей, старинных фотографий.

Архитектурный ансамбль городской купеческой усадьбы — домовладения вятского купца С.А.Сунцова находится в историческом квартале центральной части города Кирова, ограниченном улицами Спасской, Свободы, Герцена и Володарского. Участок С.А.Сунцова исторически формировал северо-восточную часть территории квартала. Восточные фасады главного дома и служебного корпуса поставлены по красной линии улицы Свободы (бывшей Царево-Константиновской), историческое название которой происходило от возведенной кварталом выше Царево-Константиновской церкви. Ансамбль представлен четырьмя зданиями, сохранившимися до настоящего времени: каменным двухэтажным (главным) домом усадьбы, занимающим ответственное угловое положение на пересечении улиц Свободы и Спасской, полукаменным корпусом служб по ул. Свободы, а также каменными двухэтажным служебным корпусом и одноэтажной хозяйственной постройкой в глубине усадебной территории.К западному фасаду главного углового дома усадьбы по ул. Спасской примыкают остатки каменных ворот с прикалитками.

Вятский купец Степан Андреевич Сунцов (1809-1867) – один из представителей известной династии местных предпринимателей. История фамилии Сунцовых известна со второй половины XVIII века. На протяжении всего четырех поколений выходцы из крестьянского рода Сунцовых поднялись сначала в мещане, затем в купечество и далее — до потомственного почетного гражданства, стали богатейшими людьми на Вятке [1].

Ко времени составления проекта, «место» С.А. Сунцова занимало ответственный угловой участок в центральном квартале города на пересечении улиц Спасской и Царево-Константиновской (ныне – Свободы), «мерою по первой 23, а последней 28 сажен» (ок.50 х ок.60 м). К началу строительства, «в смежности» с его усадьбой по Спасской улице располагалось «место»мещанки Анны

Морозовой, владельцем усадьбы по ул. Царёво-Константиновской являлся мещанин Фёдор Коробицын [2].

Главным высотным ориентиром для активно застраиваемых кварталов стала Царево-Константиновская церковь, давшая название улице. Первая деревянная церковь во имя равноапостольных великих царей Константина и Елены была возведена здесь в 1688 году. В 1699 году на месте сгоревшей деревянной была освящена каменная пятиглавая церковь, которая многократно перестраивалась. В 1778 года обновлённый холодный храм освятили в честь уцелевшей в пожаре иконы «Знамения Пресвятой Богородицы» и с этого времени церковь официально стала называться Знаменской. В 1816-1818 гг. трапезная и колокольня были переложены ещё раз. В 1935 году колокольня и восьмерики основного объема были разобраны. С 2000 года церковь восстанавливается. Таким образом, Царево-Константиновская (Знаменская) церковь стала архитектурно-градостроительной доминантой исторической части города. Колокольня церкви просматривалась из окон главного дома и служебного корпуса рассматриваемой усадьбы С.А.Сунцова [3, с.60,61].

Проект усадебных построек С.А.Сунцова был выполнен в 1842 году помощником губернского архитектора Иваном Тимофеевичем Соловкиным - выпускником Императорской Академии Художеств, одним из ведущих зодчих Вятской губернии первой половины XIX века. Начав свою службу в Вятке в 1836 году, И.Т.Соловкин дослужился до должности Вятского губернского архитектора в 1852-1860 гг. Период его деятельности совпал с массовым строительством обывательских и купеческих жилых зданий в Вятке и уездных городах Вятской губернии [Курочкин,с.65].

По первоначальному плану главной постройкой рассматриваемой усадьбы был каменный двухэтажный дом длиною 7,5 сажен (ок.16 м) и шириною 6 сажен (ок.13 м), своим объемом закрепляющий пересечение улиц Спасской и Царево-Константиновской. Также проектом предполагалось возведение каменного одноэтажного флигеля по красной линии ул.Спасской, двух протяженных корпусов одноэтажных деревянных служб и банина внутреннем дворе усадьбы.

Служебные корпуса должны были располагаться симметрично на равном удалении друг от друга. В одном из корпусов служб, протяженным фасадом в десять световых осей выходившим на красную линию Царево-Константиновской улицы, и следует видеть интересующую нас постройку [2].

В 1843 году проект был доработан под тем же авторством. В новом проекте увеличивались размеры главного дома усадьбы и флигеля с изменением плана расположения комнат, а служебные и хозяйственные постройки остались неизменными.

Деревянные службы, спроектированные И.Т.Соловкиным на основе одного из «образцовых» (типовых) проектов начала XIX века, являлись достаточно традиционным для своего периода. Характерные черты русского классицизма проявились как в их общей композиции, так и в его отдельных архитектурных деталях. Весьма скромная архитектурная обработка протяженного уличного фасада акцентировалась подоконным поясом. Прямоугольные окна, часто поставленные для здания подобного назначения, не имели обрамления. В целом прямоугольный в плане объем корпуса служб под вальмовой кровлей отличался простой, но выразительной композицией симметричного главного фасада [Ожегов,с.94].

На отрезке ул. Свободы между служебными корпусами и главным домом предполагался въезд во двор, оформленный каменными воротами с прикалитками по обеим сторонам. Аналогичный трехчастный въезд, сохранившийся до настоящего времени, предусматривался со стороны Спасской улицы, между главным домом и флигелем. Такое оформление уличных фасадов в полной мере соответствовало традиции возведения русской усадьбы.

Определенная схематичность, заданная проектом, привела к некоторым изменениям в натуре. Проектом предполагалось поставить здание служб, выходящее фасадом на ул.Свободы на высоком кирпичном цоколе не учитывая перепада высот на этом участке. Реализация проекта на рельефе позволила организовать каменный оштукатуренный полуэтаж. Второй двухэтажный корпус

служб и одноэтажная хозяйственная постройка в глубине усадебной территории были выполнены каменными и оштукатуренными.

В разные годы главное здание усадьбы С.А.Сунцова занимали различные организации, проживали известные вятские деятели. Так с 1848 до 1855 гг. на втором этаже дома размещалась городская публичная библиотека - «главный очаг культуры» в Вятке. С 1863 по 1896 гг. в этом доме жил известный вятский деятель, писатель, издатель, председатель губернской земской управы Авксентий Петрович Батуев [3,с.92,93].

На плане губернского города Вятки конца XIX века обозначены опорные элементы застройки города - каменные дома и храмы, среди которых есть и главный угловой дом усадьбы С.А.Сунцова и Царево-Константиновская церковь в расположенном выше по улице квартале, что подтверждает историческую значимость всей усадьбы.

На поквартальном «Плане существующего расположения селитебной части и городских земель г.Вятки», составленной на основании съемки, произведенной в 1926-1929 гг. картоиздательством НКВД в 65 квартале обозначена территория усадьбы С.А.Сунцова с главным каменным угловым домом, двумя корпусами служб и хозяйственной постройкой между ними. Также обозначены каменные ворота с прикалитками по ул. Спасской. Северо-западный угол усадьбы, по проекту 1842г. занимаемый флигелем, отделен пунктирной линией и занят хозяйственной постройкой и выгребами соседней усадьбы по ул. Спасской. Этот подробный план-съемка с натуры дает основание к более точному определению границ территории исследуемой усадьбы [6].

В XX веке все здания усадьбы стали жилыми, сохраняя это назначение и в советский период времени.

В настоящее время территория бывшей усадьбы С.А.Сунцова представляет собой достаточно обширный близкий к квадрату участок. Его восточная граница обозначена красной линией ул.Свободы, фасадами домов №73 и №73а, объединенных деревянным ограждением с воротами и калиткой для обеспечивая въезда на дворовую территорию дома №73а. Южная граница участка обо-

значена забором соседнего участка при доме №75 по ул. Свободы. Часть забора от ул.Свободы выполнена из кирпича, часть - из металлического профнастила. Западная граница участка обозначена западным фасадом дома №14а по ул. Спасской (бывшим каменным корпусом служб). Северная граница участка обозначена красной линией ул.Спасской, северным фасадом углового дома (ул. Спасская,14/ ул. Свободы, 73) и остатками полуразрушенных каменных ворот с прикалитками. Территория бывшей усадьбы в настоящее время имеет запущенное состояние, благоустройство отсутствует. Северо-западный угол усадьбы С.А.Сунцова (место бывшего флигеля усадьбы) занят частью диссонирующей постройки - 4-этажного многоквартирного дома, построенного в 1950-х гг. (ул. Спасская,16). С востока историческая территория усадьбы была усечена земельным участком многоквартирного жилого дома (ул.Свободы, 75). Рельеф исследуемой территории характеризуется равномерным значительным понижением к югу.

Историко-градостроительная структура прилегающей к исследуемому памятнику территории характеризуется различной степенью сохранности. Здания располагаются вдоль уличного фронта с разрывами. Исторические красные линии сохранены. В зоне видимости усадьбы С.А.Сунцова находятся и другие объекты культурного наследия, в большом количестве, что усиливает историко-градостроительную и архитектурно-художественную ценность прилегающей к памятнику территории. Дома №12а («Дом Машковцева») и №41а («Дом Жмакиной») по ул. Спасской отнесены к объектам культурного наследия федерального значения; дома №12б («Здание бывшей мужской гимназии»), №20(«Дом губернатора»),№23(«Банк Веретенникова»), №31 («Дом в котором жил М.И.Кошкин») по ул. Спасской и дом №76 («Школа») по ул. Свободы – объекты регионального значения; дом №37 («Дом П.П.Москвитинова») по ул. Спасской и дом №77а«Дом С.О.Ильинского» по ул.Свободы – выявленные объекты.

Улица Спасская представлена 2-3 этажными каменными зданиями, типологически относящимися к традиционной жилой исторической застройке ВяткиXIX – начала XX веков. Отрезок улицы Спасской от ул.Володарского до

ул.Ленина представляет собой достаточно целостный фрагмент историко-градостроительной среды, формирующийся классическими деревянными и полукаменными зданиями, а также каменными зданиями с кирпичным декором в духе эклектики. Застройка ул.Свободы акцентирована каменной Царево-Константиновской церковью, выходящей колокольней на красную линию улицы. Древняя церковь играет роль локальной архитектурной и градостроительной доминанты на прилегающей к исследуемому памятнику территории. Ниже служебного корпуса усадьбы С.А.Сунцова по ул. Свободы обращает на себя внимание здание школы (ул.Свободы,76)архитектора И.А.Чарушина, обладающее насыщенной пластикой кирпичного фасадного декора. Современное состояние историко-градостроительной среды ул. Свободы можно охарактеризовать как деградирующее. Из-за отдельных утрат объектов исторической среды фронт застройки ул. Свободы частично нарушен. Так, на участке четной стороны ул. Свободы между угловым домом (ул.Спасская,12) и зданием школы (ул. Свободы,76) наблюдается разрыв, на котором по историко-опорному плану города, выполненного в 2013 году еще значится протяженное здание под №335 «Каменные службы усадьбы И.С.Машковцева», как объект представляющий собой историко-культурную ценность (здание снесено в 2015 г.). Постройки советского периода, превышающие высотные параметры исторического окружения, являются диссонирующими в гармоничной исторической среде исследуемого памятника, не соответствуя ей масштабными и стилистическими характеристиками (дома №16 и 29а по ул.Спасской, №67,72 и 75 по ул.Свободы).

Ансамбль городской купеческой усадьбы С.А.Сунцова относится к опорным элементам застройки города Вятки (Кирова), имеет существенную историко-градостроительную и архитектурно-художественную ценность, что подтверждается историей возникновения и всеми этапами архитектурно-планировочного формирования усадьбы. Сохранение и реконструкция усадьбы С.А.Сунцова в исторической среде старого города – является необходимым и единственно правильным решением в современной градостроительной практике.

Список литературы

1. Сунцов М.В. Из истории вятского рода Сунцовых // Герценка: Вятские записки. Вып. 15. Киров.: Лобань, 2009. 279 с. URL: http://www.herzenlib.ru/almanac/number/index.php?NUMBER=number15 (дата обращения - 12.02.2018).

2. ГАКО Ф.619. Оп.20. Д.912. Л.1-4. Проект усадебных построек С.А.Сунцова. Помощник Вятского Губернского Архитектора Иван Соловкин. 19 Сентября 1842 года.

3. Вятка. Памятники и памятные места / сост. М. Н. Бойчук. Киров: ГИПП «Вятка», 2002. 256с.

4. Курочкин М.В. Творческое наследие вятского губернского архитектора И.Т. Соловкина на территории Удмуртии //Вестник КИГИТ: Научный сборник: Серия 9. Дизайн и архитектурно-средовое проектирование. Ижевск, 2015. № 9 (62). С.64-71.

5. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII – XIX веках. М.: Стройиздат, 1984. 168 с.

6. ГАКО Ф.Р-3309. Оп.2.Д.38,39,40. План существующего расположения селитебной части и городских земель г.Вятки. Составлен на основании съемки, произведенной в 1926-1929гг. картоиздательством НКВД. Квартал 65.

Михайло-Архангельская надвратная церковь Крестовоздвиженского мужского монастыря г. Слободского

Брызгалова К.В.(а), Некрасова А.А.(б), Пахтусова Е.Ю.(в)
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства (а)
студент 3 курса ФСА (б), студент 3 курса ФСА (в)
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация (а,б,в)
E-mail:kv_bryzgalova@vyatsu.ru (а), ketpkatya@gmail.com (б,в)

Аннотация: В статье рассматриваются история возникновения и архитектурно-планировочное формирование Михайло-Архангельской надвратной церкви Крестовоздвиженского мужского монастыря в г. Слободском - уникального памятника деревянного зодчества XVII века. Выявляются конструктивные особенности здания, декоративное убранство интерьеров с редкостной коллекцией деревянных фигур, созданной в XVIII веке мастерами из Великого Устюга, Тотьмы и Слободского. На основе архивных и историко-градостроительных изысканий, включающих натурное обследование, фотофиксацию, изучение архивных документов и чертежей, старинных фотографий, определяется значимость сохранения архитектурного памятника в особенной среде старого города Слободского – одного из исторических центров Кировской области. В настоящее время церковь занимает почетное место в самом центре города, где вместе с другими памятниками составляет прекрасный архитектурный ансамбль главной городской площади.

Ключевые слова: История архитектуры, деревянное зодчество, памятник.

Город Слободской – один из исторических центров Кировской области, раскинувшийся вдоль берега реки Вятки. Этот небольшой город «Вятский суздаль» имеет огромное богатство - на его территории находится множество уникальных памятников архитектуры и градостроительства. В каждом из них заключена своя история, свой долгий жизненный путь, который они преодолевали на протяжении нескольких столетий. Одним из таких удивительных сооружений является деревянная Михайло-Архангельская церковь- настоящая жемчужина вятского зодчества.

Все строительные работы по возведению церкви выполняли вятские православные мастера - плотники, ловко управляющиеся с острым топором. Перед началом работ нужно было выполнить важный завет: поститься и молиться, вымыться в бане, одеть новую рубаху, а затем можно начинать творить. Сло-

божане с пониманием относились к задуманному делу: приглашали умельцев в гости, щедро их угощали.

Так была возведена и проездная крепостная башня с надвратной церковью во имя Святого Архистратига Архангела Михаила в 1610 году на территории слободского мужского монастыря. Крестовоздвиженский монастырь – северный форпост г. Слободского. Поначалу он был деревянный и загородный. Обосновался на мысу, на высоком берегу реки Вятки и жил своей жизнью. Город (кремль – посад – торг), который находился южнее, со временем стал развиваться к северу, а навстречу ему начала расти монастырская слободка. Постепенно они соединились, и город вобрал в себя монастырь. На территории монастыря было пять церквей: деревянная надвратная Михайло-Архангельская, одна из двух каменных церквей пятиглавая Введенская (1698) и главный собор Крестовоздвиженский с колокольней (1761). Иконостас в нём расписывал ссыльный польский художник Андриолли. Напротив собора располагался настоятельский корпус с домовой церковью во имя всех Святых. На одной линии с ним - второй корпус, братский архитектора Ф. М. Рослякова. В Слободском Крестовоздвиженском монастыре служил архиепископ Вятский и Слободской Аполлос. Здесь же он закончил свой земной путь (1885) и был погребён в пещерной усыпальнице Троицкой церкви монастыря. В настоящее время на территории бывшего монастыря разместилось училище меховщиков. Со стороны города сохранились главные Святые ворота монастыря, дивной красоты металлические кованые полотна которых являются даром от владельца Белохолуницкого завода [Безверхова, с.174-182].

Михайло-Архангельская надвратная церковь была построена Святым преподобным Трифоном Вятским Чудотворцем и является древнейшим памятником оборонного зодчества сохранившимся в нашей стране. Первоначально данное сооружение выполняло роль дозорной крепости и являлось местом для проведения богослужений [2]. Через большие парадные ворота можно было пройти внутрь монастыря, а через бойницы в стенах – вести атаку на врага. Фасад надвратной церкви был обращен в сторону переправы через реку Вятку.

Конструкция церкви представляет особый интерес. Ее глухие толстостенные бревна крепились без единого гвоздя, кровля была устроена таким образом, чтобы не допустить проникновения влаги и гниения деревянных элементов. Все ее части крепились без помощи железа, которое во время возведения церкви стоило дорого. Так же стоит отметить, что здание построено с учетом естественного проветривания стен. Строение имеет восьми скатную кровлю, а на его консольно выпущенных бревнах устроены сени, для ограждения которых предусмотрена более простая каркасная конструкция. Западный фасад церкви напоминает древнерусский терем. Часовня лаконично завершается небольшим луковичным куполом, увенчанным деревянным крестом. Многие путники отмечали, что внутри церковь была наполнена ни с чем не сравнимым свежим запахом дерева, который сохранялся на протяжении долгих лет. Летом здесь многие спасались от знойной жары, наслаждаясь прохладой, а зимой укрывались от сильных метелей [3].

Церковь покоряла посетителя своим убранством. Вокруг были расположены целительные иконы, старинные книги, золотое и серебряное рукодельное шитье, скульптуры Святых Иоанна Богослова и Святой Марии Критской, а под потолком как бы парили деревянные кудрявые ангелочки, державшие в руках православный крест. Уникальная коллекция деревянных фигур, украшающих церковь, была создана в XVIII веке мастерами резьбы по дереву из Великого Устюга и Тотьмы. Участвовал в их создании и слободской умелец Яков Григорьев-Орлов. В иконостасе особо примечательна храмовая икона, изображающая Архангела Михаила с крыльями и венцом на голове, сидящем на крылатом коне[4].

В начале XX века проездная крепостная башня приобрела иной вид: крышу и главу покрыли железом, послали новый пол, рубленные стены покрасили и зашили тёсом, пристроили паперть с двумя крыльцами. Появились новые декорированные элементы: округлые окошки, металлические решетки. После 1917 года церковь приспособили под складирование церковного имущества, в связи с чем окошки со всех сторон наглухо забили досками. Именно в таком

облике церковь застал столичный архитектор Борис Васильевич Гнедовский, который назвал ее самым ранним деревянным сооружением, сохранившимся в Советском Союзе. Он организовал реставрационно–восстановительные работы в 1973 году, результатом которых явилась международная выставка «Русская деревянная пластика от древнейших времён до наших дней» в Париже, куда и отправился наш древний памятник архитектуры. Чтобы перевезти сооружение его разобрали по бревнышку и со всем внутренним убранством направили в Москву на тридцати грузовиках, откуда на пароме она уплыла в конечный пункт назначения, где ее установили вблизи Елисейских Полей, неподалеку от главного входа на выставку на небольшом зеленом островке, поросшим вековыми вязами. Образец высокого мастерства вятских зодчих в течение первых дней работы выставки вызывал огромный интерес парижан. После возвращения на родную землю в Слободской церковь «парижанку» разместили в центре города[2].

В настоящее время церковь занимает почетное место в самом центре города, где вместе с другими памятниками составляет прекрасный архитектурный ансамбль главной городской площади. Михайло-Архангельская церковь вошла в список семи чудес Вятки, который составили по результатам опроса читателей «Вятского края». Как оказалось, наша «парижанка» построена более чем на сто лет раньше знаменитых Кижей. Несомненно, такие памятники истории и архитектуры нужно беречь, это наше сокровище. На сегодняшний день деревянная церковь стала филиалом Слободского краеведческого музея. Летом здесь разворачивается экспозиция по древнерусской живописи и скульптуре. Истинным украшением выставки являются 19 деревянных скульптур [4]. Еще одну достопримечательность церкви представляют «сухие свечи», наружная поверхность которых покрыта полихромной темперной росписью: оливковые, черные, красные полосы на белом фоне образуют живописные зигзаги, чередуясь с конусовидным орнаментом. Кроме того, в убранстве церкви размещаются два кресла с богатой барочной резьбой и многоцветной росписью, которые были выполнены в XVIII веке.

Проездная крепостная башня с надвратной церковью во имя Святого Архистратига Архангела Михаила - это чудом дошедший до нас памятник деревянной архитектуры, проделавший огромный жизненный путь. Трудно представить, что под имеющейся обшивкой и современной железной кровлей во всей своей красе скрывается уникальное величественное сооружение начала XVII века.

Список литературы

1. Безверхова Л.Б. Архитектурный студенческий центр / Вятка [Киров]: Буквица, 2011. 248 с.
2. Мокереева Н. Она была в Париже // Слободские куранты от 21.02.2013.
3. Долматова Т. Слободская «парижанка» // Слободские куранты от 08.04.2004.
4. Фофанова Н. Святость, воплощенная в дереве // Слободские куранты от 08.07.2008.

Архитектурно-планировочное решение и история строительства благотворительных учреждений г.Вятки

Брызгалова К.В.(а), Огаркова Д.А.(б), Пыркин А.А. (в)
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства (а)
студент 3 курса ФСА (б), студент 3 курса ФСА (в)
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация (а,б,в)
E-mail:kv_bryzgalova@vyatsu.ru (а), p.max9708@yandex.ru (б,в)

Аннотация: В статье рассматриваются истории строительства, архитектурно-композиционные и объемно-планировочные решения двух благотворительных учреждений в городе Вятка, построенных выдающимся архитектором Иваном Аполлоновичем Чарушиным на рубеже XIX и XXвеков, когда христианское начало гражданской архитектуры России выразилось в невиданном размахе строительства гражданских зданий – просветительных, больнично-благотворительных учреждений, призванных к выполнению великой христианской заповеди – деятельному выражению любви к ближнему:

Дома попечительства о бедных им. П.П.Клобукова на перекрестке ул. Владимирской и Морозовской и Епархиальной богадельни на ул. Царево-Константиновской. Здание Епархиальной богадельни с домовой церковью, претерпев множество функциональных и конструктивных преобразований, сохранилось до наших дней и стало еще одной актуальной темой концептуального проекта реконструкции Архитектурного студенческого центра ВятГУ.

Ключевые слова: попечительство, богадельня, архитектурная композиция, архитектор И.А.Чарушин.

На рубеже XIX-XX веков христианское начало гражданской архитектуры России выразилось в невиданном размахе строительства гражданских зданий – просветительных, больнично-благотворительных учреждений, призванных к выполнению великой христианской заповеди – деятельному выражению любви к ближнему. Гражданская архитектура приняла на себя функции, в средние века бывшие достоянием церкви, храмов, монастырей [Кириченко, с.146]. Конкретным воплощением этого общероссийского явления стало строительство в Вятке благотворительных учреждений, в которых, по традиции, именно храм имел основополагающее и первостепенное значение. Подобное функциональное сочетание в благотворительных учреждениях всей страны стало характерным отражением христианского идеала и общественной морали своего времени.

К 1 января 1901 года в городе Вятка в ведении городского попечительства о бедных состояли три отдельных богадельни. Первая-учрежденная в 1831 году в доме, пожертвованном для помещения богадельни, купцом Иваном Васильевичем Ермохиным. Вторая - женская, учрежденная в 1884 году в память священного коронования Их Императорских Величеств в доме, пожертвованном, женой надворного советника Марией Егоровной Соловкиной. Третья - общественная сословная богадельня, учрежденная в 1864 году в доме, пожертвованном Яковом Алексеевичем Прозоровым.

В 1900 года Вятская городская дума постановила перевести всех призреваемых в дом купца Павла Петровича Клобукова, подаренного им для городских благотворительных учреждений [Косарев, с.15].

Возведение дома необычной архитектуры, предназначенного для благотворительных учреждений началось в конце XIX века. Место для строительства было отведено на северной тогда окраине города, на угловом участке к юго-востоку от перекрёстка улиц Владимирской и Морозовской (ул.К.Маркса/Р.Люксембург). Проект архитектора И.А. Чарушина представлял, задуманный в строгих архитектурных формах, единый объём - трёхэтажное кирпичное угловое здание, вместившее обширную домовую церковь и 50 просторных комнат при ней. Торжественная закладка Дома для благотворительных учреждений состоялась 8 июля 1897 года. Через два года строительство было завершено. Ещё два года продолжалось благоустройство домовой церкви. К началу 1901 года храм был готов к освящению.

Проект данного здания выполнен И.А. Чарушиным, представлял собой трехэтажное здание на 50 комнат с церковью. Г-образное в плане кирпичное здание первоначально имело поэтажные системы из центральных коридоров с рядами небольших комнатпо обе стороны. Крестообразная в плане церковь с полукруглой апсидой размещалась на уровне второго этажа в восточном крыле дома. Храм был двухсветным, с деревянным сводом, завершался крупным шатром с одноглавием. Колокольня отнесена на внешний угол здания. Ее высокий

восьмигранный шатер на круглом основании был главным акцентом в композиции постройки. Фасады выполнены в древнерусском стиле.

Особые страницы истории Дома попечительства о бедных связаны с именем святого праведного Иоанна Кронштадского. 5 февраля 1901 года совершилось освящение домовой церкви во имя Казанской иконы Божией Матери епископом Вятским и Слободским Никоном (Софийским) при участии о. Иоанна Кронштадского. 17 июня 1904 года всея Руси чудотворец во второй раз почтил своим присутствием сие учреждение и совершил божественную литургию в домовой церкви во имя Казанской иконы Божией Матери. Фотография донесла до нас запечатлённое историческое свидетельство - выход о. Иоанна из церкви после общественного богослужения. Устроительство церкви в честь Казанской иконы Божией Матери с приютом для бедных под её сенью, П.П.Клабуков считал главным делом своей жизни. Он скончался в 1905 году. Дело отца продолжил сын. В 1914-1915 гг. уже Петр Павлович Клабуков стоял во главе Городского попечительства о бедных имени своего отца. В связи с военным временем в доме произошли существенные перемены. Он принял под одной крышей несколько организаций для страждущих: Городское попечительство о бедных; Дом Вятского городского благотворительного учреждения; Детский приют; Госпиталь №1 Вятского комитета Всероссийского союза городов для больных и раненых воинов [Безверхова, с.101-104].

Епархиальная богадельня была построена в 1901 году тоже по проекту архитектора И.А.Чарушина на одной из центральных улиц г.Вятки Царево-Константиновской (ныне ул.Свободы). Приказ на постройку был подписан Вятским губернским правлением в 1899 году. Богадельня вмещала в себя два отделения: для призрения убогих и престарелых лиц духовного звания и их семей и отделение сирот, вмещала в себя 30 человек.

Здание выполнено в лучших традициях кирпичного стиля. Строение трехэтажное, симметричное по композиции, с двумя ризалитами по краям. На первом этаже видна четкая разбивка на русты. На втором и третьем этаже в простенках между окнами и в подоконном пространстве располагаются декора-

тивные ширинки. На ризалитах по третьему этажу расположены оконные проемы с арочными перемычками. Качество кирпичной кладки и деталей архитектурной отделки выполнены с большим мастерством. В центральной части здания на уровне третьего этажа располагается световой фонарь с круглыми окнами, что является характерной особенностью объемно-планировочных решений объектов архитектора И.А.Чарушина. На северной части здания располагается эркер с внутренней лестницей, который плавно переходит в колокольню. Восьмигранная звонница домовой церкви декорирована арочными проемами, украшенными кокошниками и декоративными ширинками. Шатровая крыша с кокошниками венчается куполом с крестом на барабане. Именно колокольня является главным акцентом композиции здания и высотным ориентиром этой части города.

В плане здание имеет П-образную форму, с системой горизонтальных коммуникаций (коридоров) вдоль которых располагались небольшие жилые комнаты. Вертикальную связь в здании выполняли три лестницы. Основная двухмаршевая взвитая дугообразная лестница со ступенями на клинообразной площадчатой ступени, расположена в эркере и соединяет три этажа. В подвальном этаже размещалась калориферная система отопления с воздуховодами, проходящими в стенах. В левом крыле на втором этаже находился храм, освещенный 23 сентября 1901 года во имя иконы Божией Матери «Всех Скорбящих Радость».

До революции в этом здании работала типография «Вятские епархиальные ведомости», а во дворе – свечной завод. Уже в 1917 году из типографии вышел первый номер газеты «Вятская правда». После революции в здании размещались: штаб военной части, госпиталь и складские помещения, а с1924 года - средняя школа. В 1930-е годы домовая церковь была обезглавлена и закрыта, в храме оборудовали актовый зал со сценой. С 1983 год и по настоящее время в здании бывшей Епархиальной богадельни с домовым храмом располагается Кировский педагогический колледж, преподавателями которого в 2002 году

под слоем побелки актового зала (бывшей церкви) была обретена икона Святой Троицы [Балыбердин, с.40].

Здание Епархиальной богадельни с домовой церковью - один из шедевров вятского архитектора Ивана Аполлоновича Чарушина пережило насыщенную историю, но претерпев множество функциональных преобразований не утратило свою историческую ценность.

Концептуальный проект реконструкции Дома попечительства о бедных в Вятке был выполнен в рамках дипломного проектирования 2011 года на кафедре архитектуры Факультета Строительства и Архитектуры (ФСА) Вятского государственного университета (ВятГУ).

Концептуальный проект реконструкции Епархиальной богадельни в г.Вятки еще предстоит сделать. Участниками Архитектурного студенческого центра (АСЦ) проведены необходимые историко-библиографические изыскания, изучены графические и фотографические материалы, осуществлены предварительные обмеры здания. На основе полученных данных выполнена реконструкция поэтажных планов, разрезов, фасадов здания на период начала XX века.

Список литературы

1. Кириченко Е.И. Основные типы общественных зданий в городе // Русское градостроительное искусство. М.: Прогресс-Традиция, 2003. 560с.
2. Косарев Н.Н. Отчет Вятского Городского попечительства о бедных за 1901 год. Вятка, 1903.
3. Безверхова Л.Б. Архитектурные этюды: Сборник статей. Киров: Буквица, 2017.176 с.
4. Балыбердин А. Загадки вятских улиц. Вятка, 2013. – 175 с.

Обоснование способов улучшения моторных свойств дизельных топлив для применения в особых условиях эксплуатации

Бурков Г. С.[a]
Магистрант кафедры технологии машиностроения[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: Burkov4774@yandex.ru[a]

Аннотация: В статье рассматривается возможность совершенствования моторных свойств дизельных топлив в рамках применения на технике, эксплуатирующейся в особых условиях. Актуальность данной темы обусловлена существующим спросом на сорта горючего с низкотемпературными свойствами для транспорта, снабженного дизельными двигателями. Целью данного исследования является обоснование возможности совершенствования свойств топлива и поиск наиболее эффективного с экономической и технической точки зрения способа воздействия на него. Были описаны требования к топливам, формируемые условиями окружающей среды свойственной территории РФ. Представлен обзор существующих видов дизельных топлив. Проведен анализ путей совершенствования наиболее важных характеристик, влияющих на работу техники. В ходе исследования было выяснено, что наибольший эффект на свойства топлива оказывают присадки различных видов, из которых наиболее рентабельными являются депрессоры.

Ключевые слова: эксплуатационные свойства, дизельное топливо, низкотемпературные свойства.

С момента своего появления дизельные двигатели нашли широкое применение в автомобильной промышленности. Благодаря своим достоинствам относительно бензиновых двигателей, а именно - значительной экономичности, обусловленной сравнительно низким расходом, высокому моменту, создаваемому при низких оборотах, а также более выгодному КПД теплового цикла, дизельные двигатели пользуются популярностью при установке на различные виды транспорта. Чаще всего они применяются на общественном авто- и железнодорожном транспорте (локомотивы), грузовом, включая специальную технику, применяемую для строительных, сельскохозяйственных и других видов работ. На территории РФ проблемы эксплуатации дизельных двигателей связаны в первую очередь с высоким перепадом температуры в течение сезона и преобладанием значительных отрицательных значений в зимний период. Отрицательное воздействие оказывает и низкое качество применяемого топлива. В

связи с этим актуальной является задача совершенствования эксплуатационных характеристик дизельных топлив на основе современных способов (добавление присадок, дополнительная гидродинамическая, электродинамическая, ультразвуковая обработка).

Требования к дизельному топливу основываются, прежде всего, на особенностях работы самого двигателя. Процесс работы дизельного двигателя характеризуется высокой степенью сжатия, достигаемой в ходе рабочего цикла (до 18) [Кузнецов, с. 54]. Вследствие этого важную роль играют такие показатели как распыливание, смесеобразование, малая предрасположенность к закоксовыванию элементов двигателя, а также низкая химическая активность по отношению к материалу топливной системы. В экстремальных условиях эксплуатации возникает ряд дополнительных проблем, связанных с низкотемпературными свойствами горючего. С точки зрения химического состава дизельное топливо представляет собой смесь нафтеновых, парафиновых и ароматических углеводородов, их производных. Повышенное содержание парафинов при пониженных температурах (даже при незначительных положительных) приводит к кристаллизации этих углеводородов и впоследствии засорению топливопроводов, форсунок, фильтров. Для решения этой проблемы необходимо осуществлять подогрев топлива, либо качественно менять его состав. Другой существенной причиной частых поломок и отказов топливной системы и двигателя является содержание воды и механических примесей в топливе. Большинство механических примесей имеют большую твердость и вызывают повышенный износ деталей двигателя. Особенно вредны примеси для топливных насосов высокого давления, насосов-форсунок, форсунок [Кузнецов, с. 61]. Вода, содержащаяся в горючем, нарушает нормальный процесс работы двигателя, а в зимний период, кристаллизуясь, затрудняет движение смеси по топливной системе. Согласно ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное. Технические условия» устанавливается требование по отсутствию воды в любой марке топлива, также регламентируется кинематическая вязкость (для зимних сортов горючего от 1,8 до 5,0 сСт, а для арктических от 1,4 до 4,0 сСт). Для сравнительного анализа

различных сортов дизельного топлива применяют обычно несколько показателей, таких как: температура помутнения, температура застывания и предельная температура фильтрации. Данные показатели подлежат контролю на соответствие ГОСТ 5066-91 (ИСО 3013-74), поскольку именно они определяют работоспособность топлива и как следствие техники в нетрадиционных условиях эксплуатации, в особенности при низких температурах.

Основные виды дизельного топлива, производимые на нефтеперерабатывающих заводах, представлены, согласно ГОСТ 305-82, тремя марками: арктическим, летним и зимним (см. табл. 1).

Таблица 1

Характеристики дизельного топлива разных марок. [Кузнецов, с. 68]

Показатель	Летнее	Зимнее	Арктическое
Цетановое число	45	45	45
Кинематическая вязкость	3…6	1,8 … 5	1,5…4
Температура застывания, ˚С, не выше: Для умеренной климатической зоны Для холодной зоны	 -10 -	 -35 -45	 - -55

Переход с зимних марок на летние осуществляется в период наступившей или ожидаемой по долгосрочному прогнозу устойчивой положительной температуры.

К наиболее распространенным относятся топлива с депрессорными присадками марки ДЗп (зимний вариант), вырабатываемые по ТУ 38.101889-81 на основе летнего варианта горючего, ДЗп-15/-25 и ДАп-35/-45 для регионов с холодным климатом по ТУ 38.401-58-36-92. Данные присадки позволяют снизить предельную температуру фильтрации соответственно до -25˚С и -45˚С.

Одним из наиболее распространенных методов улучшения эксплуатационных свойств топлива является применение специальных присадок, интенсифицирующих процесс сгорания. Существует огромное число присадок, добавляемых как с целью повышения характеристик топлива до уровня стандартов

(например депрессоры, диспергераторы, противоизносные), так и с целью дальнейшего улучшения свойств горючего, придания ему индивидуальных качеств. Другие, менее распространенные способы воздействия заключаются в основном в использовании электродинамической или ультразвуковой обработки. Перспективное направление в совершенствовании топлива занимает кавитационная обработка. Если давление в какой-либо точке текучей среды становится равным давлению насыщенного пара, то жидкость начинает испаряться с образованием пузырьков. При повышении давления пузырьки схлопываются и разрушающе воздействуют на окружающие материалы. Кавитация возникающая при прохождении звуковой волны называется акустической. С помощью ультразвуковых колебаний возможно снизить концентрацию парафинов, провести дегазацию и уменьшить вязкость сырья. Данные области активно исследуются, но с точки зрения практического применения присадки являются лидером в топливной отрасли (см. табл. 2).

Улучшения низкотемпературных свойств топлива добиваются удалением из топлива части парафиновых углеводородов, т.н. депарафинизацией. Температура застывания при этом существенно понижается. Однако удаление высокоцетановых компонентов (парафинов) приводит к снижению цетанового числа, вследствие чего депарафинизацию ограничивают [Пучков, с. 46].

Таблица 2

Основные типы присадок к дизельным топливам

Тип присадки	Типичный состав или строение основного вещества	Назначение
Депрессоры	Полимеры олефинов, акрилатов, винилацетата и другие полимеры с определенным значением молекулярной массы	Улучшают низкотемпературные свойства топлив: понижают температуры застывания и прокачиваемости через топливный фильтр
Диспергаторы парафинов	Полимеры азотсодержащих и других соединений	В композиции с депрессорами предотвращают расслаивание топлив при холодном хранении
Промоторы воспламенения	Алкилнитраты	Повышают цетановое число дизельных топлив
Противоизнос-ные присадки	Карбоновые кислоты и их производные	Улучшают противоизносные свойства малосернистых дизельных топлив
Антидымные присадки	Топливорастворимые соединения бария, кальция, железа	Уменьшают дымность отработавших газов
Антисажевые присадки	Соединения меди, редкозе-мельных металлов	Снижают сажеобразование при горении топлив и забивку топливных фильтров и катализаторов дожига
Стабилизаторы	Композиции антиоксидантов, алифатических аминов и дисперсантов	Повышают термическую стабильность топлив, содержащих компоненты, уплотняющиеся не по радикально-цепному механизму
Биоциды	Гетероциклические соединения, производные никеля, меди	Предотвращают порчу топлив в результате биоповреждений
Приработочные присадки	Соединения алюминия, хрома	Ускоряют обкатку деталей двигателя и топливной аппаратуры при изготовлении двигателей и капитальном ремонте
Противотурбулентные присадки	Линейные полимеры с высокой молекулярной массой	Снижают потери при перекачке топлива по трубопроводам

Другим путем является облегчение фракционного состава дизельного топлива за счет депрессорных присадок. Добавка их даже сотых долей процента ведет к снижению температуры застывания на 15 … 20 град, а температура помутнения при этом остается неизменной. В последние годы стали интенсивно

разрабатываться противоизносные присадки. Это стало актуальным в связи с ужесточением экологических требований и уменьшением содержания серы в дизельных топливах.

Подводя итог, следует заметить, что наибольшее применение нашли именно депрессоры, как наиболее экономически выгодные добавки, дающие больший эффект на единицу стоимости в сравнении с остальными.

Список литературы

1. Кузнецов, А.В. Топливно-смазочные материалы /А.В. Кузнецов – М.: Колос, 2007. – 199с.

2. Пучков, Н.Г. Дизельные топлива /Н.Г. Пучков – Л.: Красный печатник, 1958. – 194с.

Применение высотных опор для снижения интенсивности электромагнитных полей воздушных ЛЭП высокого напряжения

Вихарев А. П.[a], Шишкин Б. М.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем[a]
магистрант направления электротехника и электроэнергетика[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: usr00061@vyatsu.ru[a]

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена тем, что в последние десятилетия резко увеличилось количество источников электромагнитных полей (ЭМП). В загрязнение окружающего пространства ЭМП промышленной частоты основной вклад вносят объекты электроэнергетики и в первую очередь воздушные ЛЭП. Воздействие ЭМП на людей может иметь серьезные негативные последствия. К основным группам риска относится население, проживающее вблизи ЛЭП, а также профессионалы–электрики, имеющие длительный контакт с ЭМП. Целью исследования является анализ одного из способов снижения интенсивности ЭМП вдоль трассы ЛЭП, а именно, использование высотных опор для сооружения линии. Основным методом исследования является метод математического моделирования, с помощью которого выполнены расчеты электрического и магнитного полей воздушных ЛЭП. Материалы статьи могут быть использованы при проектировании новых и реконструкции существующих ЛЭП высокого напряжения, проходящих по густонаселенным территориям.

Ключевые слова: воздушные ЛЭП, электрическое поле, магнитное поле, высотные опоры.

За последние десятилетия резко увеличилось количество производственных и бытовых источников электромагнитных полей (ЭМП). Всемирной организацией здравоохранения введен термин «электромагнитное загрязнение окружающей среды». В загрязнение окружающего пространства ЭМП промышленной частоты основной вклад вносят объекты электроэнергетики и в первую очередь воздушные ЛЭП. Имеются публикации, указывающие на серьёзные последствия для человека воздействия ЭМП [Григорьев, с.22]. Установлено, что при длительном нахождении в ЭМП (например, вблизи высоковольтной ЛЭП) значительно увеличивается риск развития раковых заболеваний (включая лейкемию), а также болезней, связанных с деградацией нервных клеток. Анализ результатов эпидемиологических исследований позволил сделать вывод о том, что к группам риска относится население, проживающее вблизи

ЛЭП, а также профессионалы – электрики, имеющие длительный контакт с ЭМП. В связи с этим проблема оценки опасности ЭМП промышленной частоты, как для населения, так и для обслуживающего персонала электроустановок является актуальной.

В России разработаны нормативы на допустимые уровни напряженностей электрического и магнитного полей для населения, проживающего вблизи ЛЭП, и для персонала, обслуживающего электроустановки. Предельно допустимые уровни (ПДУ) электрических и магнитных полей в производственных условиях установлены СанПиН [2, с.19]. Для населения ПДУ напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого ЛЭП, приведены в СанПиН [3, с.14]. Согласно этому документу внутри жилых зданий, где возможно постоянное пребывание людей, напряженность электрического поля не должна превышать 500 В/м. На балконах, лоджиях и верандах жилых и общественных зданий, включая и садовые домики, а также на территории жилой застройки и гаражных кооперативов, на остановках общественного транспорта, где возможны длительные систематические пребывания людей, напряженность электрического поля не должна превышать 1 кВ/м. В населенной местности, находящейся вне зоны жилой застройки (пригородные зоны, курорты, земли сельских населенных пунктов), а также на территории огородов и садов напряженность электрического поля не должна превышать 5 кВ/м.

До недавнего времени нормы ПДУ были разработаны только для напряженности электрического поля. Но после многочисленных публикаций, подтверждающих наличие негативного влияния магнитного поля на человека, были введены нормы и на напряженность магнитного поля. ПДУ магнитных полей промышленной частоты в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях приведены в гигиеническом нормативе [4, с.6]. Согласно этому документу нормирование магнитного поля осуществляется дифференцировано в зависимости от места пребывания населения и категории лиц (Табл. 1).

Таблица 1

Гигиенические нормативы (предельно допустимые уровни) магнитных полей частотой 50 Гц

Тип воздействия, территория	Интенсивность МП частотой 50 Гц (действующие значения), А/м
В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждениях	4
В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на селитебной территории, в том числе на территории садовых участков	8
В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохождения воздушных и кабельных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок	16
В ненаселенной и труднодоступной местности с эпизодическим пребыванием людей	80

Следует отметить, что ПДУ напряженности магнитного поля для населения значительно ниже (от 5 до 20 раз) аналогичных уровней для производственных условий. Таким образом, очевидна тенденция к ужесточению ПДУ напряженности магнитного поля.

Кроме того, в целях защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными ЛЭП, СанПиН [5, с.10] установлены санитарно-защитные зоны. Санитарно-защитный зоной является территория вдоль трассы линии, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м. Границы санитарно-защитных зон располагаются вдоль трассы линии по обе стороны от проекции крайних проводов на землю (Табл. 2). В пределах зоны запрещается: размещение жилых и общественных зданий и сооружений, площадок для стоянки и остановки всех видов транспорта и т.д.

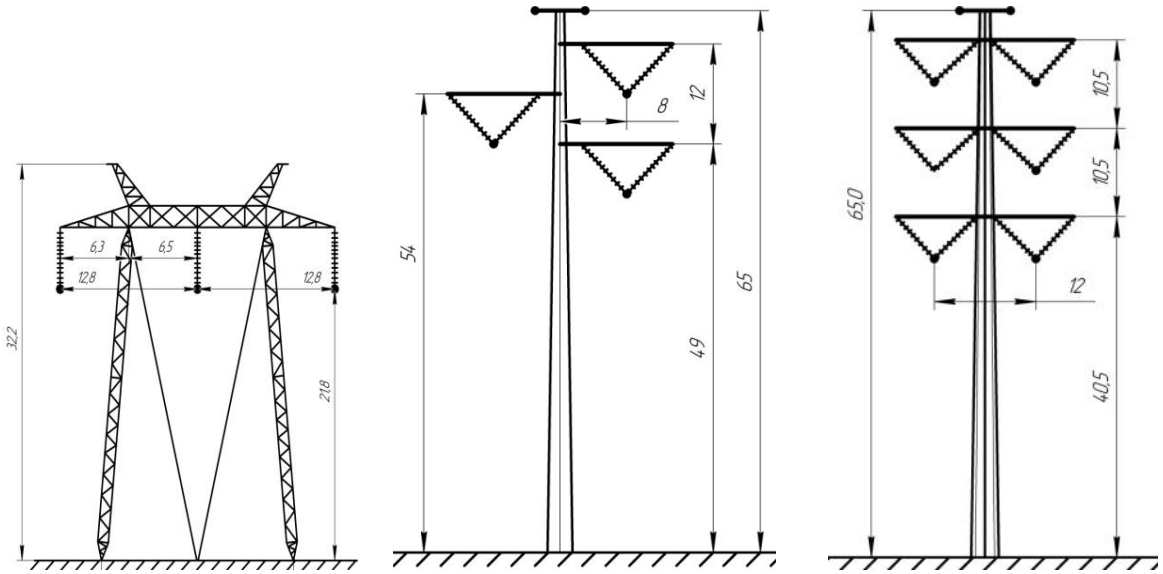
Таблица 2

Границы санитарно-защитных зон

Напряжение ВЛ, кВ	110	220	330	500	750	1150
Расстояние, м	10	15	20	30	40	55

Из всего сказанного следует, что весьма актуальным является сооружение воздушных ЛЭП высокого напряжения, отвечающих минимальным интенсивностям электрических и магнитных полей.

Одним из эффективных способов снижения напряженности полей по трассам воздушных ЛЭП, проходящим по населенным территориям, является использование высотных опор [Смазнов, с.40]. Для многоцепных линий, с целью усиления эффекта, целесообразно выбрать оптимальную фазировку напряжений на проводах. В данной работе выполнены исследования электрического и магнитного полей, создаваемых воздушными линиями напряжением 500 кВ следующих конструкций: традиционного исполнения с горизонтальным расположением проводов на опорах (Рис.1а), одноцепной линии на многогранных опорах высотой 65 м (Рис.1б) и двухцепной линии на многогранных опорах высотой 65 м (Рис.2в). Расчеты напряженностей электрического и магнитного полей выполнены с помощью программы «EMOL», разработанной на кафедре электроэнергетических систем ВятГУ.



а б в

Рисунок 1. Конструкции опор воздушных ЛЭП напряжением 500 кВ:

а – традиционного исполнения П-500 (ПБ4);

б – одноцепная высотная опора; в – двухцепная высотная опора.

Программа «EMOL» предназначена для расчета напряженностей электрического и магнитного полей вокруг воздушных ЛЭП разных классов напряжений, выполненных на различных типах опор, при разных режимах работы

ЛЭП. Основой программы являются математические модели электрического и магнитного полей трехфазной воздушной ЛЭП, переменного тока промышленной частоты. При разработке математических моделей приняты следующие допущения:

- электрическое и магнитное поля ЛЭП считаются плоскопараллельными;
- электрическое и магнитное поля ЛЭП считаются квазистационарными;
- расчет полей ведется независимо друг от друга.

Программа рассчитывает действительные и мнимые пространственные составляющие, а также результирующие значения напряженности электрического и магнитного полей.

Расчеты выполнены на уровне 1,8 м от поверхности земли при фазном токе 1000 А. Поскольку напряженность магнитного поля в воздухе пропорциональна значению тока, то для определения напряженности магнитного поля при любом другом значении тока, достаточно умножить приведенные значения на коэффициент, равный отношению токов. Результаты расчетов представлены на рис. 3 и 4.

Анализ результатов расчетов электрического поля показывает, что напряженность поля под линиями, выполненными на высотных опорах, значительно ниже (в 6 раз) чем на линии, выполненной на опорах традиционной конструкции (кривые 3 и 1 на рис. 2). Расстояния от центра линии, на которых напряженность электрического поля составляет не более 1000 В/м для линий на высотных опорах также значительно меньше: для одноцепной ЛЭП на 20%, для двухцепных ЛЭП на 39%. Необходимо отметить, что изменение фазировки цепей двухцепной линии приводит к снижению напряженности электрического поля в 2,6 раза (кривые 2 и 4 на рис.2).

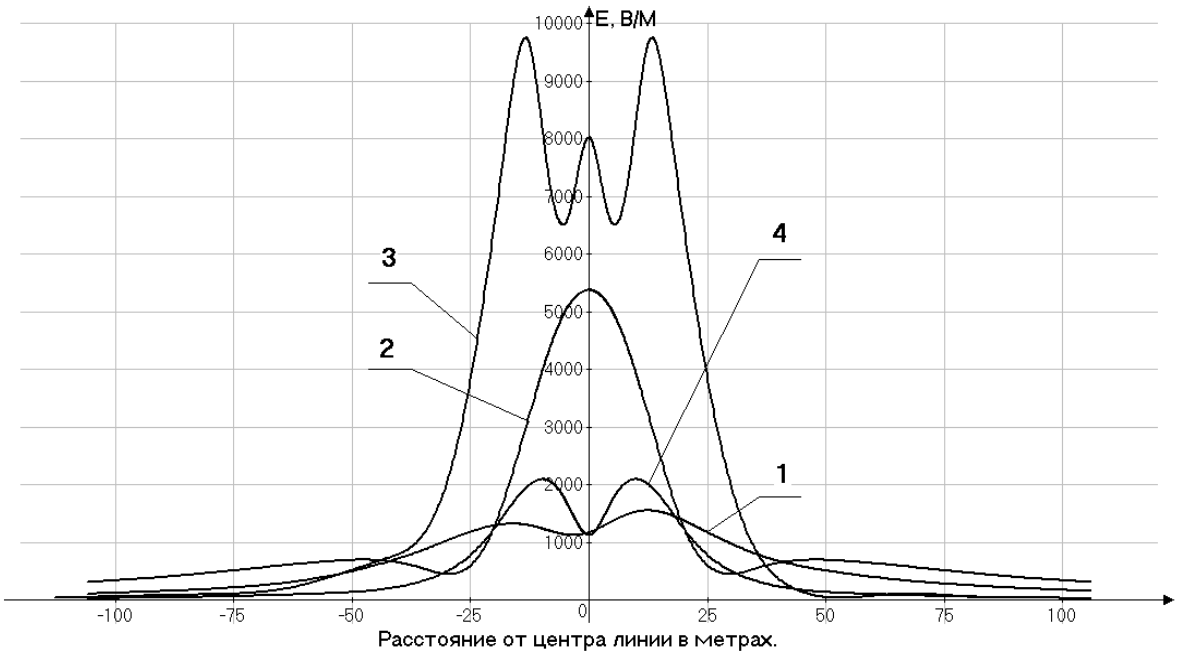


Рисунок 2. Диаграмма напряженности электрического поля
в середине пролета линий напряжением 500 кВ:
1 – одноцепной линии на высотных опорах (рис. 1б); 2 – двухцепной линии на высотных опорах, при расположении фаз АВС–АВС (рис. 1в); 3 – одноцепной линии на опорах ПБ4 (рис. 1а); 4 – двухцепной линии на высотных опорах, при расположении фаз АВС–СВА (рис. 1в).

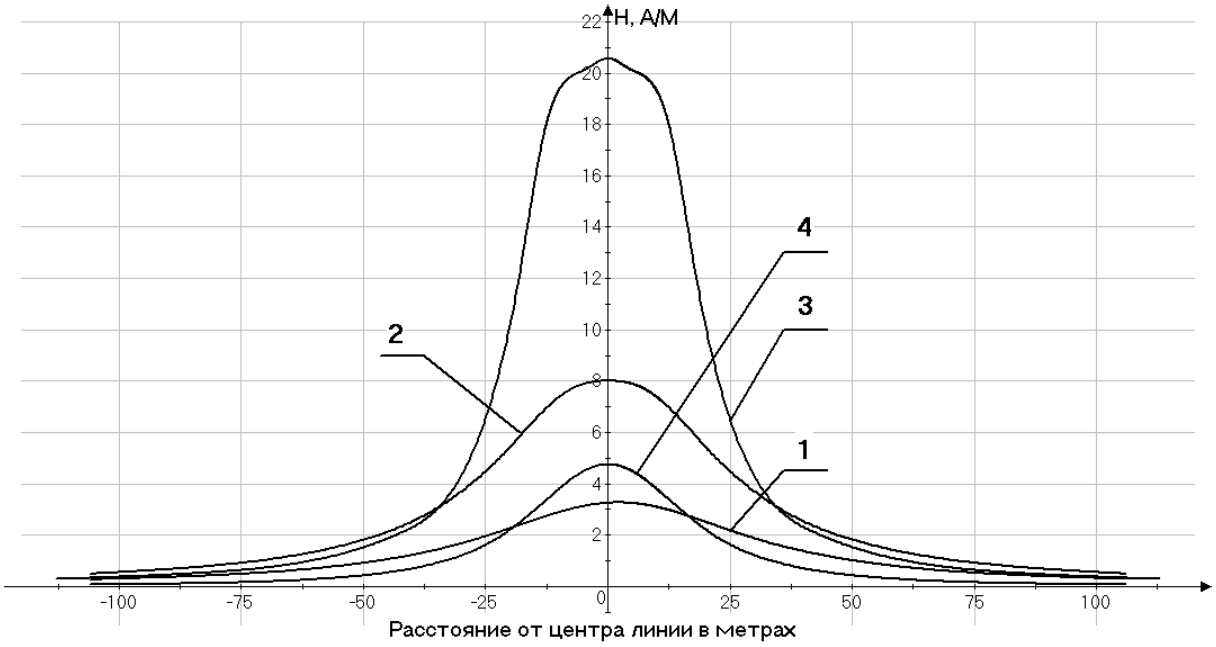


Рисунок 3. Диаграмма напряженности магнитного поля
в середине пролета линий напряжением 500 кВ:
1 – одноцепной линии на высотных опорах (рис. 1б); 2 – двухцепной линии на высотных опорах, при расположении фаз АВС–АВС (рис. 1в); 3 – одноцепной линии на опорах ПБ4 (рис. 1а); 4 – двухцепной линии на высотных опорах, при расположении фаз АВС–СВА (рис. 1в).

Анализ результатов расчетов магнитного поля показывает, что напряженность поля под линиями, выполненными на высотных опорах, значительно ниже (в 6,3 раза) чем на линии, выполненной на опорах традиционной конструкции (кривые 3 и 1 на рис. 3). Расстояние от центра линии, на котором уровень напряженности соответствует требованиям для жилых помещений, для одноцепной ЛЭП на опорах традиционной конструкции составляет 31,2 м. Для ЛЭП на высотных опорах даже непосредственно под линией уровень напряженности поля остается меньше норматива для жилых помещений. Изменение фазировки цепей двухцепных ЛЭП приводит к снижению напряженности магнитного поля в 1,7 раза. При этом расстояние от центра линии, на котором уровень напряженности соответствует требованиям для жилых помещений, уменьшается с 28 м до 9 м.

Таким образом, применение высотных опор для сооружения ЛЭП сверхвысокого напряжения приводит к значительному снижению напряженностей электрического и магнитного полей. Сооружение ЛЭП на высотных опорах можно рекомендовать при прохождении трассы воздушной линии по густонаселенной территории больших городов.

Список литературы

1. Григорьев Ю.Г. Биоэлектромагнитная совместимость (проблемы защиты населения от электромагнитного излучения) // Электричество. 1997. №3. С.19–24.

2. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 38 с.

3. СанПиН №2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными ЛЭП переменного тока промышленной частоты. М.: Минздрав РФ, 1984. 26 с.

4. Гигиенический норматив ГН 2.1.8/2.2.4. 2262-07. Предельно допустимыеуровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях. [Электронный ресурс]: действ. с 01.01.2008. М., 2007. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция (с изменениями на 25 апреля 2014 года). [Электронный ресурс]: действ. с 01.06.2014. М., 2014. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

6. Смазнов Д.Н., Родчихин С.В., Москалев А.В., Зимин К.Н. Высотные опоры в индивидуальном проектировании воздушных линий // Энергия единой сети. 2017. №1. С. 36 – 43.

Определение теплового поля и механических напряжений в круглой пиле

Власов А.В.
ассистент кафедры машин и технологии деревообработки
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: artjomv@gmail.com

Аннотация: Вычисление механических напряжений в круглой пиле является неотъемлемым этапом расчета динамических характеристик в процессе проектирования круглой пилы. В представленной работе рассматривается теоретический метод расчета теплового поля полотна пилы и возникающих в нём, в результате неравномерного нагрева, механических напряжений. Представленный аналитический метод необходим в дальнейшем для адекватного применения численных методов расчета механических напряжений в круглых пилах сложной геометрической формы, где невозможно применять методы основанные на упрощении конструкции пилы. Приведен пример расчета распределения температуры по радиусу пилы и механических напряжений, оценены полученные численные значения. Применение данного подхода позволяет правильно выбрать и использовать численный метод при определении механический напряжений в полотне круглой пилы.

Ключевые слова: нагрев, диск, теплопроводность, деформация.

Обеспечение работоспособности круглых пил при пилении древесины на основе учета теплофизических условий процесса резания является актуальной научно-технической проблемой и требует обобщения результатов известных исследований, исключающих или снижающих негативные последствия влияния нагрева круглых пил на их устойчивость. Среди факторов, влияющих на устойчивость инструмента в процессе работы, температура играет первостепенную роль. Значительный неравномерный нагрев вызывает термомеханические напряжения и, как следствие, потерю диском круглой пилы устойчивости плоской формы равновесия [Пашков, с. 31; Грубе с. 92].

Важно отметить, что применение аналитических зависимостей предполагает упрощение геометрии круглой пилы, пила рассматривается как сплошной диск без зубьев закрепленный в планшайбах (рис. 1).

Температурное поле диска однозначно определяет величину и характер распределения, возникающих в нем температурных напряжений.

Исследования показали, что при работе диск пилы нагревается неравномерно. Для оценки влияния неравномерного нагрева на устойчивость пил необходимо знать, в какой зависимости находится тепловой перепад с физическими параметрами пилы, как они влияют на общее тепловое поле диска пилы [Грубе с. 92].

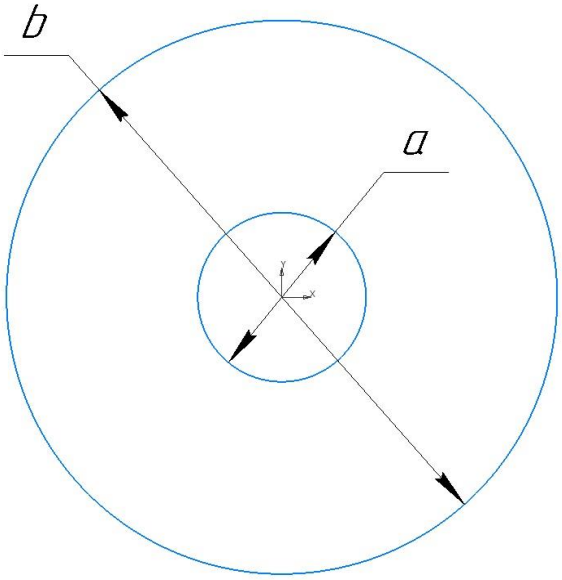


Рисунок 1. Идеализация пильного диска

Дифференциальное уравнение, описывающее распределение температуры в диске пилы определяется по формуле [Грубе с. 93]:

$$\frac{d^2t}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dt}{dr}+\frac{2\alpha}{h\lambda_m}(t_H-t)=0, \qquad (1)$$

где: h – толщина диска круглой пилы;

r – радиус диска;

λ_m – коэффициент теплопроводности материала диска круглой пилы;

t_H – температура на наружном радиусе диска.

Коэффициент теплоотдачи от диска воздуху α, Вт/(м^2°С) определяется по формуле [Пашков с. 137]:

$$\alpha=c\lambda_f\omega^n\nu_f^{-n}r^{2n-1}, \qquad (2)$$

где: c и n – коэффициенты, зависящие от вида и параметров охлаждающей среды и условий охлаждения;

λ_f – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре окружающей среды;

ν_f – коэффициент кинематической вязкости воздуха при температуре окружающей среды.

Решение уравнения (1), даёт следующую зависимость распределения температуры по радиусу диска пилы t(r) [Пашков с. 136; Грубе с. 96]:

$$t(r)=t_H+\left(t_H-t_B\right)\frac{K_1\left(a\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f a^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)\cdot I_0\left(r\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f r^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)+I_1\left(a\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f a^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)\cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f r^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)}{K_1\left(a\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f a^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)\cdot I_0\left(b\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f b^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)+I_1\left(a\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f a^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)\cdot K_0\left(b\sqrt{\frac{2c\omega^n\lambda_f b^{2n-1}}{h\lambda_m\nu_f^n}}\right)}, \quad (3)$$

где: I_0, K_0, I_1, K_1 – функции Бесселя соответственно первого и второго рода нулевого и первого порядка аргумента;

b – радиус диска круглой пилы;

a – радиус планшайбы;

t_B – температура окружающей среды.

В работе рассмотрен пример (b=500 мм; a=80 мм; t_B=20 ºС; h=4 мм; t_H=90ºС; λ_m=44,7 Вт/(м^2 ºС); c=0,0287; n=0,8; λ_f=2,59·10^{-2} Вт/(м^2 ºС); ν_f=15,06·10^{-6} м^2/с) для которого определены численные значения функции t(r) и строится график распределения температуры по радиусу диска круглой пилы, представленный на рисунке 2.

Напряжения, возникающие от неравномерного нагрева диска пилы, в радиальном и тангенциальном направлениях $\sigma_r(r)$ и $\sigma_\theta(r)$, Н/мм^2 определяются по формулам [Тимошенко с. 445]:

$$\sigma_r(r)=E\alpha_л\left[-\frac{1}{r^2}\int_a^r t(r)rdr-\frac{\int_a^b t(r)rdr}{b^2\left[1+\mu+(1-\mu)\frac{a^2}{b^2}\right]}\left[1+\mu+(1-\mu)\frac{a^2}{r^2}\right]\right], \quad (4)$$

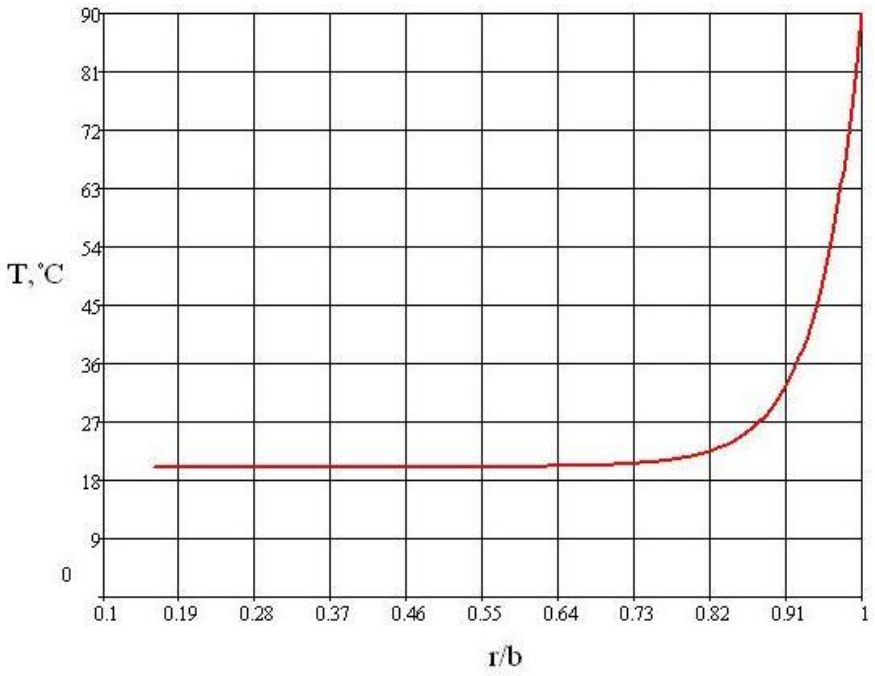


Рисунок 2. Распределение температуры по радиусу диска пилы

$$\sigma_\theta(r)=E\alpha_л\left[\frac{1}{r^2}\int_a^r t(r)rdr-t+\frac{\int_a^b t(r)rdr}{b^2\left[1+\mu+(1-\mu)\frac{a^2}{b^2}\right]}\left[1+\mu-(1-\mu)\frac{a^2}{r^2}\right]\right], \quad (5)$$

где: E – модуль упругости первого рода;

μ – коэффициент Пуассона;

$\alpha_л$ – коэффициент линейного расширения материала круглой пилы.

Для рассматриваемого примера ($E=2{,}1\cdot10^5$ Н/мм^2; $\mu=0{,}27$; $\alpha_л=11\cdot10^{-6}$ ºС$^{-1}$) построены графики распределения механических напряжений по радиусу диска круглой пилы, представленные на рисунках 3 и 4.

Из полученных зависимостей видно, что наиболее опасными являются окружные механические напряжения сжатия в периферии диска пилы, которые уменьшают жесткость полотна. Для рассматриваемого примера их величина около 140 МПа, что вполне может привести к потере пильным диском устойчивости плоской формы равновесия. Это значит, что необходимо увеличивать толщину данной пилы, что неэффективно, либо предпринимать различные способы для повышения жесткости полотна, одним из которых может быть применение компенсационных прорезей.

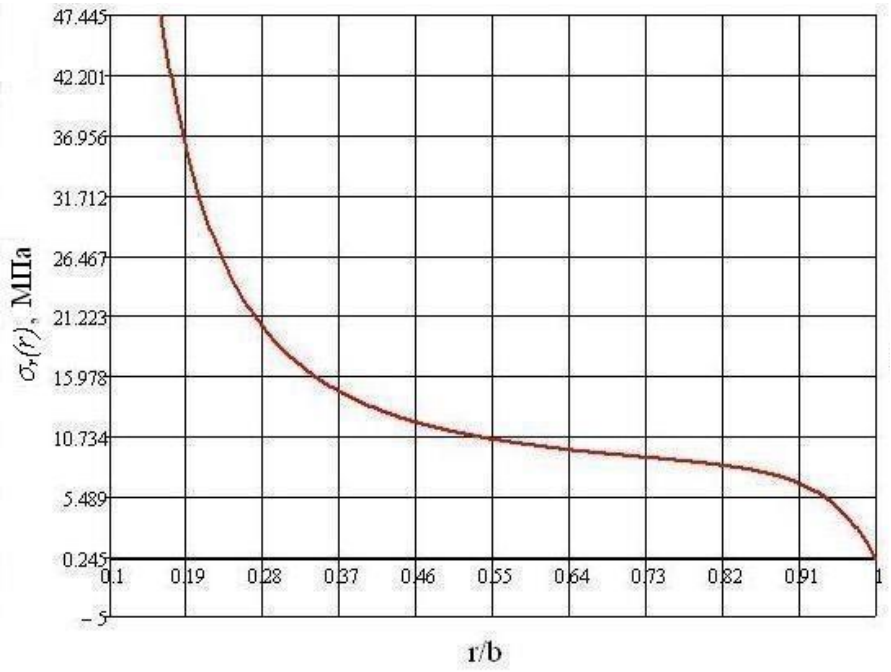


Рисунок 3. Распределение нормальных радиальных механических напряжений по радиусу диска

Рисунок 4. Распределение нормальных окружных механических напряжений по радиусу диска

Данный метод расчета по представленным аналитическим зависимостям применим лишь при условии упрощения геометрии круглой пилы. Для исследований распределения температурных полей и механических напряжений в дисковых пилах с компенсационными прорезями необходимо применение чис-

ленных методов, одним из которых является метод конечных элементов. Для получения адекватных результатов численным методом, при выборе типа конечного элемента и его параметров, необходимо учитывать результаты, полученные аналитическими методами.

Список литературы

1. Пашков. В.К. Теплофизика резания древесины круглыми пилами: монография. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007,311с. ISBN 978-5-94984-144-0.
2. Грубе А.Э., Санев В.И., Пашков В.К. К вопросу о температурном поле дисков пил для продольной распиловки древесины/Изв. ВУЗ. Лесной журнал.-1966.-№3-с. 92-104.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ./ под ред. Г.С. Шапиро.-2-е изд.-М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с.

О влиянии твердости поверхностного слоя валиков и втулок на износостойкость приводной втулочной цепи

Власов В.А.[a], Шарыгина Е.А. [b]
Кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и основ конструирования[a]
Магистрант кафедры материаловедения и основ конструирования[b]

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы влияния качества химико-термической обработки валиков и втулок приводных цепей на их износостойкость. Отмечается, что величина износа деталей цепи зависит от твердости контактирующих поверхностей валиков и втулок. Оцениваются факторы, которые могут оказывать влияние на величину износа. Проведена статистическая оценка этих факторов и сделан вывод, что для объективной оценки износостойкости цепи можно использовать только один показатель-изменение величины микротвердости материала по глубине слоя насыщения. Поэтому необходимо усовершенствовать существующую методику оценки твердости диффузионного слоя деталей цепи таким образом, чтобы она могла встраиваться в существующий технологический процесс, не увеличивала трудоемкость контроля и обладала бы высокой оперативностью и точностью.

Ключевые слова: цепные передачи, твердость, износостойкость.

Один из основных критериев работоспособности цепных передач это износостойкость рабочих поверхностей валиков и втулок. Она оценивается предельно допустимым увеличением среднего шага цепи, который зависит от условий работы, функционального назначения передачи и других факторов [Готовцев, с. 69].

Величина износа деталей цепи зависит от твердости контактирующих поверхностей валиков и втулок. Величина поверхностной твердости оговаривается ГОСТ 13568-97 «Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия» [ГОСТ 13568-97, с. 7].

Получение необходимой твердости достигается цементацией или газовым цианированием поверхностного слоя. Поэтому для изготовления валиков и втулок приводных цепей используются цементируемые стали 15, 20, 15Х, 12Х3, 18ХГТ и другие с максимальным содержанием углерода до 0,25-0,3%.

Кроме величины поверхностной твердости весьма важной величиной, влияющей на износостойкость, является глубина химико-термической обработ-

ки поверхностного слоя. Она не должна превышать толщины стенки втулок, чтобы не получилось сквозного прокаливания.

Для цепи шага t=9,525 мм, при выполнении термообработки, глубина диффузионного слоя (эвтектоидный и половина переходного) должна быть: на валиках – 0,015-0,4 мм, на втулках – 0,05-0,2 мм.

При выполнении процесса нитроцементации, при котором поверхность насыщается одновременно углеродом и азотом, а азот выступает в роли катализатора, на поверхности деталей образуется слой заэвтектоидной стали, состоящей из перлита и цементита. Максимальная концентрация углерода наблюдается в поверхностном слое. По мере удаления от поверхности содержание углерода снижается, и последующая зона состоит уже только из перлита. Еще глубже в структуре металла появляются зерна феррита, количество которых по мере удаления увеличивается (Рис. 1).

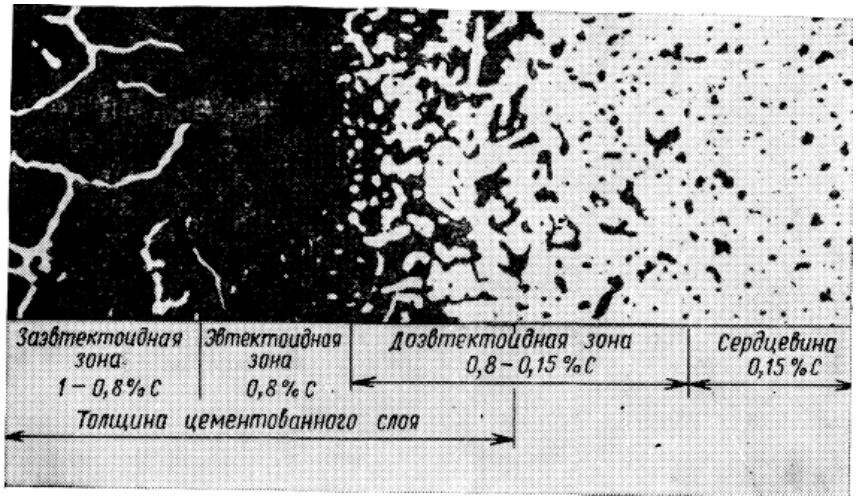


Рисунок 1. Структура цементированного слоя

Это приводит к тому, что величина твердости по глубине слоя термической обработки не остается постоянной, а уменьшается от поверхности к сердцевине.

Для оценки факторов, которые могут оказывать влияние на износостойкость цепи были проведены испытания пяти цепей 2ПВ-9,525-1600, которые используются в приводах газораспределения автомобилей. Испытания выполнялись в соответствии с разработанными на данную цепь техническими усло-

виями на специальном стенде. По условиям испытаний, продолжительностью 36 часов, увеличение среднего шага цепи в следствии износа трущихся поверхностей не должна превышать 2 мкм [Власов, с. 23].

По результатам испытаний были отобраны две цепи. Первая цепь с износом 1,9 мкм уложилась в установленные допустимые пределы износа, а вторая цепь показала превышение допустимого предела износа с результатом 2,13 мкм.

На следующем этапе был проведен анализ валиков и втулок этих цепей, который показал:

1. Наличие износа валиков и втулок в месте их контакта, который можно определить визуально по «пятну контакта». Однако замерить численную величину износа не удалось из-за его малости.

2. Замерена величина поверхностной твердости 108 валиков и 216 втулок обеих цепей с использованием метода Виккерса $HV_{5/12}$. Распределение величин твердости деталей представлено в виде диаграммы (Рис. 2), из которой следует, что оценивать темпы износа деталей по этому показателю не представляется возможным, так как распределение величин твердости у обеих цепей оказалось примерно одинаковым.

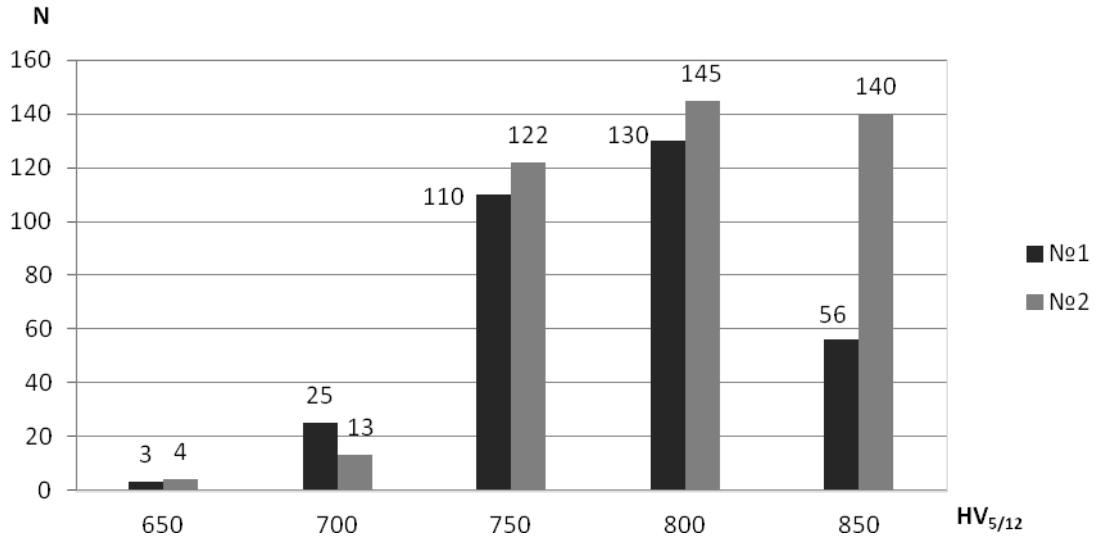


Рисунок 2. Гистограмма распределения суммарной твердости втулок и валиков цепей №1 и №2

3. Математическая обработка результатов измерений представлена на диаграмме (Рис. 3) в виде расчета среднеарифметического значения твердости валиков и втулок цепей, а также суммарные величины твердости валиков и втулок каждой цепи. Она показывает, что у обеих цепей твердость поверхностей валиков больше твердости поверхностей втулок. Разница может достигать до 30 $HV_{5/12}$. У однотипных деталей разница по твердости не превышает 2 $HV_{5/12}$.

Сравнение средних величин суммарной твердости втулок и валиков обеих цепей показывает их абсолютное равенство. Отсюда можно сделать вывод, что по оценке показателей поверхностной твердости нельзя судить о темпах износа цепей.

4. Оценено влияние микроструктуры материала валиков и втулок на износостойкость цепи. Для этого из первой и второй цепей были взяты по одной втулке и валику с одинаковыми характеристиками величины пятна контакта и поверхностной твердости в 753 $HV_{5/12}$. На деталях в поперечных сечениях были сделаны микрошлифы. Их анализ показал, что:

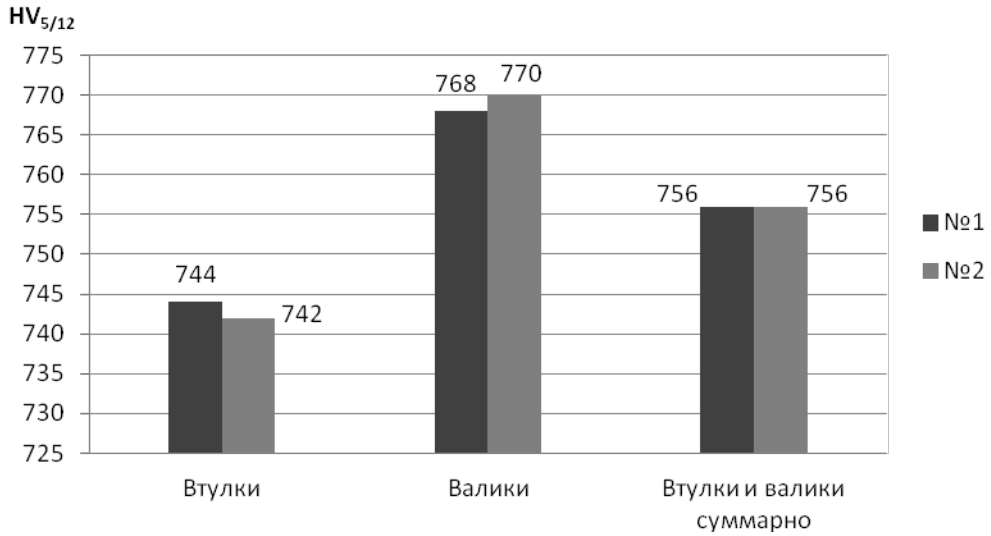
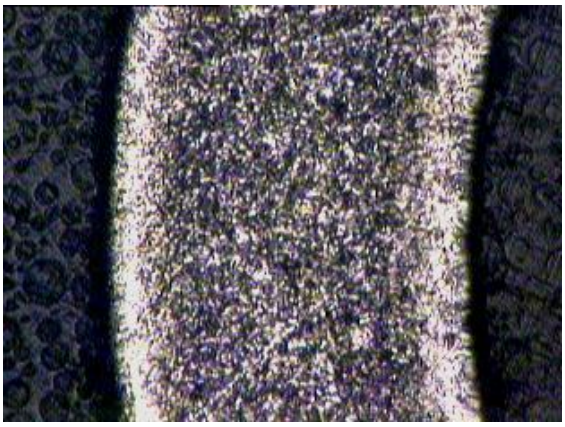


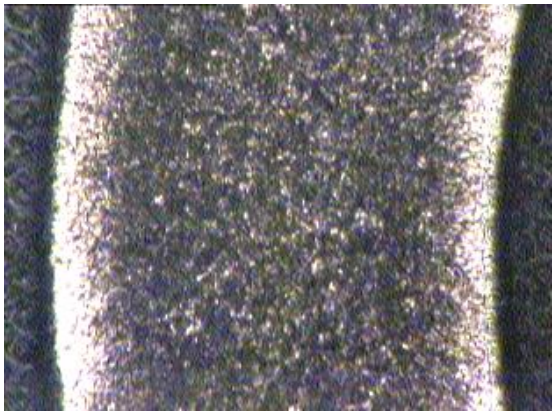
Рисунок 3. Гистограмма среднеарифметического значения твердостей для втулок, валиков и суммарно для втулок и валиков

– глубина слоя насыщения одинакова для деталей обеих цепей и составляет для втулок 0,1-0,12 мм, валиков – 0,2 мм, что соответствует конструкторской документации;

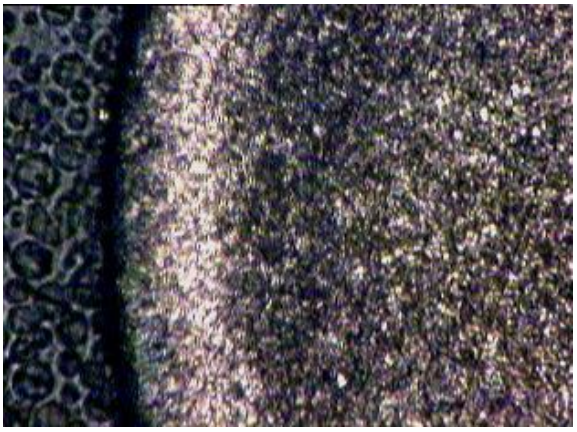
– микроструктура втулок и валиков обеих цепей одинакова и представляет из себя мартенсит поверхностного слоя и тростит сердцевины, что является наиболее благоприятным для малого темпа износа контактирующих деталей. Однако анализ структуры не может дать ответа, почему детали второй цепи изнашиваются в процессе работы больше, чем первой.



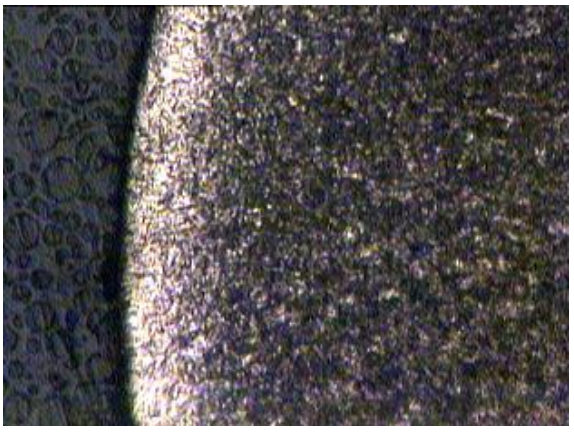
а) Микроструктура втулки цепи №1.



в) Микроструктура втулки цепи №2



б) Микроструктура валика цепи №1.



г) Микроструктура валика цепи №2.

Рисунок 4. Микроструктуры втулок и валиков цепей №1 и №2

5. В лабораторных условиях на приборе ПМТ-3(H_{100}) проведены замеры микротвердости материала по глубине слоя насыщения. Для испытаний использовались те же детали, на которых проводился микроструктурный анализ. Методика замеров выполнялась согласно программе испытаний. Результаты замеров приведены на Рис. 5. Из него видно, что падение микротвердости деталей цепи №1, которая выдержала испытание на износостойкость, изменяется менее интенсивно, чем у цепи №2, которая этих испытаний не выдержала.

Из этого можно сделать вывод, что для объективной оценки износостойкости цепи можно использовать только один показатель – интенсивность изменения величины микротвердости материала по глубине слоя насыщения.

В настоящее время изменение величины твердости по глубине диффузионного слоя можно оценить лабораторно. Однако такие исследования весьма продолжительны и их нельзя оперативно встроить в технологический процесс. При этом надо учитывать массовый характер производства деталей, когда за смену их производится десятки тысяч и от качества изготовления каждой из них зависит надежность и долговечность работы всей цепи, а соответственно и того механизма, частью которого она является.

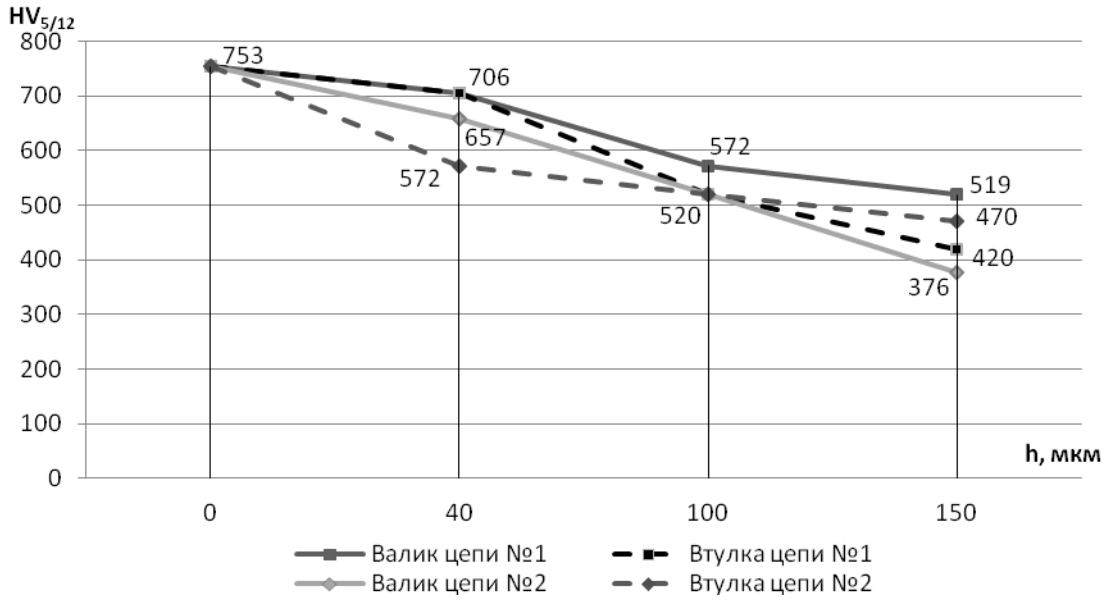


Рисунок 5. Гистограмма изменения микротвердости по глубине слоя

И поэтому необходимо усовершенствовать существующую методику оценки твердости диффузионного слоя деталей цепи таким образом, чтобы она могла встраиваться в существующий технологический процесс, не увеличивала трудоемкость контроля и обладала бы высокой оперативностью и точностью.

Список литературы

1. Готовцев А.А., Котенок И.П. Проектирование цепных передач. – М.; Машиностроение, 1982. 336с.

2. ГОСТ 13568-97. Цепи приводные роликовые и втулочные. / Электронный ресурс / прин. 25.04.1997, действ. С 01.07.2000. – Москва. Изд-во стандартов, 2000 г. – Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

3. Власов В.А., Шарыгин Ю.В. К вопросу точности изготовления приводной роликовой цепи шага t=9,525 мм // Проблемы взаимодействия науки и общества: сб. науч. ст. – Уфа : Аэтерна, 2016. – Вып. 27. – С. 23-26.

Исследование магнитного поля установленной на железобетонных опорах трехпроводной воздушной линии электропередачи в режиме короткого замыкания

Гаврилов Г.Г.[a], Кривошеин И.Л.[b], Семёновых Л.В.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[a,b]
старший преподаватель кафедры электротехники и электроники[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[a,b,c]

Аннотация: в статье представлены результаты проведенных с целью разработки нового типа индикатора короткого замыкания исследований магнитных полей трехпроводной воздушной линии на железобетонных опорах, создаваемых вблизи ее проводов при коротком замыкании между любыми двумя проводами с целью уяснения оптимальной зоны размещения индикаторов по высоте опоры, определения необходимого количества датчиков магнитного поля и наилучшей их ориентировки в пространстве.

Представлена методика расчета магнитной индукции, и приведен пример расчета поля в точке при одном из трех возможных вариантов короткого замыкания проводов, получены зависимости векторов индукции и их вертикальных составляющих в точках вдоль оси опоры. Анализ результатов расчетов позволил сделать вывод, что при установке индикатора короткого замыкания в зоне (1…1,5) м ниже ближних к земле проводов, оптимальной с точки зрения эксплуатации, достаточно одного вертикально расположенного датчика магнитного поля.

Ключевые слова: индикаторы короткого замыкания, магнитная индукция, датчик магнитного поля, смешанное расположение проводов на опоре.

Стационарно устанавливаемые на воздушные линии электропередачи (ВЛ) напряжением 6-35 кВ индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) предназначены для оперативного определения места повреждения линии, сопровождаемого коротким замыканием (КЗ) двух фазных проводов.

Возможны два варианта размещения ИКЗ: на проводах или на опорах ВЛ. В первом случае в месте контроля ИКЗ устанавливаются на каждый провод трехпроводной линии. Магнитопровод устройства охватывает провод, что позволяет фиксировать скачок тока, протекающего по данному проводу, достаточно точно определять значение тока. При таком варианте монтажа можно установить, между какими именно проводами произошло КЗ.

Достоинством ИКЗ, устанавливаемого на опору, является то, что для фиксации токов КЗ в месте контроля достаточно одного устройства. Такой ИКЗ контролирует результирующее поле всех проводов ВЛ, что, в то же время, ограничивает его возможности, по сравнению с предыдущим вариантом крепления. Этот вариант установки не следует применять на двухцепных опорах, на ответвительных опорах, на ВЛ, проходящих вблизи других линий.

Что касается расположения ИКЗ на опоре относительно фазных проводов, то известны различные варианты: от размещения между проводами до установки на пять метров ниже ближнего к земле провода. С точки зрения опрошенных специалистов электросетевых предприятий, эксплуатирующих ВЛ 6-35 кВ, оптимальным для распознавания сигналов, обслуживания и обеспечения сохранности является расположение ИКЗ примерно на (1…1,5) м ниже ближнего к земле провода.

В статье представлены материалы исследований электромагнитных полей находящейся в режиме КЗ трехпроводной ВЛ на железобетонных опорах с характерным для них смешанным (треугольником) расположением проводов на опоре (рис. 1). При этом рассматривались все три варианта межфазного замыкания.

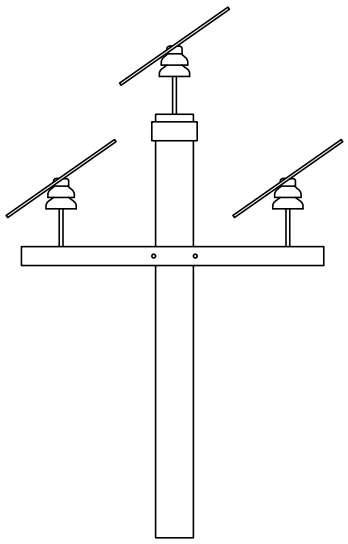


Рисунок 1. Смешанное расположение проводов

Целью исследования было получение ответа на следующие вопросы:

1. В каком месте по высоте опоры лучше всего, с точки зрения контроля магнитного поля при любом из трех вариантов КЗ, расположить ИКЗ?

2. Достаточно ли в составе ИКЗ одного датчика магнитного поля и как его сориентировать в пространстве?

При анализе использовались следующие допущения:

1. Переменное поле частотой 50 Гц рассматривалось как квазистационарное.

2. Рассчитывались поля только тех двух проводов, по которым протекал ток короткого замыкания, так как ток в третьем проводе гораздо меньше тока КЗ и его влияние на результирующее поле незначительно.

В основу расчетов заложены принцип суперпозиции полей и закон полного тока [Бессонов]:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I , \qquad (1)$$

где $\oint \vec{H} d\vec{l}$ – циркуляция вектора напряженности магнитного поля $\vec{H}$ по замкнутому контуру;

I – ток, пронизывающий контур.

Для случая прямого провода уравнение (1) преобразуется к виду:

$$H \cdot 2\pi r = I , \qquad (2)$$

где r – расстояние от провода до исследуемой точки;

I – ток КЗ в проводе.

С учетом того, что для воздуха:

$$B = \mu_0 H , \qquad (3)$$

где B – магнитная индукция,

μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

уравнение для расчета индукции имеет вид:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}. \qquad (4)$$

Направление вектора $\vec{B}$ в исследуемой точке определялось по правилу правоходового винта («буравчика»).

Расстояния между проводами однозначно не установлены. Они для ВЛ с штыревыми изоляторами изменяются в довольно широком диапазоне и зависят от длины пролета, района климатических условий и от того нормальное или ослабленное тяжение проводов. Для большинства случаев этот диапазон расстояний равен 0,8…1,5 м. Для расчетов в первом приближении выбран упоминавшийся в литературе вариант размеров (рис. 2). Диапазон точек по высоте опоры – от точки на уровне нижних проводов и вниз до точки, находящейся на два метра ниже.

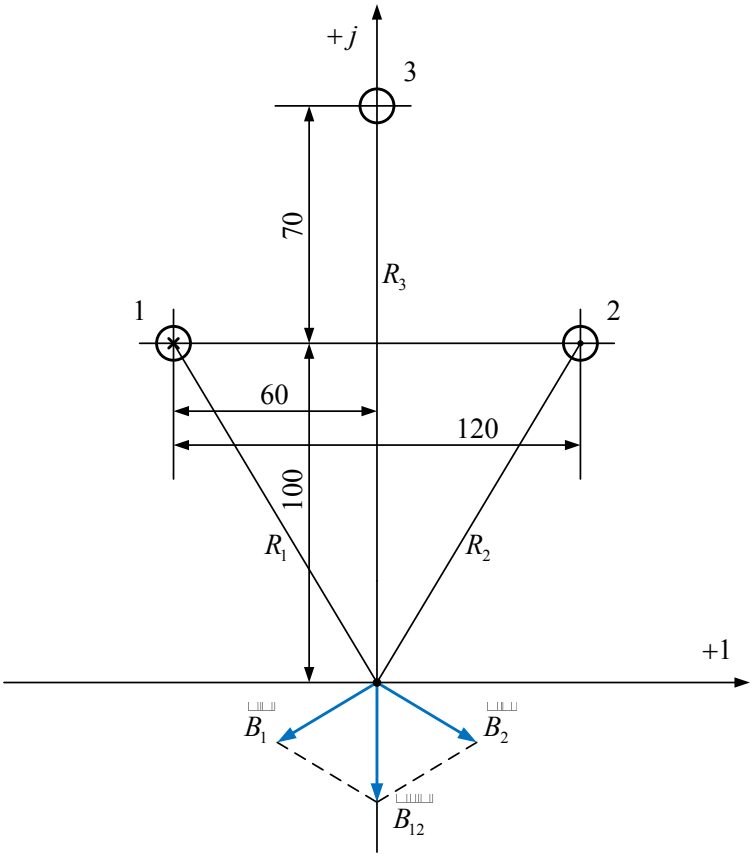


Рисунок 2. К расчету магнитной индукции.

Продемонстрируем методику расчета модуля и направленности вектора магнитной индукции на примере точки, находящейся на 1 м ниже проводов

(рис. 2). Будем считать, что ток при КЗ во всех случаях одинаков и равен 200 А. Направления токов в замкнутых проводах встречны: один «от нас», второй – «к нам».

Сначала в комплексной форме рассчитаем индукцию в этой точке при КЗ между проводами 1 и 2. Для этого предварительно определяем расстояния и рассчитываем индукцию поля, создаваемого по отдельности первым проводом ($\underset{\smile}{B}_1$) и вторым ($\underset{\smile}{B}_2$).

В итоге:

$$\underset{\smile}{B}_1 = 343 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-j149^\circ} \text{ Тл;}$$

$$\underset{\smile}{B}_2 = 343 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-j31^\circ} \text{ Тл.}$$

Из рис. 1 видно, что векторы $\underset{\smile}{B}_1$ и $\underset{\smile}{B}_2$ расположены симметрично относительно вертикальной оси. Далее определяем $\underset{\smile}{B}_{12}$:

$$\underset{\smile}{B}_{12} = \underset{\smile}{B}_1 + \underset{\smile}{B}_2 = 353 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-j90^\circ} \text{ Тл.}$$

То есть суммарный вектор индукции магнитного поля $\underset{\smile}{B}_{12}$ при КЗ между проводами 1 и 2 направлен по вертикальной линии.

Аналогично рассчитываем векторы $\underset{\smile}{B}_{13}$ и $\underset{\smile}{B}_{23}$ при КЗ, соответственно, между проводами 1 и 3, 2 и 3. В итоге получаем:

$$\underset{\smile}{B}_{13} = 186 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-j108^\circ} \text{ Тл;}$$

$$\underset{\smile}{B}_{23} = 186 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-j72^\circ} \text{ Тл.}$$

Результаты расчета показывают, что в этих двух случаях КЗ оба вектора отклоняются от вертикали на 18° в разные стороны.

Рассмотрим полученные данные с точки зрения поиска варианта ориентировки датчика магнитного поля внутри ИКЗ. Вектор $\underset{\smile}{B}_{12}$ направлен по верти-

кали. Вертикальные составляющие векторов $\vec{B}_{13}$ и $\vec{B}_{23}$ равны $176{,}5\cdot10^{-7}$ Тл. Соотношение между модулем $\vec{B}_{12}$ и вертикальными проекциями двух других проводов равно 2, что вполне приемлемо для того, чтобы контролировать одним датчиком все три возможные варианты КЗ в линии. Однозначно определяется и то, что наилучшее расположение датчика магнитного поля в зоне исследуемой точки – вертикальное.

Что касается чувствительности, то в НПЦ «Электробезопасность» ВятГУ разработаны устройства контроля, позволяющие уверенно измерять параметры магнитных полей ВЛ в точках по всей высоте опоры не только при КЗ, но и при нормальной работе линии, т.е. при гораздо меньших токах.

Для расчетов магнитной индукции в других точках и построения зависимости $\left(\left|\vec{B}\right| = f(l)\right)$ – значения индукции от расстояния вдоль оси опоры l, начиная от линии, соединяющей нижние провода и вниз, была составлена программа расчета на ЭВМ. Поскольку модули значений индукции магнитного поля и их проекции на ось l при двухфазном замыкании от проводов 1–3 и 2–3 одинаковы, то рассчитывались только вектора $\vec{B}_{12}$ и $\vec{B}_{13}$. В табл. 1 приведены значения модуля индукции магнитного поля $\vec{B}$, а также его проекции на вертикальную l ось в зависимости от расстояния от нижних проводов до точки расчета.

Таблица 1

Результаты расчета значения индукции магнитного поля

Расстояние l, см	0	25	50	75	100	125	150	175	200
Модуль $\vec{B}_{12}\cdot10^{-7}$, Тл	1333	1136	787	520	353	250	184	140	110
Модуль $\vec{B}_{13}\cdot10^{-7}$, Тл	878	597	394	265	186	136	104	81	65
Проекция на ось l, $\vec{B}_{12l}\cdot10^{-7}$, Тл	1333	1136	787	520	353	250	184	140	110
Проекция на ось l, $\vec{B}_{13l}\cdot10^{-7}$, Тл	667	568	393	260	177	125	92	70	55

На рис. 3 показаны построенные по полученным данным для разных вариантов КЗ зависимости вертикальных проекций векторов магнитной индукции от расстояний до нижних проводов в диапазоне от нуля до 200 см.

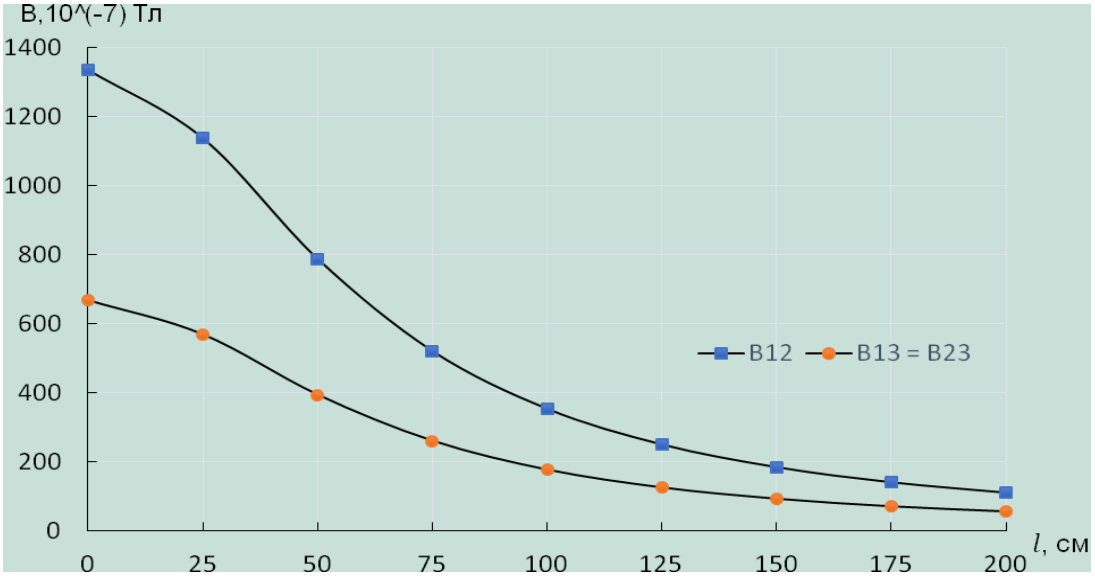


Рисунок 3. Зависимость вертикальных проекций $\left|\vec{B}\right| = f(l)$

Следует отметить, что во всех исследованных точках по оси опоры сохраняется одно и тоже соотношение между вертикальными проекциями векторов $\vec{B}$. B_{13l} всегда равна B_{23l}. B_{12l} всегда в два раза их больше.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Для контроля любого варианта КЗ двух фаз ВЛ с помощью ИКЗ, устанавливаемого на железобетонной опоре, достаточно одного датчика магнитного поля, расположенного вертикально.

2. Установка ИКЗ по высоте опоры в зоне, определенной как оптимальная для их монтажа с точки зрения специалистов, обслуживающих ВЛ, вполне приемлема и по параметрам магнитного поля в плане обеспечения возможности надежного распознавания и фиксации режима КЗ.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учеб./ Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2001. 317 с.

Об опыте преподавания дисциплины «Информационные технологии в профессиональной деятельности» студентам экономических направлений дистанционной формы обучения

Голованова Т.А.
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: golovanova@vyatsu.ru

Аннотация: В статье обсуждаются достоинства и недостатки дистанционных технологий обучения в современном российском высшем образовании. Рассматривается опыт преподавания дисциплины «Информационные технологии в профессиональной деятельности» студентам экономических направлений дистанционной формы обучения Вятского государственного университета. Особенностью «Информационных технологий в профессиональной деятельности» является практическая направленность дисциплины. Курс подразумевает изучение в первую очередь ряда программ, входящих в пакет Microsoft Office различных версий. Оптимальной формой проведения лабораторных и практических занятий являются вебинары и работа студентов на форумах, которая подразумевает возможность прямого общения с преподавателем. Рассмотрены варианты проведения зачёта и экзамена. Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам работы студента в семестре, для выставления экзаменационной оценки в настоящее время используются развёрнутые тестовые задания.

Ключевые слова: дистанционное образование, вебинар, форум, зачёт, экзамен.

Современное российское образование сложно представить себе без использования дистанционных технологий обучения. Такая форма образования имеет определённые достоинства и недостатки.

К достоинствам можно отнести следующее:

- возможность получения образования, в том числе высшего, людьми с ограниченными возможностями, а также теми, кто проживает в труднодоступных регионах России;
- гибкость образовательного процесса. Студент не привязан к расписанию, у него нет необходимости посещать занятия, он может осваивать дисциплины в удобном для себя темпе, но, безусловно, придерживаясь графика учебного процесса;

- достаточно широкие возможности поиска и усвоения материала. Однако, следует учитывать, что это требует высокой самодисциплины обучающегося, и навыков самостоятельной работы.

Недостатками дистанционного обучения являются:

- как правило, отсутствие прямого контакта «студент – преподаватель». Обучение осуществляется через посредника, каковым является тьютор, зачастую незнающий специфики преподаваемой дисциплины;
- зависимость от технических средств и информационных технологий. Дистанционная форма обучения предполагает наличие персонального компьютера и доступа к сети Интернет, работающей бесперебойно и с высокой скоростью. Кроме того, любая электронная база в определённой степени уязвима и может быть взломана, что приведёт к потере загруженных в неё данных (рефераты, практические работы, переписка преподавателя со студентом и т.д.);
- чрезвычайно ограниченное количество времени, отводимое преподавателю для аудиторной работы. В таких условиях преподаватель может лишь дать студентам общие указания для освоения материала, например, перечень вопросов, проконсультировать и быстро проверить уровень усвоения материала;
- невозможность полновесного контроля студента со стороны преподавателя. В условиях онлайн-общения невозможно определить, кто находится «по ту сторону» экрана компьютера – сам студент или его «помощники» и кто из них выполняет задания и в итоге сдаёт зачёты и экзамены;
- серьёзные временные затраты преподавателя для создания дистанционного курса.

Преподаватели кафедры прикладной информатики уже в течение нескольких лет работают со студентами дистанционной формы обучения, преподавая различные дисциплины. Одна из них – «Информационные технологии в профессиональной деятельности», которую изучают студенты экономических направлений, таких как «Экономика», «Менеджмент», «Управление персоналом» и т.д.

Особенностью «Информационных технологий в профессиональной деятельности» является практическая направленность дисциплины. Курс подразумевает изучение в первую очередь ряда программ, входящих в пакет Microsoft Office различных версий.

Как правило, учебные планы дисциплины включают в себя лекционные занятия (2-4 часа), практические или лабораторные занятия (4-8) часов, зачёт и/или экзамен.

Для проведения лекционных занятий Департамент электронного образования ВятГУ предлагает две формы – запись видеолекции и вебинар. Видеолекция позволяет кратко изложить часть материала, необходимого для изучения дисциплины, однако видеолекции нельзя рассматривать как полноценный лекционный курс, и, соответственно, эффективность их невысока.

Более полезным с точки зрения изучения дисциплины практического приложения является вебинар, так как:

- предполагает общение преподавателя со студентами в процессе изложения материала – студенты могут сразу задавать вопросы;
- есть возможность более детально рассмотреть сложные разделы изучаемой дисциплины в их практическом применении.

Например, для студентов направления «Государственное и муниципальное управление» был проведён вебинар по работе в программе Excel с процедурой «Анализ что-если». В ходе вебинара демонстрировался рабочий стол программы и разъяснялись особенности работы с инструментами Подбор параметра, Таблицы данных и Диспетчер сценариев. Как показала практика, вебинар существенно помог студентам в последующем выполнении практической работы по «Анализу что-если».

Кроме того, для успешного освоения теоретического материала студентам даётся развёрнутый план-конспект, содержащий перечень вопросов для изучения, а также список рекомендуемой литературы.

Практические и лабораторные занятия могут быть проведены как вебинар, чат, форум, wiki-проект, виртуальная лаборатория.

Для дисциплины «Информационные технологии в профессиональной деятельности» оптимальной формой проведения практических и лабораторных занятий оказались вебинары и форумы.

На форуме выкладывается задание для самостоятельного выполнения студентами. Задания включают освоение разнообразных приёмов работы в приложениях MS Office и, безусловно, имеют экономическую направленность, например, применение для расчетов финансовых функций Excel.

Выполненные работы студенты выкладывают на этом же форуме, преподаватель их проверяет и рецензирует. Такая форма удобна прежде всего тем, что студент имеет возможность задать вопросы в процессе выполнения задания, а в случае ошибок или неточностей исправить работу и повторно её выложить. Преподаватель же может отслеживать, насколько успешно студенты справляются с работой и соблюдают ли график учебного процесса, и быстро отвечать на вопросы. Кроме того, форум подразумевает возможность отправки личных сообщений, что позволяет преподавателю общаться непосредственно со студентом.

Наиболее проблематичным в дистанционной форме обучения представляется проведение промежуточного контроля – зачётов и экзаменов.

Департамент электронного образования ВятГУ предлагает проводить зачёт в форме тестирования, письменной работы или web-собеседования. По дисциплине «Информационные технологии в профессиональной деятельности» зачёт может быть проставлен «автоматом», то есть по результатам выполнения студентом практических заданий и его активности на форумах. Вторая удобная форма проведения зачёта – это тестирование. Нами разработаны объёмные тесты по приложениям MS Office, позволяющие всесторонне проверить теоретические знания и практические навыки студентов, а также сформированность компетенций в соответствии с образовательными стандартами.

Экзамен может быть проведён в форме теста или web-собеседования.

Ни тот, ни другой вариант, на наш взгляд, не является эффективным для проверки знаний и умений студентов. Тестирование, безусловно, удобная фор-

ма проверки знаний, однако оно более пригодно для текущего контроля. Web-собеседование же более удобно для проведения экзаменов по теоретическим дисциплинам.

Оптимальным вариантом экзамена по дисциплине «Информационные технологии» могло бы быть выполнение студентом практического экзаменационного задания в режиме реального времени с одновременной проверкой преподавателем. Однако, такая форма пока сложно осуществима, так как, во-первых, практически невозможно обеспечить одновременную сдачу экзамена всеми студентами группы или потока, а во-вторых, требуется бесперебойная работа технических средств.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить:

- дистанционная форма обучения как способ получения образования имеет право на существование;
- малое количество аудиторных часов требует большого объёма самостоятельной работы студентов и возможности постоянного контакта с преподавателем;
- нужно совершенствовать учебный процесс, искать новые формы проведения занятий и всех форм промежуточного контроля.

Гибридный коммутационный аппарат постоянного тока последовательного типа с токовой защитой

Головенкин В.А.[a], Пальцев К.А.[b], Микрюков И.В.[c]
Кандидат технических наук, доцент кафедры ЭМА[a]
Магистрант кафедры ЭМА[b]
Магистрант кафедры ЭМА[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: mikryukov.iliya@yandex.ru[c]

Аннотация: Статья посвящена разработке бездугового коммутационного аппарата с защитой от недопустимых по длительности токов перегрузки и токов короткого замыкания, что является актуальной целью. Правильность предложенных технических решений проверялась экспериментальным исследованием опытного образца аппарата путем осциллографирования напряжений и токов основных элементов электрической схемы. Результаты исследований показали верность принципов действия аппарата, его надежность и работоспособность. Предложенный аппарат может быть взять за основу при разработке промышленного образца бездугового контактора с токовой защитой проектирующими организациями коммутационных аппаратов.

Ключевые слова: силовой транзистор, управляемый микроконтроллер, датчик тока, главные контакты аппарата.

Стремление использовать преимущества электромеханических и полупроводниковых ключей привело к созданию коммутационных электрических аппаратов с комбинированной контактно-полупроводниковой системой, в которых функцию пропускания тока и гальваническую развязку осуществляют контакты, а функцию коммутации цепи выполняют силовые полупроводниковые приборы (СПП). Такие аппараты получили название гибридных коммутационных аппаратов (ГКА).

Параметры современных полупроводниковых приборов позволяют им выполнять функцию коммутации цепи в ГКА не только на малую коммутируемую мощность, но и на среднюю и даже высокую. Разработаны и созданы следующие СПП, способные работать в ключевом режиме:

- однооперационные тиристоры на токи до 8 кА и напряжения до 8 кВ;
- двухоперационные тиристоры на токи до 6 кА и напряжения до 6 кВ;
- МОП-транзисторы на токи до 100 А и напряжения до 800 В;

- БТИЗ-транзисторы на токи до 100 А и напряжения до 3кВ.

И это не предел СПП интенсивно совершенствуются, увеличиваются их предельные коммутируемые токи и напряжения, а сопротивление в открытом состоянии снижается, приближаясь к сопротивлению механического контакта. В настоящее время созданы МОП-транзисторы, сопротивление которых в открытом состоянии снижено до 1 мОм (сопротивление механического контакта не превышает 0,1 мОм [Таев]).

В зависимости от способа включения коммутирующего СПП относительно главных контактов ГКА подразделяют на параллельного, последовательного и последовательно-параллельного типов.

В последнее время находит все большее применение ГКА последовательного типа. Это объясняется его основным достоинством – высоким быстродействием при отключении цепи с гальванической развязкой коммутируемых цепей. Их основной недостаток (повышенные потери энергии во включенном состоянии) постепенно уменьшается по мере совершенствования СПП (все меньше сопротивление в открытом состоянии).

Представленный аппарат помимо коммутации электрической цепи так же обеспечивает ее защиту от токов перегрузки и короткого замыкания (КЗ). Надежность при отключении КЗ обеспечивается высоким быстродействием, благодаря которому аппарат отключает электрическую цепь до превышения тока предельно допустимых для аппарата значений. Таким образом, аппарат обладает токоограничивающим свойством.

На рисунке 1а представлена электрическая схема предложенного ГКА. Он состоит из контактора К1 с главными контактами К1.1, силового транзистора VT2, работающего в ключевом режиме, вспомогательного транзистора VT1, коммутирующего цепь катушки контактора. Транзисторы управляются микроконтроллером МК через драйвер D. Питание микроконтроллера и драйвера осуществляется с помощью стабилизаторов ST1, ST2 соответственно на 5 В и 15 В. Конденсатор С1 сглаживает скачки напряжения питания микроконтроллера, конденсатор С2 стабилизирует опорное напряжение аналогово-

цифрового преобразователя (АЦП). Светодиоды VD3, VD4, VD5 выполняют сигнальную функцию. Расшифровки сигналов светодиодов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расшифровка сигналов светодиодов

Сигнал	Значение
Все светодиоды выключены	Отсутствует питание микроконтроллера
Светодиод VD5 мигает	Микроконтроллер успешно прошел инициализацию и находится в режиме ожидания подачи сигнала на включение
Светодиод VD5 непрерывно включен	Подан сигнал управления, аппарат осуществляет коммутацию нагрузки
Светодиод VD4 непрерывно включен	Было произведено отключение аппарата в связи с возникшей недопустимой по времени перегрузкой
Светодиод VD3 непрерывно включен	Было произведено отключение аппарата в связи с возникшим коротким замыканием

Принцип действия ГКА поясняют временные диаграммы, представленные на рисунке 1б. Для включения аппарата замыкают ключ управления S. Микроконтроллер подает напряжение $U_{з1}$ на затвор транзистора VT1, который подключает катушку К1 контактора к напряжению питания Uп. Через время срабатывания контактора $t_{ср}$ замыкаются главные контакты К1.1 без образования электрической дуги во время их дребезга. Спустя время дребезга $t_{др}$ микроконтроллер подает напряжение $U_{з2}$ на затвор силового транзистора VT2, который осуществляет бездуговое подключение нагрузки к питающей сети.

Для выключения аппарата размыкают ключ управления S. Микроконтроллер снимает напряжения $U_{з1}$ и $U_{з2}$ с затворов транзисторов. При этом транзистор VT2 практически мгновенно отключает нагрузку. Через время возврата $t_{в}$ контакты К1.1 размыкают обесточенную цепь, осуществляя гальваническую развязку нагрузки с питающей сетью.

Так данный ГКА осуществляет бездуговую коммутацию цепи нагрузки при ее включении и отключении.

Защита от длительных токов перегрузки и короткого замыкания осуществляется с помощью датчик тока ДТ, принцип работы которого основан на эффекте Холла. Датчик подключается последовательно с нагрузкой и выдает

аналоговый сигнал (напряжение) пропорциональный току нагрузки. Данный сигнал преобразуется микроконтроллером с помощью встроенного аналогово-цифрового преобразователя в дискретный сигнал [Евстифеев], который далее микроконтроллер сравнивает с допустимыми значениями токов. При протекании тока перегрузки свыше допустимого времени задержки микроконтроллер производит аварийное отключение. Допустимое время задержки выбирается из условия надежной эксплуатации коммутируемого оборудования. При превышении тока нагрузки допустимого значения тока КЗ микроконтроллер производит мгновенное отключение цепи.

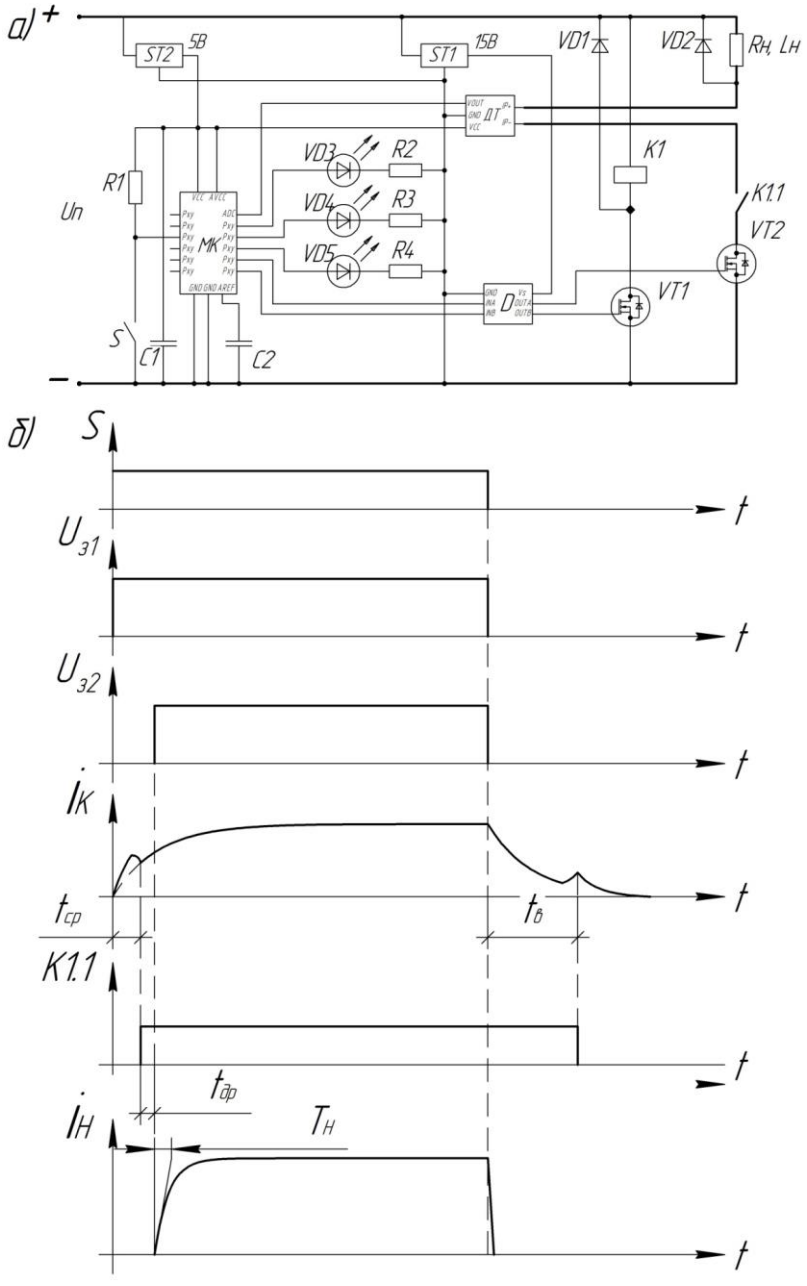


Рисунок 1. Многофункциональный гибридный коммутационный аппарат постоянного тока последовательного типа: а – электрическая схема б - временные диаграммы

На основе временных диаграмм был разработан алгоритм работы микроконтроллера на языке Assembler, изготовлен опытный образец аппарата на базе микроконтроллера Atmega 8, осуществлено опытное исследование. Алгоритм работы микроконтроллера приведен в листинге 1.

Листинг 1. Алгоритм работы микроконтроллера Atmega 8

```
        .cseg
;Векторы прерываний
        .org            0x000
        rjmp            reset
        .org            0x001
        reti
        .org            0x002
        reti
        .org            0x003
        reti
        .org            0x004
        reti
        .org            0x005
        reti
        .org            0x006
        reti
        .org            0x007
        reti
        .org            0x008
        reti
        .org            0x009
        reti
        .org            0x00A
        reti
        .org            0x00B
        reti
        .org            0x00C
        reti
        .org            0x00D
        reti
        .org            0x00E
        rjmp            ADC_conversion
        .org            0x00F
        reti
        .org            0x010
        reti
        .org            0x011
        reti
        .org            0x012
        reti
        .org            INT_VECTORS_SIZE
;Инициализация устройств
        reset:
        cli
        ldi             R21,low(RAMEND)
        out             SPL,R21
        ldi             R21,high(RAMEND)
        out             SPH,R21
;Порт B
        ldi             R21,0xFF
        out             DDRB,R21
;Порт C
        ldi             R21,0x00
        out             DDRC,R21
;Порт D
        ldi             R21,0b1111111
        out             DDRD,R21
;АЦП
        ldi             R21,0b01100101
        out             ADMUX,R21
```

```
        ldi             R21,0b11101110
        out             ADCSRA,R21
;РОН
        ldi             YL,0xFF
        ldi             YH,0xFF
        ldi             R24,0xFF
        ldi             R20,0x08
        rjmp            m0
;Прерывание по окончанию преобразования АЦП
ADC_conversion:
        in              R23,ADCH        ;Запись результата преобразования АЦП в регистр R18
        ldi             R22,0x01
        reti
LED:
        in              R25,PORTB
        ldi             R21,0b1000
        eor             R25,R21
        out             PORTB,R25
        ldi             R20,0x08
        ldi             YL,0xFF
        ldi             YH,0xFF
        rjmp            m1
short_circuit:
        cpi             R23,0xE6        ;Сравнение значения тока с предельно допустимым
        brlo            less                    ;Если меньше переход на метку less
        cbi             PORTB,2         ;Выключение транзистора VT2
        cbi             PORTB,1         ;Выключение транзистора VT1
        cbi             PORTB,3         ;Отключение светодиода VD5
        sbi             PORTB,5         ;Включение светодиода VD3
        ldi             R22,0x00
        rjmp            alarm
less:
        cpi             R23,0xB3        ;Сравнение значения тока с током перегрузки
        brsh            overcurrent             ;Если больше переход на метку overcurrent
        ldi             R24,0xFF
        ldi             R22,0x00
        rjmp    m2
overcurrent:
        dec             R24
        breq            turn_off
        ldi             R22,0x00
        rjmp            m2
turn_off:
        sbi             PORTB,4         ;Включение светодиода VD4
        cbi             PORTB,3         ;Отключение светодиода VD3
        cbi             PORTB,2         ;Выключение транзистора VT2
        cbi             PORTB,1         ;Выключение транзистора VT1
        rjmp            alarm
alarm:
        in              R21,PIND
        andi            R21,0b10000000
        cpi             R21,0b10000000
        brne            alarm
        cbi             PORTB,4         ;Выключение светодиода VD4
        cbi             PORTB,5         ;Выключение светодиода VD3
        rcall           loop
        rjmp            m0
;Подпрограмма антидребезга
loop:
        ldi             ZL,0xD0
        ldi             ZH,0x07
msloop:
        sbiw            ZH:ZL,1
        brne            msloop
        ret
;Подпрограмма задержки
Wait:
        ldi             XL,0x60
        ldi             XH,0xEA
mswait:
        sbiw            XH:XL,1
        brne            mswait
        ret
;Мигание светодиода
m0:
        sbiw            YH:YL,1
        brne            m1
```

```
        dec             R20
        breq            LED
;Ожидание сигнала на включение
m1:
        in              R21,PIND
        andi            R21,0b10000000
        cpi             R21,0b10000000
        breq            m0
;Включение
        rcall           loop                    ;Вызов подпрограммы антидребезга
        sbi             PORTB,3         ;Включение светодиода VD5
        sbi             PORTB,1         ;Включение транзистора VT1
        rcall           Wait                    ;Вызов подпрограммы задержки
        sbi             PORTB,2         ;Включение транзистора VT2
        sei                                     ;Разрешение прерываний
;Ожидание сигнала на выключение
m2:
        in              R21,PIND
        andi            R21,0b10000000
        cpi             R21,0b10000000
        breq            m3
        cpi             R22,0x01
        breq            short_circuit
        rjmp            m2
;Выключение
m3:
        rcall           loop                    ;Вызов подпрограммы антидребезга
        cbi             PORTB,2         ;Выключение транзистора VT2
        cbi             PORTB,1         ;Выключение транзистора VT1
        cbi             PORTB,3
        cli                                     ;Запрет прерываний
        ldi             R22,0x00
        ldi             R20,0x08
        ldi             YL,0xFF
        ldi             YH,0xFF
rjmp            m0
```

Опытный образец осуществил коммутацию активно-индуктивной нагрузки с постоянной времени $T_н$ = 4мс, током 7,5 А, напряжением 30 В; произвел отключение нагрузки при перегрузке и коротком замыкании. На рис. 2 представлена осциллограмма тока нагрузки при включении и отключении цепи. На рис. 3 представлена осциллограмма отключения режима перегрузки при активно-индуктивной нагрузке.

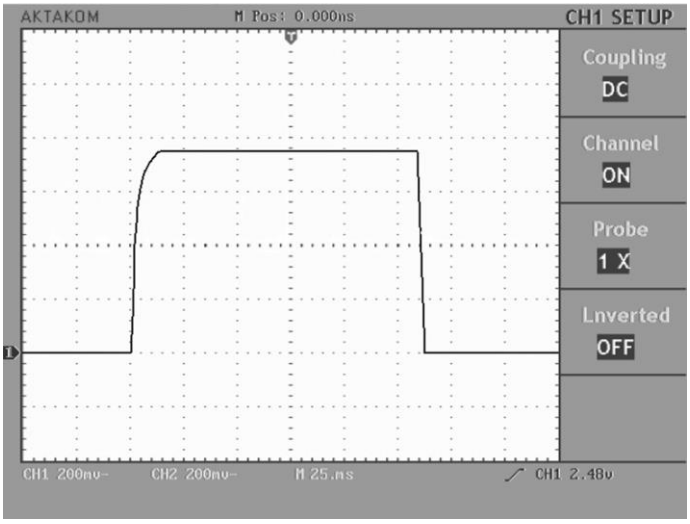


Рисунок 2. Осциллограмма тока активно-индуктивной нагрузки $i_н = f(t)$

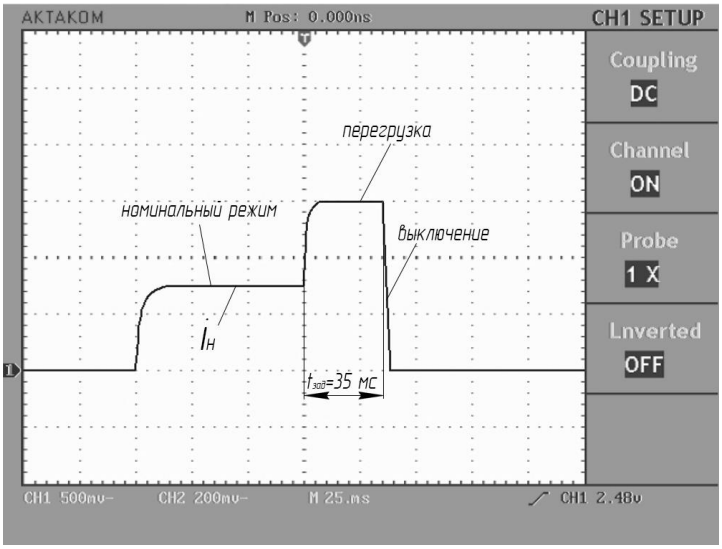


Рисунок 3. Осциллограмма выключения режима перегрузки при активно-индуктивной нагрузке

Проведенные экспериментальные исследования опытного образца предложенного ГКА подтвердили его надежную работоспособность. Это дает право рекомендовать его в качестве базового образца при создании промышленного аппарата с бездуговой коммутацией, с токовой защитой и гальванической развязкой коммутируемых цепей.

Список литературы

1.Таев. И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения. М.: Энергия, 1973. 423 с.

2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel». М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.

Разработка и исследование гибридного коммутационного аппарата постоянного тока

Головенкин В.А.[a], Пальцев К.А.[b], Микрюков И.В.[c]
Кандидат технических наук, доцент кафедры ЭМА[a]
Магистрант кафедры ЭМА[b]
Магистрант кафедры ЭМА[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: mikryukov.iliya@yandex.ru[c]

Аннотация: Электрическая дуга – основная причина снижения износостойкости контактных коммутационных аппаратов. Создание бездуговых контактных аппаратов – кардинальное решение данной проблемы. В статье предложена на уровне изобретения электрическая схема гибридного коммутационного аппарата, представлены временные диаграммы напряжений и токов основных элементов аппарата при коммутации цепи, приведено экспериментальное исследование опытного образца, подтверждающее правильность понимания процессов при коммутации и работоспособность образца, приведена программа работы микроконтроллера. Коммутационный аппарат имеет основной контактор, вспомогательное реле и микроконтроллерную систему управления. Предложенный аппарат может быть взят за основу при создании промышленного образца.

Ключевые слова: бездуговая коммутация, силовые контакты, шунтирующий транзистор, программируемый микроконтроллер.

Основной проблемой контактных коммутационных аппаратов является электрическая дуга с ее мощным разрушающим воздействием на контакты. Особенно остро эта проблема стоит в коммутационных аппаратах постоянного тока. Традиционные способы снижения дуговой эрозии (применение более дугостойких материалов, увеличение эффективности дугогасительных устройств и т.д.) исчерпали свои возможности. Кардинальным решением данной проблемы является разработка бездуговых коммутационных аппаратов, на контактах которых не возникает электрическая дуга при коммутации цепи.

Создание бездуговых аппаратов возможно посредством применения для коммутации цепи силовых полупроводниковых приборов (СПП). При этом стремятся использовать преимущества контактной системы (низкие потери мощности, высокая перегрузочная способность, гальваническая развязка коммутируемых цепей) и преимущества СПП (бездуговая коммутация с высоким

быстродействием). Коммутационные аппараты с контактно-полупроводниковой системой получили название гибридных (ГКА).

Экспериментальное исследование показало, что износостойкость ГКА в 20…40 раз больше чем у обычных контактных аппаратов [Кузнецов]. По мере совершенствования ГКА их коммутационная износостойкость будет приближаться к механической. ГКА – это коммутационные аппараты нового поколения.

На рис. 1а представлена электрическая схема ГКА, предложенная авторами данной статьи на уровне изобретения [Головенкин]. Аппарат состоит из контактора К1 с главными контактами К1.1 и вспомогательного реле К2 с контактами К2.1 на небольшую коммутируемую мощность. Главные контакты аппарата шунтируются цепочкой, состоящей из последовательно соединенных силового транзистора VT3 и вспомогательных контактов К2.1. Транзисторы управляются программируемым микроконтроллером МК через драйвер D. Микроконтроллер и драйвер питаются от стабилизаторов напряжения ST2 и ST1 на 5 и 15 вольт соответственно. Конденсатор С сглаживает броски напряжения питания микроконтроллера. Светодиод VD4 выполняет сигнальную функцию. Управление аппаратом осуществляется с помощью ключа S. Резистор R2 предотвращает ложные срабатывания микроконтроллера.

Принцип действия ГКА поясняют временные диаграммы состояний контактов, напряжений и токов элементов схемы (рис. 1б). Для включения аппарата замыкают ключ S. Микроконтроллер подает напряжение $U_{з2}$ на затвор транзистора VT2, который подключает катушку К2 реле к напряжению питания $U_{п}$. Через время срабатывания $t_{ср2}$ реле замыкаются вспомогательные контакты К2.1 без возникновения дуги во время их дребезга, так как шунтирующая цепь обесточена. Спустя время дребезга $t_{др2}$ контактов К2.1 микроконтроллер подает напряжение $U_{з1}$ и $U_{з3}$ на затворы транзисторов VT1 и VT3. Транзистор VT1 подключает катушку К1 контактора, а транзистор VT3 нагрузку к питающей сети. В результате ток i_{VT3} шунтирующего транзистора VT3 начинает нарастать при активно-индуктивной нагрузке по экспоненциальному закону с постоянной

времени $T_н = L_н / R_н$. Через время срабатывания $t_{ср1}$ контактора его контакты К1.1 замыкаются и большая часть тока нагрузки переходит в цепь главных контактов аппарата.

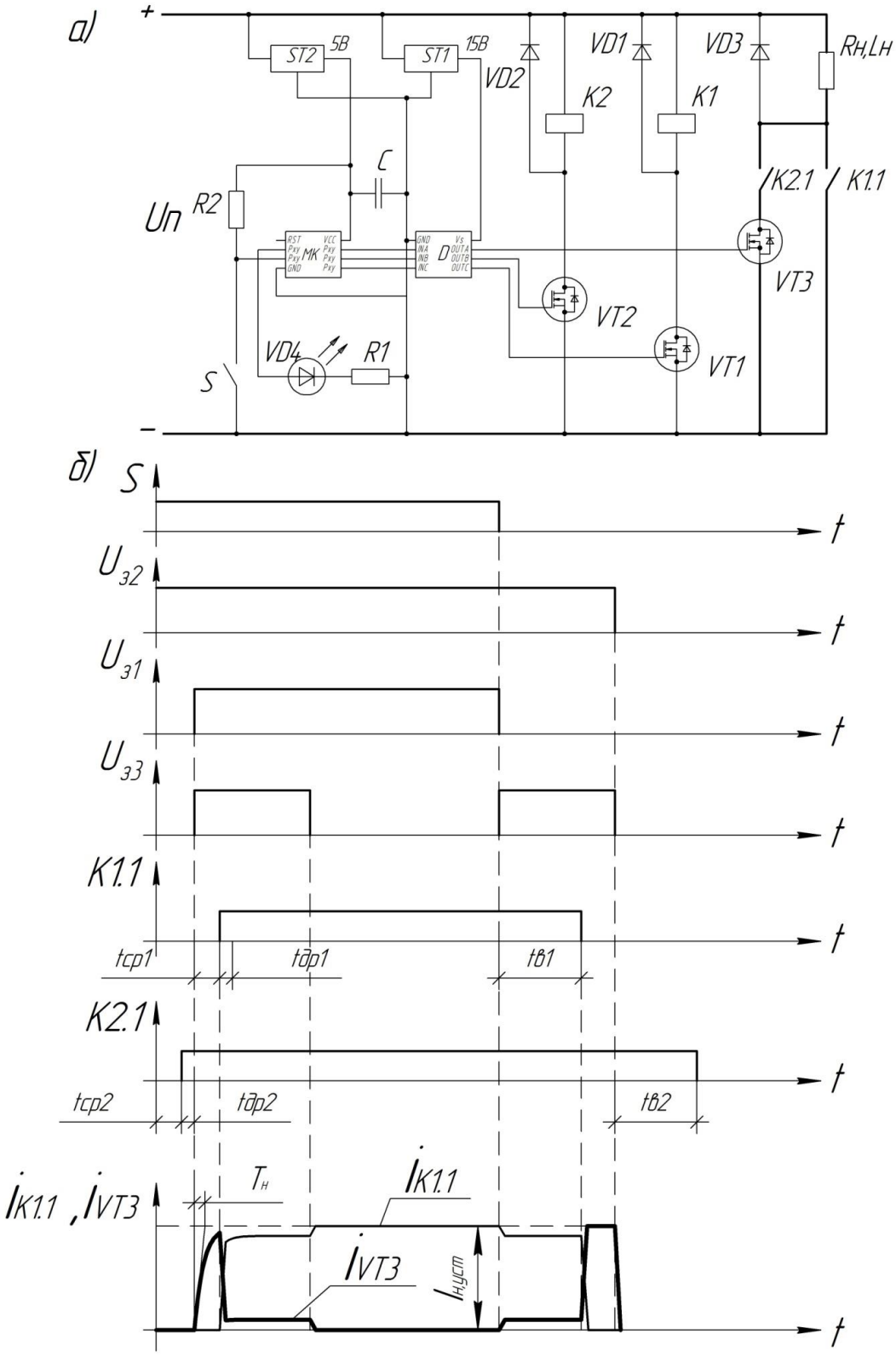


Рисунок 1. Гибридный коммутационный аппарат постоянного тока: а – электрическая схема; б – временные диаграммы

Токи в параллельных цепях распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям: $i_{K1.1} / i_{VT3} = (R_{VT3.OC} + R_{K2.1}) / R_{K1.1}$, где $R_{VT3.OC}$ - сопротивление транзистора VT3 в открытом состоянии ($R_{VT3.OC} > R_{K1.1}$)

При этом дугообразование на главных контактах К1.1 во время их дребезга не происходит, так как напряжения на них недостаточно для возникновения дугового разряда (примерно 1,5 В, для образования разряда необходимо не менее 12…17 В). После времени дребезга $t_{др1}$ контактов К1.1 и небольшой задержки микроконтроллер снимает напряжение $U_{з3}$ с затвора транзистора VT3 и он закрывается. В результате весь ток нагрузки окончательно переходит в цепь главных контактов К1.1. Так аппарат осуществляет включение нагрузки без дугообразования во время дребезга контактов К1.1 и К2.1.

Во включенном состоянии аппарата весь ток нагрузки идет через его главные контакты.

Для выключения аппарата размыкают ключ управления S. Микроконтроллер подает напряжение $U_{з3}$ на затвор транзистора VT3 и снимает напряжение $U_{з1}$ с затвора транзистора VT1. Транзистор VT1 закрывается, а аппарат начинает выключаться. При этом ток нагрузки начинает переходить из цепи главных контактов в шунтирующую цепь, распределяясь обратно пропорционально их сопротивлениям. Через время возврата $t_{в1}$ контактора его контакты К1.1 начинают расходиться без образования дуги, так как напряжения на них недостаточно для образования дугового разряда. Напряжение на шунтирующем контуре возрастает и ток главных контактов при минимальной индуктивности контура «Главные контакты – вспомогательные контакты – транзистор VT3» практически мгновенно переходит в цепь силового транзистора. Главные контакты продолжают расходиться уже в обесточенном состоянии. После времени возврата $t_{в1}$ контактора и небольшой задержки МК снимает управляющие сигналы $U_{з2}$ и $U_{з3}$. При этом транзистор VT3 закрывается, отключая нагрузку, а спустя время возврата $t_{в2}$, размыкаются вспомогательные контакты К2.1, осуществляя гальваническую развязку нагрузки с питающей сетью. Так осуществляется бездуговое отключение цепи.

Преимущества предложенного аппарата:

- бездуговая коммутация постоянного тока в широком диапазоне;

- пониженные требования к силовому транзистору по току, что обуславливается кратковременным (несколько миллисекунд) прохождением тока нагрузки через него в процессе коммутации цепи;

- гальваническая развязка нагрузки с питающей сетью в выключенном состоянии ГКА;

- программируемый микроконтроллер позволяет легко скорректировать алгоритм работы системы управления в соответствии с изменившимися параметрами электромеханической части контактора или нагрузки;

- микроконтроллер позволяет расширить функциональные возможности аппарата, например, осуществить защиту от недопустимого тока перегрузки или короткого замыкания;

Основным недостатком аппарата является наличие вспомогательного маломощного реле, обеспечивающего гальваническую развязку коммутируемых цепей.

Этот недостаток можно устранить, применив контактор с вспомогательными контактами, при включении замыкающимися первыми относительно главных контактов, а при выключении - вторыми, после главных контактов.

Если приемник энергии не требует гальванической развязки с питающей сетью, то необходимость в специальных контактах отпадает. Аппарат становится простым, с повышенной надежностью. Кроме того, возрастает быстродействие при срабатывании, становясь равным времени включения транзистора VT3. Облегчается переход тока нагрузки с главных контактов в шунтирующий транзистор при отключении цепи.

В соответствии с электрической схемой был создан опытный образец коммутационного аппарата, так же было проведено его экспериментальное исследование. При разработке системы управления использовался микроконтроллер ATtiny13A, была написана программа его работы на языке Assembler. Текст программы приводится в листинге 1.

Листинг 1. Программа работы микроконтроллера ATtiny13A

```
       .cseg
;Инициализация стека
       ldi           R16,low(RAMEND)
       out           SPL,R16
;Инициализация портов I/O
       ldi           R16,0b1111
       out           DDRB,R16
;Регистры общего назначения
       ldi           R28,0xFF
       ldi           R29,0xFF
       rjmp          m0
;Подпрограмма антидребезга
loop:
       ldi           R30,0xC8
       ldi           R31,0x01
msloop:
       sbiw          R31:R30,1
       brne          msloop
       ret
;Подпрограмма задержки
wait:
       ldi           R26,0xB8
       ldi           R27,0x0B
mswait:
       sbiw          R27:R26,1
       brne          mswait
       ret
;Мигание светодиода VD4
m0:
       sbiw          R29:R28,1
       brne          m1
       ldi           R28,0xFF
       ldi           R29,0xFF
       in            R17,PORTB
       ldi           R16,0b1000
       eor           R17,R16
       out           PORTB,R17
;Ожидание сигнала на включение
m1:
       in            R16,PINB
       andi          R16,0b10000
       cpi           R16,0b10000
       brne          m2
       rjmp          m0
;Включение
m2:
       rcall         loop                    ;Вызов подпрограммы антидребезга
       sbi           PORTB,1                 ;Включение транзистора VT2
       sbi           PORTB,3                 ;Включение светодиода VD4
       rcall         wait                    ;Вызов подпрограммы задержки
       sbi           PORTB,2                 ;Включение транзистора VT3
       sbi           PORTB,0                 ;Включение транзистора VT1
       rcall         wait                    ;Вызов подпрограммы задержки
       cbi           PORTB,2                 ;Выключение транзистора VT3
;Ожидание сигнала на выключение
m3:
       in            R16,PINB
       andi          R16,0b10000
       cpi           R16,0b10000
       breq          m4
       rjmp          m3
m4:
       rcall         loop                    ;Вызов подпрограммы антидребезга
```

```
        sbi         PORTB,2                 ;Включение транзистора VT3
        cbi         PORTB,0                 ;Выключение транзистора VT1
        cbi         PORTB,3                 ;Выключение светодиода VD4
        rcall       wait                    ;Вызов подпрограммы задержки
        cbi         PORTB,2                 ;Выключение транзистора VT3
        cbi         PORTB,1                 ;Выключение транзистора VT2
        ldi         R28,0xFF
        ldi         R29,0xFF
rjmp        m0
```

Опытный образец аппарата осуществил 100 бездуговых отключений активно-индуктивной нагрузки цепи с постоянной времени $T_н$=4 мс, с током 7,5 А и напряжением 30 В, что говорит о надежности его работы. На рис. 2 представлены осциллограммы тока i_{VT3} силового транзистора VT3 и тока $i_{K1.1}$ главных контактов ГКА при включении и выключении цепи, снятые цифровым осциллографом. Осциллограммы совпадают с временными диаграммами, что подтверждает правильность понимания переходных процессов при коммутации цепи постоянного тока.

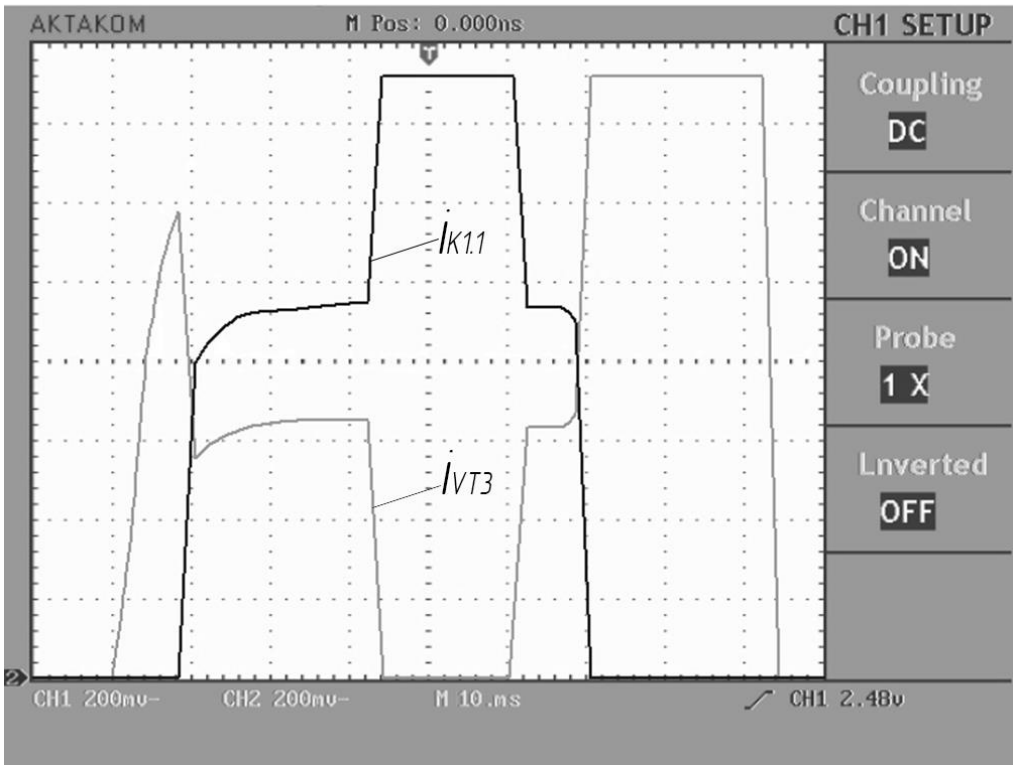


Рисунок 2. Осциллограммы токов силового транзистора VT3 и главных контактов К1.1 ГКА при коммутации активно-индуктивной нагрузки

Учитывая бездуговую коммутацию, контактный зазор контактора ГКА выбирается не из условия надежного гашения дуги, как это делается в обычных коммутационных аппаратах, а из условия надежного не пробоя контактного за-

зора. Благодаря этому становится возможным уменьшить силу электромагнита и, как следствие, размеры его магнитной системы.

Кроме того, бездуговая коммутация позволяет применить мягкий контактный материал, что дает возможность уменьшить силу контактного нажатия для создания необходимого переходного сопротивления контактов. Уменьшение контактного зазора и силы контактного нажатия позволяет существенно уменьшить габариты и стоимость электромеханической части контактора.

В результате существует реальная возможность создания промышленного образца ГКА, габариты и стоимость которого если и возрастут относительно обычного коммутационного аппарата, то несущественно. Возросшая стоимость окупится за счет снижения потерь электрической энергии, износа дорогостоящего контактного материала и увеличения срока службы аппарата.

Список литературы

1. Кузнецов Р. С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. М.: Энергия, 1970. 543 с.

2. Головенкин В.А., Хвостанцев А.С. Бездуговой электронно-механический контактор. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2016147631 от 15.12.2016.

Сравнительный анализ различных видов букс, применяемых в концевых балках мостового крана

Гордин А. С.[a], Сергеев Д. Г.[b]
магистрант[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: andreyka_gordin@mail.ru[a], sergeev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Объектом изучения в данном случае являются элементы мостовых опорных однобалочных и двухбалочных кранов, которые широко используются на производственных площадках, а также в небольших цехах и ремонтных мастерских**.** В работе проводится статический расчет концевых балок с разными видами букс на механизме передвижения. Сравниваются полученные результаты и формулируется заключение о наиболее правильном конструктиве концевой балки. Рассматриваются различные виды сечений и различные варианты закреплений. Рассчитываются Г-образные буксы, угловые и балки на модулях. В данной работе исследуются автоматизированными средствами инженерного анализа показатели по смещению, напряжению и коэффициенту запаса прочности три вида, разных по конструкции, букс концевой балки, являющихся основным элементом мостового крана. Расчетами обоснован выбор конструкции для данных деталей.

Ключевые слова: букса концевой балки, мостовой кран, системы инженерного анализа, CAE, смещение, коэффициент запаса прочности, напряжение.

В современном мире роль краностроения очень важна для любой сферы отрасли, что ярко показывает практика. География распространения грузоподъемного оборудования практически не имеет ограничений. Краны требуются как на самых мощных производственных площадках, так и в небольших цехах и ремонтных мастерских. Грузоподъемные краны различаются по конструктивному исполнению, типу грузозахватного устройства, соответствующего характеру выполняемых работ, заданной траектории перемещения груза; углу поворота рабочих органов, ходовому устройству, по роду привода механизмов [1].

Перечислим наиболее используемые конструкции кранов [2,3]:

– кран мостовой опорный – кран, у которого мост опирается непосредственно на крановый путь, размещаемый на подкрановых строительных конструкциях;

– кран мостовой подвесной – кран, у которого мост подвешен к нижним полкам надземного кранового пути;

– кран-штабелер мостовой – кран мостовой, оборудованный вертикальной колонной с грузоподъемником (устройством) для штабелирования груза;

– кран козловой – кран, у которого мост опирается на крановый путь при помощи двух опорных стоек;

– кран полукозловой – кран, у которого мост опирается на крановый путь с одной стороны непосредственно, а с другой стороны – при помощи опорной стойки.

У нас наибольший интерес вызывают мостовые опорные однобалочные и двухбалочные краны.

Постановка задачи

Грузоподъемные машины (ГПМ) относятся к объектам повышенной опасности, требующим к себе повышенного внимания как на этапе проектирования и изготовления, так и эксплуатации. Поэтому немаловажную роль играет правильный выбор узлов моста крана и верный подбор сечения металлоконструкции. В данной работе мы рассмотрим три вида, разных по конструкции, букс концевой балки мостового крана.

1. Произвести статический расчет концевых балок с разными видами букс на механизме передвижения. Сравнить полученные результаты и сделать заключение о наиболее правильном конструктиве концевой балки.

2. Разработка нового (оригинального) виды буксы и/или сечения концевой балки, имеющую необходимую жесткость и прочность при относительно небольшой собственной массе.

3. Учесть при разработке новых видов букс и сечений применение легкодоступных недорогостоящих материалов, при условии сохранения прочности и жесткости конструкции.

4. Вновь разработанные элементы конструкций должны просто собираться при стапельной сборке и «легко» обваривать со всех сторон.

Для верного сравнения результатов принимаем у всех балок одинаковую базу В и одинаковое поперечное сечение. Ниже на рисунках 1-6 показан общий вид концевых балок с указанием основных элементов конструкции (1 – буфер, 2 – модуль колесный приводной, 3 – коробка, 4 – модуль колесный холостой).

Параметры сечения: J_x=19355,83 см^4; М=66 кг/м; y_{max}=19,3 см; W_x=1002,89 см^3; S_x=501,45 см^3,

где J_x – момент инерции, М – масса 1 погонного метра сечения, y_{max} – максимальное расстояния от центра масс сечения до края сечения, W_x – момент сопротивления, S_x – статический момент площади сечения.

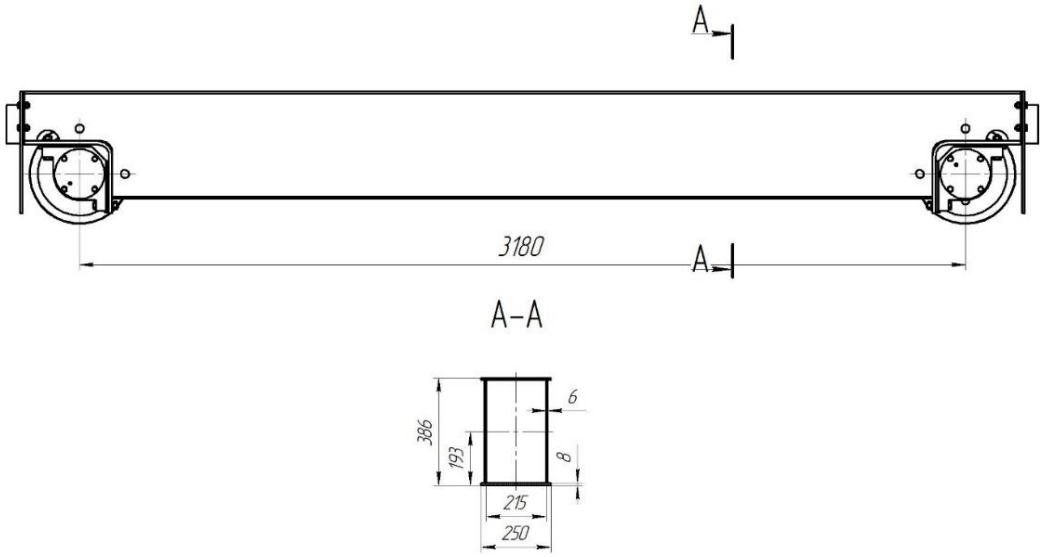


Рисунок 1. Основные размеры и параметры концевой балки.

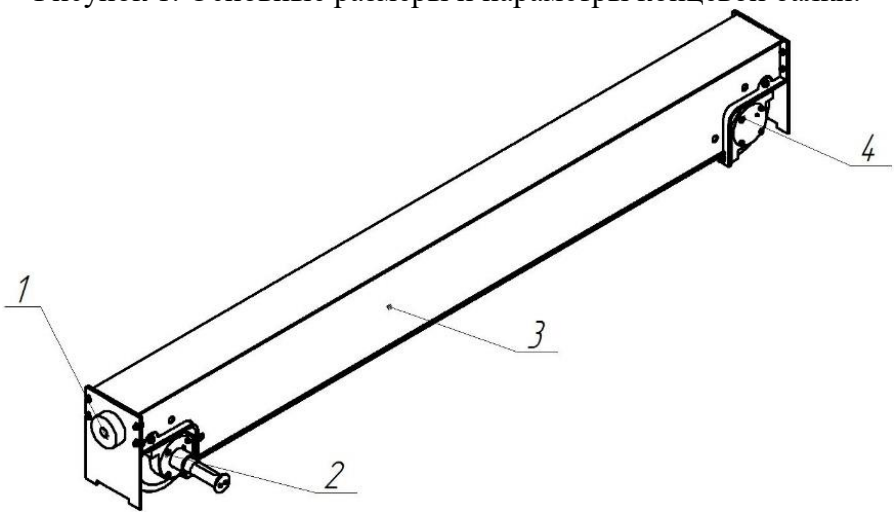


Рисунок 2. Балка концевая с Г-образными буксами.

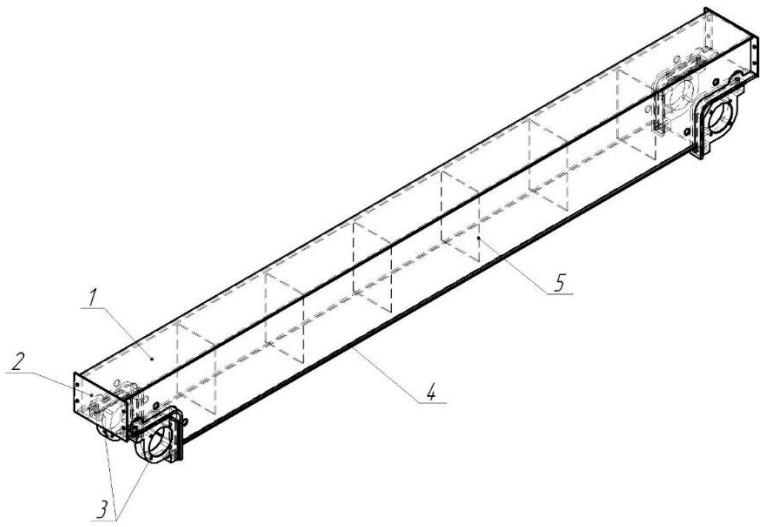


Рисунок 3. Коробка с Г-образными буксами.

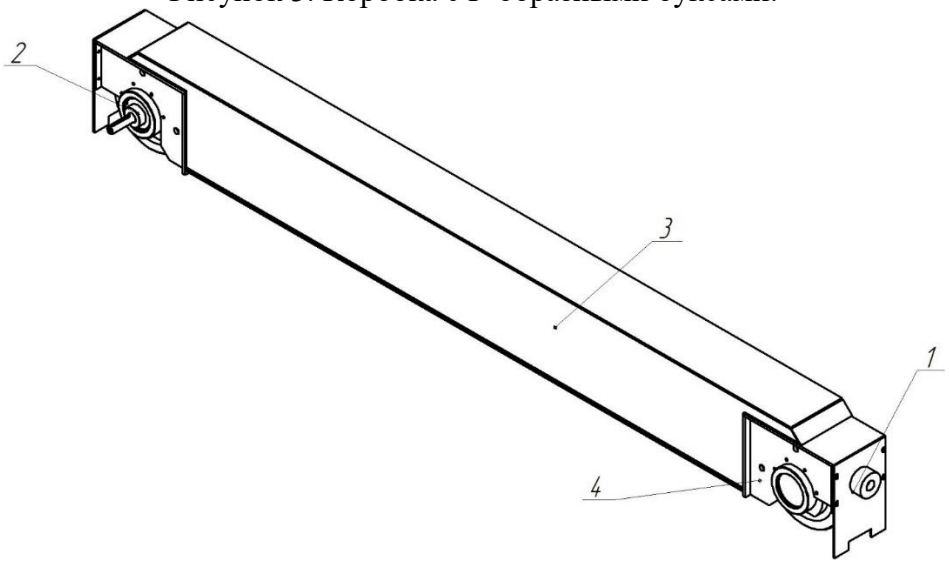


Рисунок 4. Балка концевая на модулях.

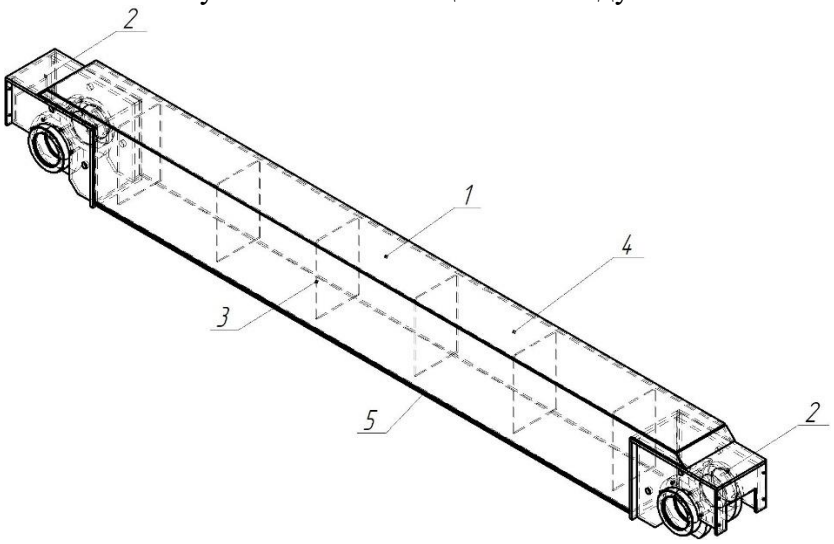


Рисунок 5. Коробка на модулях.

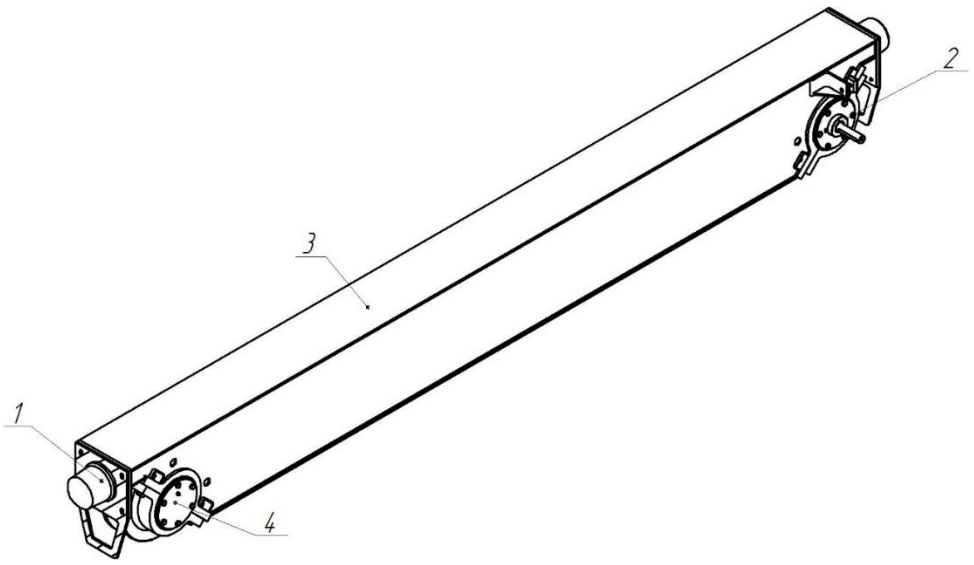


Рисунок 6. Балка концевая на угловых буксах.

Расчет балок ведется из условия, что данные концевые балки будут применяться при работе мостового опорного крана грузоподъемностью Q=10 тонн. Отсюда находим нагрузку, которая будет действовать на концевую балку при статических испытаниях.

Материалы: боковой лист, верхний пояс, нижний пояс, диафрагмы, торцовые листы – Сталь 09Г2С; букса – Сталь 20. Материал моделируется в системе инженерного анализа путем настроек параметров системы [4,5].

Расчет концевой балки с Г-образными буксами представлен на рисунке 8.

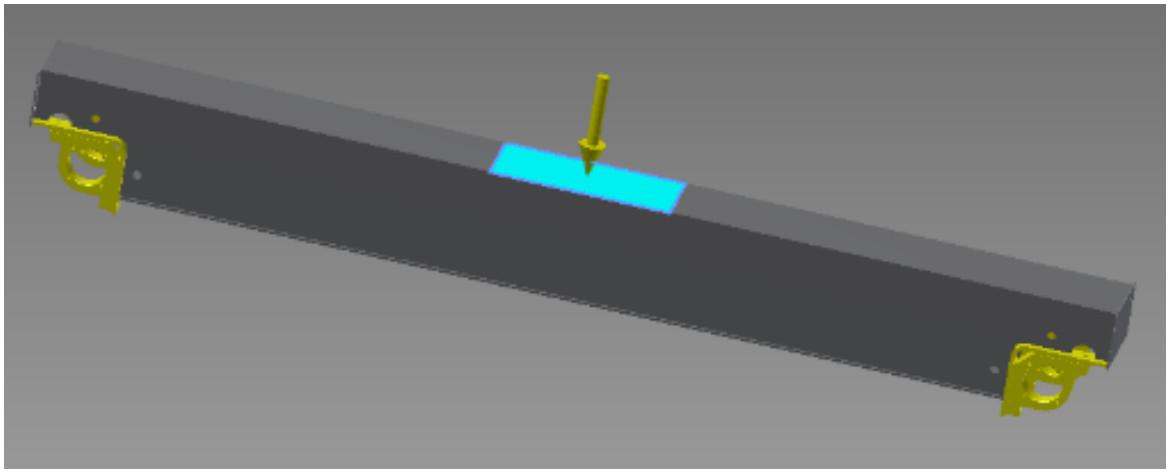


Рисунок 8. Схема закрепления и нагружения балки.

Результаты расчетов: напряжение по Мизесу – 78,8744 МПа, смещение – 0,532719 мм, коэффициент запаса прочности – 5,15153. Карта результатов представлена на рисунке 9.

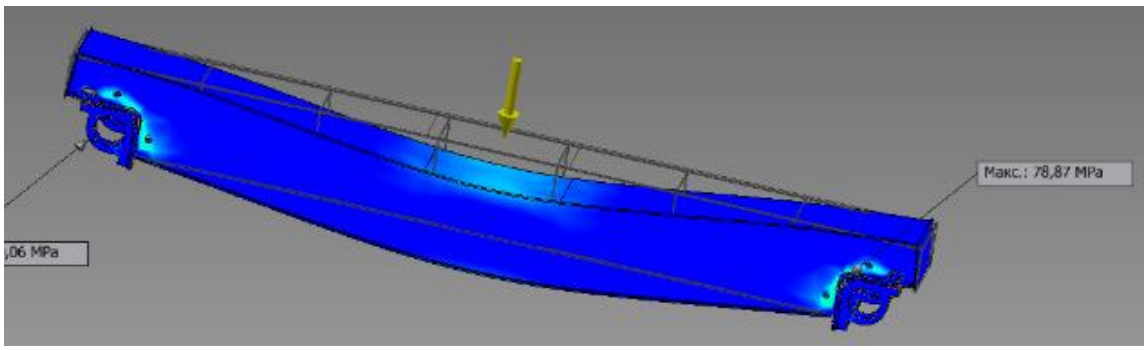


Рисунок 9. Карта результатов.

Можно обратить внимание на то, что около букс возникает скачок напряжений, что говорит нам о том, что данный вид букс является концентратором напряжений. По аналогичной схеме проводился расчет концевой балки на модуле. Результаты расчета: напряжение по Мизесу – 85,2776 МПа, смещение – 0,564611 мм, коэффициент запаса прочности – 4,82665. Карта результатов представлена на рисунке 10.

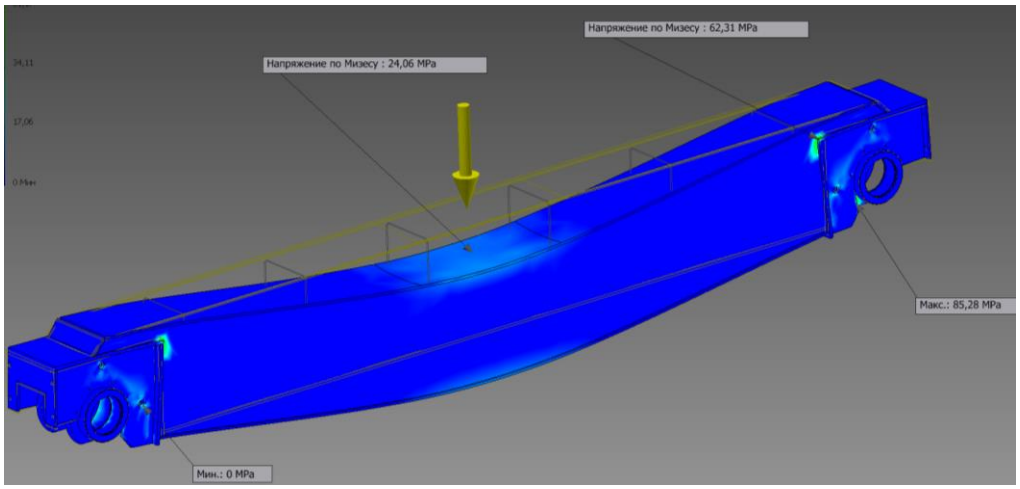


Рисунок 10. Карта результатов.

При такой конструкции концевой балки высокие напряжения возникают на участках, где контур резко меняет направление. Эту проблему можно решать путем раскроя листа в данном преломлении (не делать угол резким 90˚, а выполнить угол отверстием, тем самым мы избавимся от концентратора напряжения. Результаты аналогичного расчета концевой балки на угловом модуле (угол разъема = 45˚): напряжение по Мизесу – 75,3805 МПа, смещение – 0,434369 мм, коэффициент запаса прочности – 4,64311. Карта результатов представлена на рисунке 10.

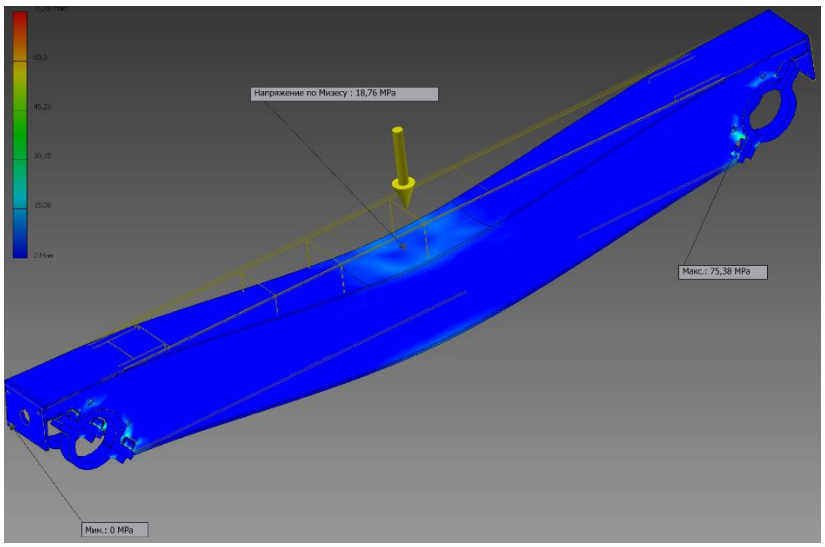


Рисунок 13. Карта результатов.

Из-за невысоких напряжений и равномерной распределенности нагрузки данный вид концевых балок применяют при тяжелых режимах работы, а также на специальных кранах. Данная балка имеет высокую прочность при относительно малой массе металлоконструкции.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Максимальные напряжения возникают в металлоконструкции концевой балки на модуле, поэтому не рекомендуется балку данной конструкции применять на кранах большой грузоподъемностью и тяжелых режимов работы (А6 и выше).

2. Сравнивая оставшиеся два варианта, обратим внимание на то, что при применении разрезной буксы под 45˚ нет резких перепадов напряжений, что свидетельствует о равномерном распределении нагрузки и как следствие большему сроку службы.

Список литературы

1. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов и др.: — М.: Машиностроение, 1986 — 400 с., ил.

2. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В. Д. Брауде, М. М. Гохберг, И. Е. Звягин и др. Под общ. ред. М. М. Гохберга. М.: Машиностроение, 1988. 536 с.

3. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы / М. П. Александров, М.

М. Гохберг, А. А. Ковин и др. Под общ. ред. М. М. Гохберга. М.: Машиностроение, 1988. 559 с.

4. Сергеева А.В., Грачев С.П., Сергеев Д.Г. Подбор параметров материалов при исследовании частотных характеристик деталей в системах инженерного анализа // МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР, СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ сборник материалов IV международной конференции. Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. 2017. С. 31–35.

5. Грачев, С. П., Сергеева А. В., Сергеев Д. Г. Использование экспериментальных данных при настройках параметров материалов в системах инженерного анализа // ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2017): Сб. статей всерос. ежегод. науч.-практ. конф.-Киров: Науч. изд-во ВятГУ, 2017. С. 931–936.

Анализ напряженно-деформированного состояния тяговой пластинчатой втулочной цепи

Грачев С.П., Струков Р.М.
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении
магистрант
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: graqchev@vyatsu.ru[a], strucof90@yandex.ru

Аннотация: Проектирование изделий в условиях современного производства основано на использовании интегрированных CAD/CAE систем. Это ускоряет процесс проектирования, повышает качество проектирования и сокращает затраты. Проектирование и производство приводных цепей требует разработки цифровых моделей. Такая модель должна быть идентифицирована по результатам натурных испытаний. В работе проводится анализ напряженно-деформированного состояния тяговой пластинчатой втулочной цепи методом конечных элементов на основе модели построенной по данным натурных испытаний. Определена допустимая сила растяжения в опасном сечении. Методом конечных элементов рассчитано удлинение тяговой цепи под действием этой силы.

Ключевые слова: цифровая модель тяговой цепи, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

Введение. Тяговые пластинчатые втулочные цепи применяют в подъемно-транспортных машинах и других механизмах. Цепи испытывают значительные статические и динамические нагрузки, к ним предъявляются высокие требования по прочности и надежности [1].

Постановка цели и задач исследования. В данной статье методом конечных элементов (МКЭ) определяется удлинение отрезка тяговой пластинчатой цепи под действием предельной статической нагрузки.

Конструкция тяговой пластинчатой цепи показана на рис. 1.

Для выполнения расчета необходимо построить модель цепи. Пример такой модели показан на рис. 2а. Модель создавалась в среде системы КОМПАС-3D.

Методы исследования. Модель цепи аппроксимируется тетраэдральная сеткой. Конечно-элементная модель, общий вид которой приводится на рис. 2б, состоит из 161373 элементов и 262882 узлов.

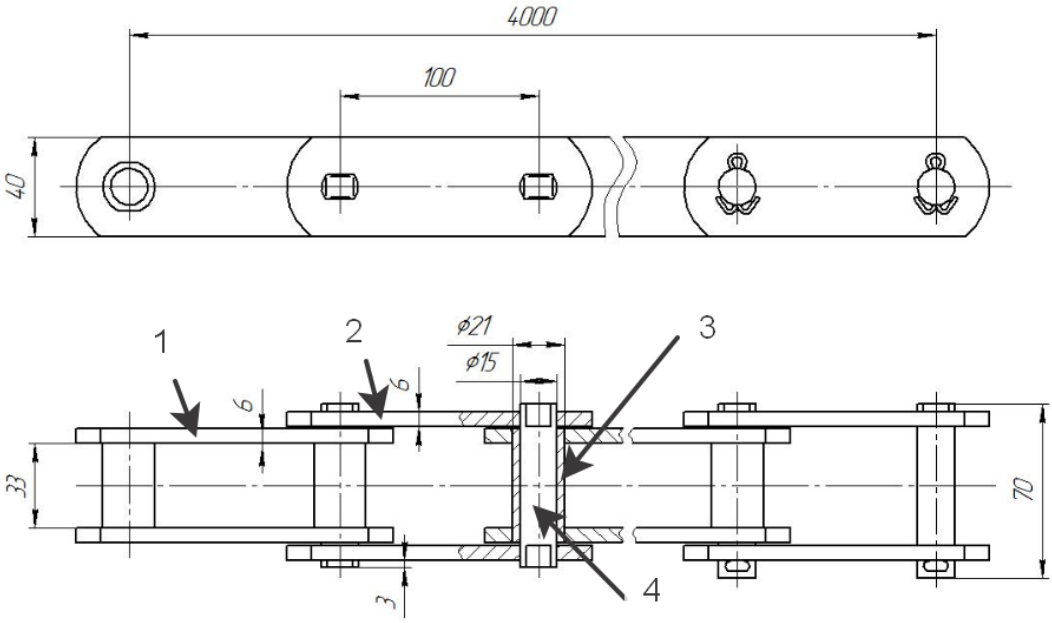


Рисунок 1. Цепь тяговая пластинчатая М112-1-100-1: 1 – пластина внутренняя; 2- пластина внешняя; 3 – втулка; 4 – валик.

а). б).

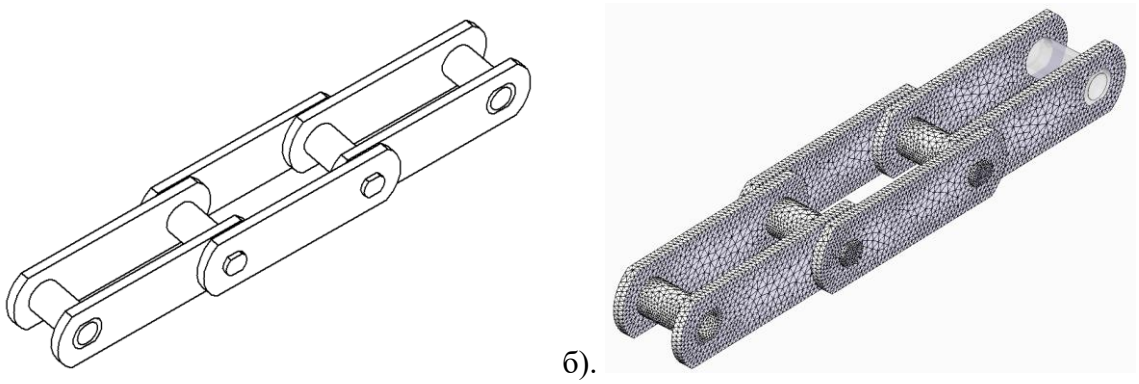


Рисунок 2. Модель тяговой пластинчатой цепи: а – 3D модель; б – сеточная модель

При построении расчетной модели необходимо задать закрепления узлов сетки, направление и величину нагрузки. В соответствии с техническими требованиями для цепи М112-1-100-1 с шагом 100 мм предельная нагрузка 112 кН [1].

Выбор закрепления узлов сетки влияет на адекватность модели. Испытания цепи статической нагрузкой на машине Р50М приводят к разрыву внутренней пластины по отверстию (рис. 3). Этот факт учитывался при создании контактов между деталями цепи в сеточной модели.

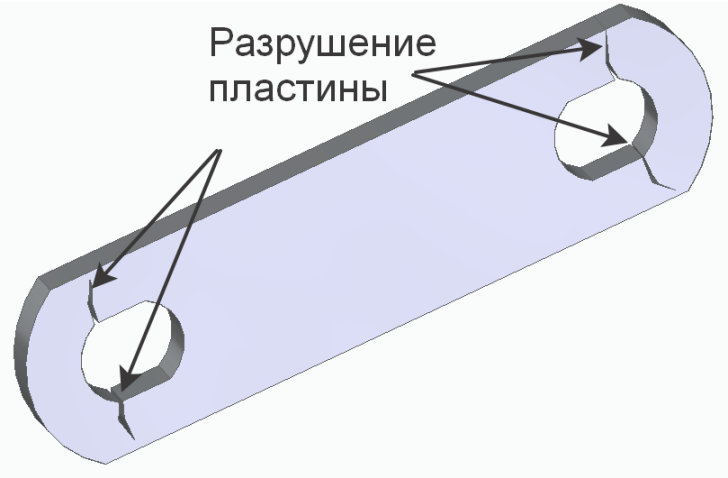
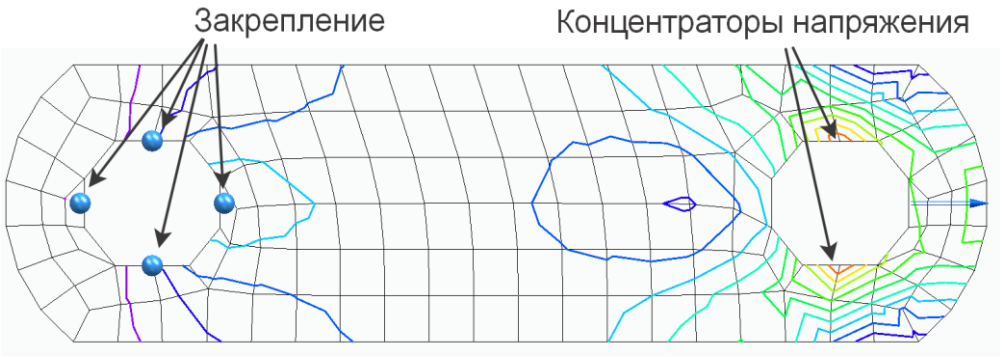


Рисунок 3. Разрушение внутренней пластины цепи (реконструкция)

На рис. 4 показаны два возможных варианта закрепления пластины при задании параметров расчетной модели.

а).



б).

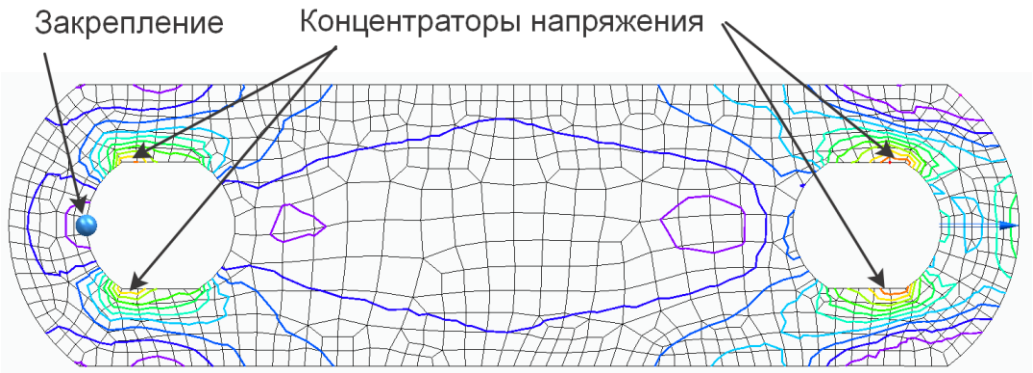


Рисунок 4. Расположение концентраторов напряжений:

а – закрепление по всем граням отверстия;

б – закрепление по одной грани

В первом варианте, узлы сеточной модели на всех гранях фасонного отверстия лишаются всех степеней свободы. Во втором варианте – закрепление только по одной грани фасонного отверстия.

Предварительные расчеты напряженно-деформированного расстояния цепи МКЭ показали, что расположения концентраторов напряжений в модели совпадает с результатами испытаний реального образца при втором варианте закрепления т.е. при закреплении только по одной грани фасонного отверстия (рис. 4б). Таким образом, эта схема закрепления была принята при проведении расчетов.

Определим допустимое расчетное напряжение в опасном сечении пластины цепи при коэффициенте запаса равному 2. Примем предел текучести для материала пластины из стали 50 равное 680 МПа.

Коэффициент запаса по пределу текучести материала определяется по формуле:

$$n = \sigma_т/\sigma,$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала, МПа;

σ – расчетное напряжение в опасном сечении, МПа.

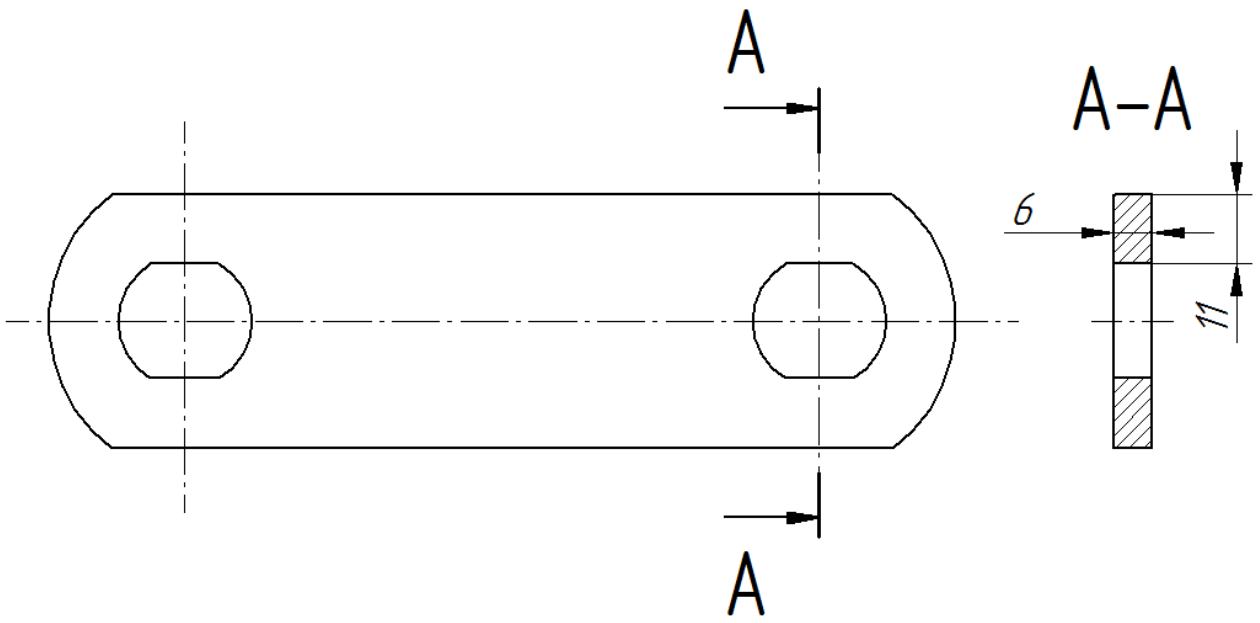


Рисунок 5. Размеры опасного сечения пластины цепи

Площадь опасного сечения в соответствии с размерами пластины равна 132 мм^2 (рис. 5).

Следовательно, допустимое усилие растяжения тяговой цепи не должно превышать значения:

$$F = \sigma \cdot S = 340 \cdot 132 \cdot 10^{-6} = 44{,}9 \text{ кН}.$$

Результаты исследования. Удлинение отрезка тяговой пластинчатой цепи определялось методом конечных элементов в системе Solid Edge Simulation для участка из 10 звеньев при нагрузке 89,76 кН. Удлинение цепи составило 1,3 мм.

В процессе исследований было выяснено, что можно уменьшить размерность конечно-элементной модели практически без потери точности вычислений, заменив тетраэдральную сетку пластин на поверхностную. При этом нужно представить модель пластины цепи как деталь из листового материала и построить среднюю поверхность в соответствующей среде системы «Деталь листовая». Время вычислений при этом сокращается в 5-7 раз.

Заключение. Таким образом, на основании цифровой модели тяговой пластинчатой втулочной цепи, построенной с учетом натурных испытаний, была определена допустимая сила растяжения. Определено удлинение отрезка цепи методом конечных элементов под действием этой силы. Предложен метод уменьшения размерности конечно-элементной модели путем перехода к листовой модели пластины тяговой цепи с поверхностной сеткой.

Список литературы

1. ГОСТ 588-81 Цепи тяговые пластинчатые. Технические условия Прин. 11.10.2012 ; действ. с 01.07.1981. М. : Стандартинформ, 2002. URL: http://gostexpert.ru/gost/gost-588-81 (дата обращения 13.02.2018).

2. Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Соловьев В.А., Курносенко А.Е. Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 272 с.: ил.

Моделирование ROS в Matlab

Грудинин В.С.[a], Грудинин С.В.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода
и автоматизации промышленных установок[a]
магистрант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: grudinin@vyatsu.ru[a], sergeycith@yandex.ru[b]

Аннотация: В представленной статье рассматривается вопрос возможностей изучения операционной системы ROS – Robot Operating System как основы для продвинутого изучения робототехнических систем. На начальном этапе изучения основ робототехники хорошо себя зарекомендовали простые образовательные наборы типа Lego, Arduino и другие. Они позволяют изучить работу с робототехническими компонентами – приводом, датчиками, навигацией, и программирование на основе библиотечных модулей, созданных для каждого устройства отдельно. В какой-то момент наступает проблема системной интеграции всех компонент робота и необходимость использования операционной системы. Использование универсальных операционных систем требует очень больших затрат на их специализацию, и наиболее оптимальным решением проблемы является применение фреймворка Robot Operating System. Для оптимизации проблем приобретения, настройки и использования оборудования предлагается на начальном этапе обойтись моделированием в пакете Matlab. В статье рассматривается простейший пример управления мобильным роботом на основе передачи сообщений в среде ROS.

Ключевые слова: робот, моделирование, ROS, Matlab.

Для разработки, исследования и изучения робототехнических систем наиболее простым подходом является использование простых, хорошо апробированных и с большим количеством готовых библиотек микроконтроллеров класса Arduino [1].

Это хорошо работает на начальном этапе создания роботов, но неизбежно наступает момент, когда необходимо объединить все системы в единое целое. Для этого простые методы программирования превращаются в серьезную проблему, и единственным решением является применение операционной системы. Специализированных операционных систем для робототехники нет, но есть робототехнические фреймворки (надстройки) над ними. Одним из удачных решение в этом направлении является ROS – Robot Operating System [2, 3]. ROS

обеспечивает аппаратную абстракцию, низкоуровневое управление и контроль устройств роботов, реализацию сетевых функций и др.

Имеются варианты установки ROS на наборы Lego Mindstorms EV3 [4], но такое решение во-первых, не является официально поддерживаемым фирмой производителем, а во-вторых, требует наличия довольно дорогого оборудования.

В любом случае ROS устанавливается и работает в ОС Ubuntu Linux [5], и при обучении данной технологии возникает проблема наличия учебного компьютерного класса с этой операционной системой, так как основной ОС в учебном процессе является Windows. Кроме того, должны быть наборы Arduino или Lego, компьютеры должны быть оснащены беспроводной независимой связью и т. п. [4, 6].

Отсюда для изучения возможностей ROS наиболее простым выходом из подобной ситуации является использование моделирования в пакете Matlab и расширения Robotics System Toolbox [7].

Предлагаемый набор инструментов предоставляет интерфейс между MATLAB, Simulink и операционной системой ROS, который позволяет тестировать и проверять приложения на роботах с поддержкой ROS и симуляторах роботов, таких как Gazebo [8]. Он поддерживает создание кода на C++, позволяя генерировать ROS-узел из модели Simulink и развертывать его в сети ROS.

В набор инструментов Robotics System входят примеры, показывающие, как работать с виртуальными роботами в Gazebo и реальными роботами с поддержкой ROS.

Ключевые особенности такого подхода:

– планирование маршрута, пути следования и алгоритмы отображения карты передвижения мобильных роботов;

– функции для преобразования различных поворотных и переходных движений мобильных роботов;

– двунаправленная связь с живыми роботами с поддержкой ROS;

– интерфейс с Gazebo и другим симуляторами с поддержкой ROS;

– импорт данных из лог-файлов журналов rosbag;

– генерация узла ROS из моделей Simulink (с Embedded Coder®).

Для инициализации ROS в MATLAB используется команда. По умолчанию rosinit создает мастер ROS и запускает «глобальный узел», который подключен к мастеру. При этом «Глобальный узел» (global node) автоматически используется другими функциями ROS.

Например:

>> rosinit

Initializing ROS master on http://10.168.214.31:11311/.

Initializing global node /matlab_global_node_81940 with NodeURI http://g-olga:1441/

Для быстрого добавления нескольких узлов можно использовать команду *exampleHelperROSCreateSampleNetwork*. После этого можно оценить получившуюся структуру командой *rosnode list*, соответствующую Рис. 1. По получившейся структуре видны возможности системы – передача сообщений о положении узлов, сканирование сети и т. д.

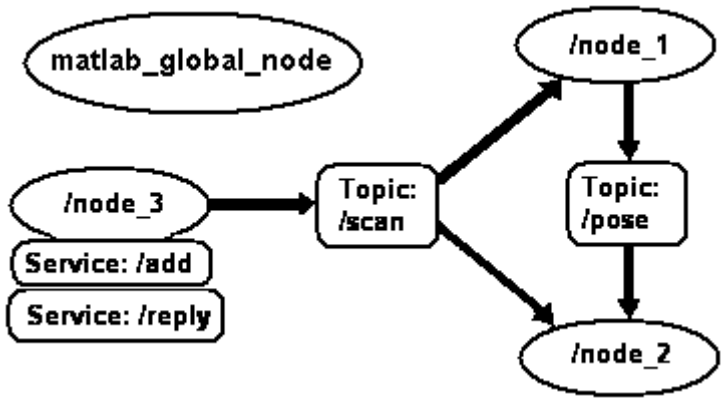


Рисунок 1. Пример структуры ROS сети

Рассмотрим простейшую задачу создания сообщения роботу о его местоположении.

Для этого в Simulink выберем и настроим блок *Publish* из *Robotics System Toolbox* для отправки сообщения «*geometry_msgs / Point*» с именем «*/ location*». Затем выберем *Specify your own* в поле *Topic source*, и введем значение /*location* в

поле *Topic*. А на форме *Message type* выберем «geometry_msgs/Point», то есть будем передавать роботу его позицию в координатах *X*, *Y*.

Сообщение ROS представляется как сигнал шины в Simulink. Сигнал шины представляет собой набор сигналов Simulink, а также может включать в себя другие сигналы. Блок ROS *Blank Message* выводит сигнал шины Simulink, соответствующий сообщению ROS, поэтому мы его добавляем в схему. Затем в библиотечном браузере *Simulink > Signal Routing*, выберем блок *Bus Assignment*. Соединим выход блока *Blank Message* с блоком *Bus Assignment*. Подключим выходной порт блока *Bus Assignment* к входному порту блока публикации ROS, зададим изменения по координатам *X*, *Y* в виде синусоид и получим схему модели (Рис. 2).

Далее создадим абонент сети для приема сообщений, отправленных по теме «/ *location*». Абонент получит местоположение робота (*x*, *y*) из сообщения и отобразит его на *XY*-плоскости.

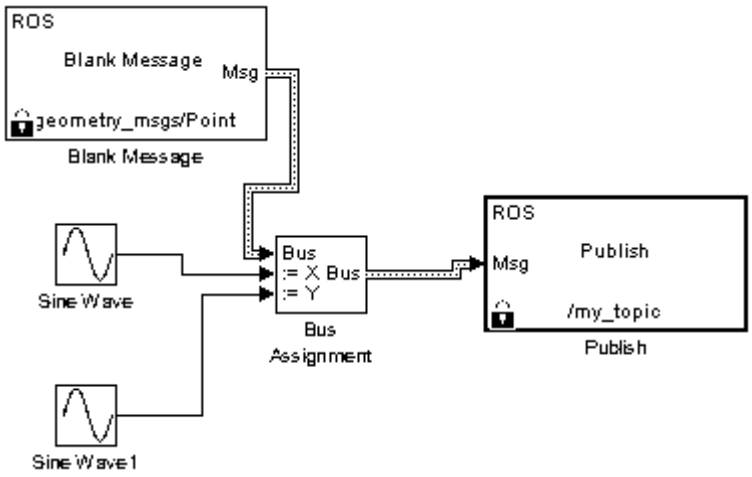


Рисунок 2. Модель передачи сообщения в ROS

Из библиотеки *Robotics System Toolbox* добавим в модель блок *Subscribe*. Настроим *Specify your own* в поле *Topic source*, и введем /*location* в поле *Topic*. В поле *Message type* выберем «*geometry_msgs/Point*».

Из библиотеки Simulink > *Signal Routing* перетащим в модель блок *Bus Selector*. Подсоединим выход *IsNew* блока *Subscribe* к входу блока *Terminator*, так как он не используется.

Из пункта Simulink > *Sinks* в *Library Browser*, перетащим в модель блок *XY Graph* и два блока *Display*. Далее все соединяем и получаем схему (Рис. 3).

Остальные шаги настраивают отображение извлеченных сигналов *X* и *Y*.

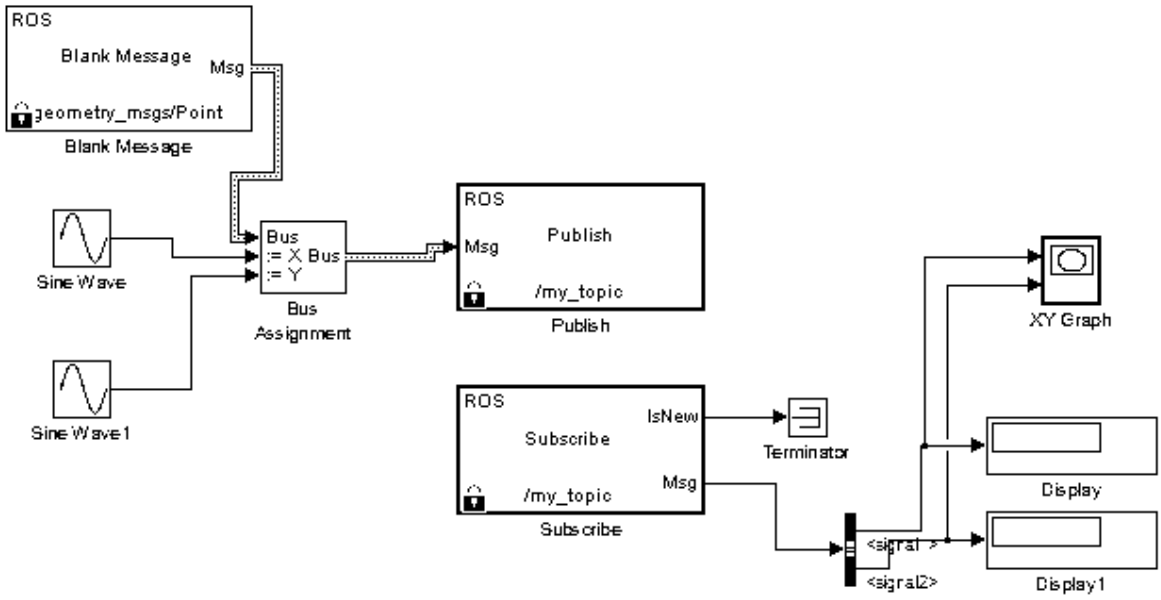


Рисунок 3. Окончательная модель передачи сообщения в ROS

После настройки и запуска модели будет выведен график движения робота в координатах *XY* (Рис. 4).

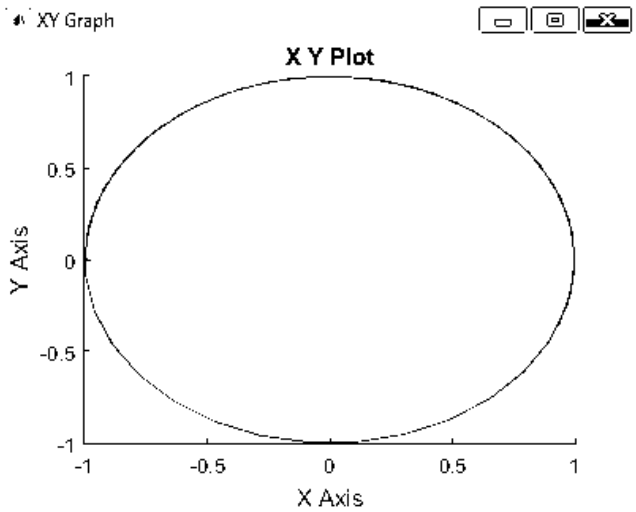


Рисунок 4. График перемещения мобильного робота

Итак, в результате проделанной работы мы можем освоить основы использования ROS, моделирования в Matlab и управления мобильными роботами без установки *Ubuntu Linux* и использования дополнительных устройств.

Список литературы

1. What is Arduino? URL : https://www.arduino.cc (дата обращения 10.02.2018).

2. About ROS. URL : http://www.ros.org/about-ros/ (дата обращения 10.02.2018).

3. ROS – Robot Operating System (ROS). URL : http://robocraft.ru/blog/robosoft/721.html (дата обращения 10.02.2018).

4. ROS on Lego Mindstorms EV3. URL : http://www.ros.org/news/2016/03/ros-on-lego-mindstorms-ev3.html (дата обращения 10.02.2018).

5. Ubuntu product month. URL : https://www.ubuntu.com (дата обращения 10.02.2018).

6. Грудинин В.С., Грудинин С.В. Использование микрокомпьютера для разработки распределенных интеллектуальных систем управления // Общество, наука, инновации» (НПК-2013): материалы Всероссийской научно-практической конференции; Вят. гос. ун-т. Киров, 2013. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 1104–1105.

7. Поддержка Robot Operating System (ROS) в MATLAB. URL : https://matlab.ru/solutions/spheres/robotics/ros-support (дата обращения 10.02.2018).

8. Robot simulation made easy. URL : http://gazebosim.org (дата обращения 10.02.2018).

Анализ и характеристика разновидностей износов щеточно-контактного аппарата турбогенератора

Гусев А.С.[a], Фоминых А.А.[b], Изотов А.И.[c]
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов[a]
кандидат технических наук, и.о. зав. кафедрой электрических машин и аппаратов[b]
кандидат технических наук, профессор кафедры электрических машин и аппаратов[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: aa_fominyh@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В настоящее время существует несколько типов электрических машин, в которых для передачи электрического тока от неподвижной части к вращающейся используются щеточно-контактные аппараты (ЩКА), состоящие из электрических щеток и контактных колец (коллекторов). К ним относятся синхронные и асинхронные двигатели с фазным ротором, коллекторные машины постоянного и переменного тока, а также турбогенератор. Как показывает опыт эксплуатации данных машин, наибольшая доля их отказов происходи по причине выхода из строя ЩКА. В частности, доля отказов крупных электрических машин (турбогенераторов, гидрогенераторов) из-за нарушения работы ЩКА сохраняется из года в год на высоком уровне и составляет более 25% от общего числа отказов. Поэтому появляется необходимость повышения надёжности работы узла ЩКА. В данной статье описаны возможные дефекты ЩКА и причины их возникновения, а также приводятся методы их решения.

Ключевые слова: Контактные кольца, щеткодержатель, механические повреждения, электрический износ.

Турбогенератор представляет собой синхронную машину, работа которого основывается на преобразовании механической энергии паровой или газовой турбины в электрическую энергию переменного тока. На статоре установлена трехфазная обмотка, ротор питается от источника постоянного тока через ЩКА, состоящий из угольных щёток и двух контактных колец. Средняя плотность тока под щетками варьируется от 6 до 10 А/см^2. Контактные кольца выполняются из нержавеющей стали.



Рисунок 1. Турбогенератор мощностью 320 МВА



Рисунок 2. Контактное кольцо турбогенератора ТВВ-320-2У3

Щетки и кольца образуют скользящий электрический контакт, их материал и количество выбирается исходя из плотности тока, материала кольца и скорости вращения. Существует три основных типа электрощеток, которые используются в ЩКА турбогенератора (табл. 1). В процессе работы электрических щеток различают несколько видов износа: механический (фрикционный), электрический (разрушение материала под действием тока), тепловой (при вы-

сокой температуре происходит окисление углерода с образованием CO_2), пленочный (на поверхности кольца образуется антифрикционная пленка).

Таблица 1

Типовые материалы, используемые в щётках

Материал щётки	Плотность тока	Содержание металла
	А / см^2	%
Графит	10,0	0
Электрографит	12,5	0
Медный графит	15,5	50
Медный графит	19,4	5

Материалы контактных колец очень разнообразны, и обладают различными свойствами. Бронза устойчива к химическим реакциям и обладает хорошими характеристиками по трению. Однако скорость вращения машины с такими кольцами ограничена. Сталь имеет хорошую механическую прочность, но может окисляться под щёткой в процессе простоя турбогенератора. Нержавеющая сталь обладает хорошим сопротивлением загрязнению, а также характеризуется повышенной стабильностью контакта «щетка – электрическое кольцо» [Фоминых и др.].

Процесс стабильной работы электрических щеток в ЩКА турбогенератора характеризуется следующими признаками:

- равномерный внешний вид политурной пленки на поверхности кольца;
- отсутствие признаков износа кольца;
- отсутствие искрения;
- отсутствие подгара на поверхности электрических щеток.

Коллективом ученых кафедры «Электрические машины и аппараты» Вятского государственного университета в ходе совместной работы с ООО «ЭФКОНТЭЛ» проведена серия испытаний турбогенераторов ТВВ-320-2У3, по результатам которых выявлены основные разновидности нарушений работы ЩКА [Фоминых и др.].

Процесс нестабильной работы ЩКА можно идентифицировать по состоянию поверхности контактных колец. Наиболее часто на кольце появляются

изображения (рис. 3), которые отражают размер поверхности щетки и расстояние между ними.

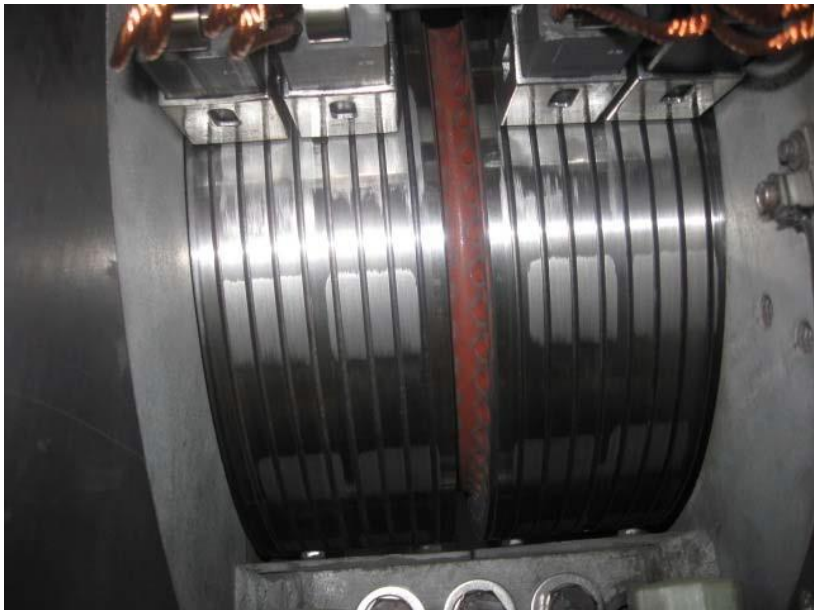


Рисунок 3. Отпечаток от щеток в кольцах турбогенератора

Следы появляются от кратковременной потери контакта «щетка – кольцо». Это вызывает последующую электрическую эрозию поверхности кольца вплоть до искривления профиля колец. Причинами возникновения таких пятен могут быть:

- несбалансированность ротор;

- нестабильность работы электрических щеток вследствие различного переходного сопротивления, величины усилия нажатия на щетку и т.д.;

- загрязнения на поверхности колец;

- высокое трение в щеткодержателях, медленное реагирование пружин;

- коррозия ЩКА в результате длительного простоя турбогенератора.

Для выявления таких пятен на поверхности контактных колец используется стробоскоп.

Наряду с этим в процессе работы ЩКА происходит явление переноса материала с поверхности электрической щетки на контактное кольцо и наоборот в зависимости от приложенной полярности тока. При нормальных условиях работы ЩКА частицы металла удаляются с поверхности колец и испаряются. Од-

нако, в некоторых случаях эти мелкие металлические частицы затвердевают и врезаются в поверхность трущихся поверхностей, оставляя на их поверхности «прожилки».

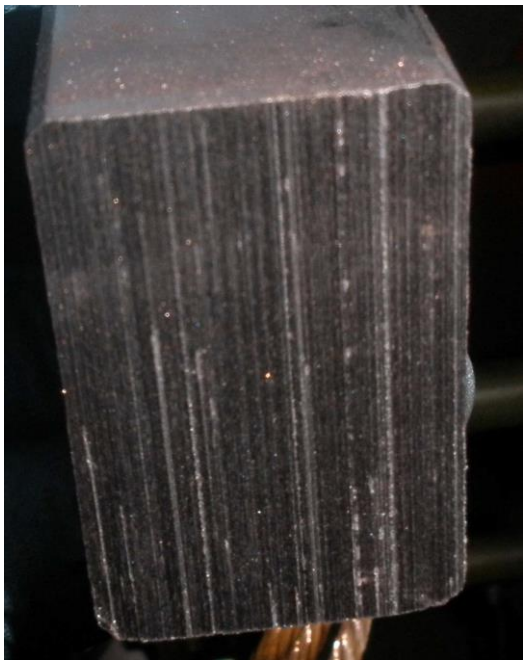


Рисунок 4. Прожилки на щетках

Несмотря на то, что щетки на контактных кольцах работают электрически параллельно друг другу, они никогда не изнашиваются с одинаковой скоростью. На износ электрощеток оказывает влияние токи в параллельных дорожках. Щетки с более высоким током и температурой обычно изнашиваются быстрее [Фоминых и др.]. С целью более стабильного износа щеток и уменьшения нестабильности токораспределения по параллельно работающим щеткам, сопротивления в параллельных ветвях должны быть как можно более равномерным.

В настоящее время коллективом кафедры разрабатывается комплекс методов, позволяющих устранить аварийные и нестабильные режим работы скользящего контакта турбогенераторов. Работы ведутся в следующих направлениях: наведение смазывающих пленок на поверхности контакта [Изотов и др.], позволяющих снизить износы электрических щеток и контактных колец; использование химически активных катализаторов с целью ускоренного образования политурной пленки.

Выводы

Существует множество проблем, которые могут неблагоприятно влиять на характеристики контактного кольца и угольной щетки. Понимание основных причин их возникновения может помочь обслуживающему персоналу применять правильные материалы угольных щеток и контактных колец. Хорошие методы обслуживания и своевременное устранение неисправностей приведут к хорошей работе щетки и сокращению времени простоя и затрат.

Список литературы

1. Оценка эффективности применения смазывающих щеток на кольцах турбогенератора / Фоминых А.А. и др. // Энергетик. 2015. №3. С. 12 – 15.

2. Результаты промышленных испытаний по эффективности применения смазывающих щеток, выполненных на основе дисульфида молибдена при 100% нагрузке турбогенератора ТВВ – 320 – 2У / Фоминых А.А. и др. // Общество, наука, инновации. (НПК – 2015): сб. материалов всерос. ежегод. науч. практ. конф., 13–24 апреля 2015 г. Киров, 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – (электротехнический факультет (ЭТФ). Секция «Электромеханика». Статья № 2).

3. О неравномерности распределения тока узлов трения электрических машин / Фоминых А.А. и др. // Общество, наука, инновации. (НПК – 2014): сб. материалов всерос. ежегод. науч. практ. конф., 15–26 апреля 2014 г. Киров, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – (электротехнический факультет (ЭТФ). Секция «Электромеханика». Статья № 3).

4. Снижение износов элементов узлов токосъема за счет применения смазывающих щеток, выполненных из дисульфида молибдена/ Изотов А.И. и др. // Advanced Science. 2014. №1 (4). С. 96–106.

Функционирование интеллектуального ядра системы организации умных очередей

Должженкова М.Л.[a], Должженкова Н.А.[b], Чистяков Г.А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[a]
студент, кафедра ЭВМ[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: maryid@mail.ru[a], leto.nataly@gmail.com[b], gennadiychistyakov@gmail.com[c]

Аннотация: в статье рассматриваются методы и принципы построения продукционных экспертных систем для решения практических задач оптимизации бизнес-процессов. В ходе научной работы была выявлена необходимость построения системы организации умных очередей для государственных учреждений на основе продукционной экспертной системы. По итогам проведенного исследования авторами предлагается использовать интеллектуальный модуль, базирующийся на механизмах логического вывода, а также клиент-серверную архитектуру с хранением базы знаний, правил и структуры перехода на серверной стороне. Результатом работы является модульная структура системы в целом, структура интеллектуального модуля, прототип терминального приложения для медицинского учреждения, описание структуры организации базы знаний, структура тестового модуля для взаимодействия с клиентом, алгоритм преобразования ответов клиента в обрабатываемые системой выражения на языке логики предикатов первого порядка.

Ключевые слова: экспертная система, интеллектуальный модуль, организация очередей, исчисления предикатов.

В современной жизни люди часто сталкиваются с необходимостью стоять в тех или иных очередях, особенно это касается государственных учреждений. На сегодняшний день в некоторых из них внедряют системы электронных очередей. К сожалению, подобные разработки не обладают достаточным функционалом и не имеют в своей основе необходимого математического аппарата для того, чтобы выполнить оптимизацию бизнес-процессов, в первую очередь временную. Несмотря на острую необходимость, проблема оптимизации очередей и создания так называемой «умной» очереди, имеющей механизмы для прогнозирования и гибкую структуру, все еще является актуальной.

Наиболее эффективно умные очереди строятся с использованием систем, основанных на знаниях (СОЗ), основными структурными элементами которых являются *база знаний* и *механизм логического вывода. Также активно исполь-*

зуются экспертные системы – сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие опыт для менее квалифицированных пользователей [Гаврилова, с. 22-25].

Ядром разрабатываемой системы умной очереди является интеллектуальный модуль, основанный на продукционной экспертной системе. Для того чтобы обеспечить гибкость и легкую настройку при разработке системы используется итерационный подход.

Модульная структура системы показана на рисунке (Рис.1). Каждый из модулей (модуль взаимодействия с клиентом, модуль взаимодействия со специалистом, модуль знаний) включает в себя набор блоков меньшего размера.

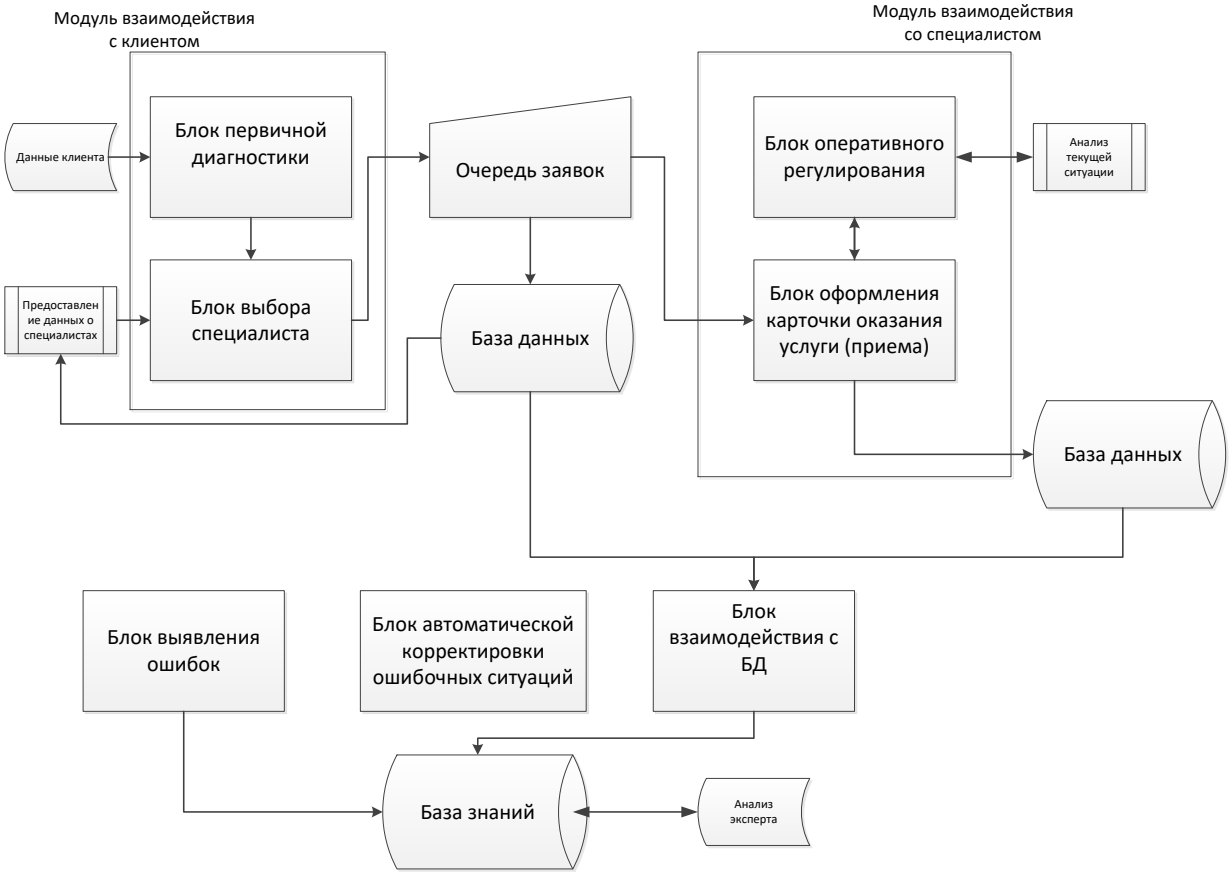


Рисунок 1. Модульная структура системы организации умной очереди

Помимо этого, структурно выделяется клиентская и серверная части системы. На клиентской стороне функционирует специализированный терминал, который позволяет получить информацию от посетителя, необходимую для дальнейшей работы системы, и входных данных для применения правил логического вывода в экспертной системе.

Приложение также используется для налаживания обратной связи с клиентом, своевременного информирования и совершенствования клиентоориентированной политики. Одним из наиболее значимых разделов клиентского приложения является анкета. Для реализации анкетирования разработан модуль, интерпретирующий вопросы из базы знаний, созданной экспертом, и отображающий эти вопросы пользователю. Кроме того, он включает в себя механизмы расчета значений, работы с базой и визуализации ее содержимого. Соединение терминального приложения с сервером осуществляется специализированными компонентами. Эти компоненты взаимодействуют с удаленным модулем данных, входящим в состав сервера, при помощи методов интерфейса.

Непосредственно экспертная система и интеллектуальное ядро в целом реализованы на сервере, где хранится база знаний, набор правил, дерево переходов и другие вспомогательные компоненты системы.

При решении проблемы получения знаний были выделены три стратегии [Поспелова, с. 128-135]:

- получение знаний, как способ автоматизированного наполнения базы знаний посредством диалога эксперта и специальной программы, позволяющей эксперту создавать формальные правила в читаемом для системы виде;
- извлечение знаний, как процедура взаимодействия инженера по знаниям с источником знаний без использования специализированного ПО;
- обнаружение знаний, как некий компонент, позволяющий реализовывать методы автоматического получения знаний и самообучения, на основе полученного ранее опыта.

Получаемая база знаний строится в несколько этапов [Хайес-Рот, с. 47-68]. На этапе концептуализации проводится содержательный анализ предметной области, определяются основные понятия и их взаимосвязи, методы решения задачи сокращения очередей для конкретной области или организации. По окончанию этого этапа создается модель предметной области, включающая основные концепты и отношения. Модель представляется в виде графа, таблицы, диаграммы или текста. Такой моделью может выступать бизнес-процесс записи

пациента на прием к врачу, или же постановка диагноза врачом. В дальнейшем эта модель ложится в основу тестового модуля и набора правил.

Следующим является этап формализации, где все ключевые понятия и отношения, выявленные на предыдущем этапе, записываются на некотором формальном языке, который выбирается из числа уже существующих, либо создается заново. В данном случае был выбран язык логики предикатов первого порядка.

Применяя правила вывода к различным составляющим модели, созданной на этапе концептуализации, формируется некая трансформация созданной модели (семантической сети) за счет изменения ее компонентов, увеличения количества или же удаления ненужных фрагментов сети.

Логический компонент модели знаний состоит из трех уровней, заполняемых экспертом совместно с инженером по знаниям:

- уровень гипотез – содержит множество конечных состояний;
- уровень свидетельств и фактов – содержит признаки анализируемой ситуации;
- уровень запросов – предназначен для связи с информационной компонентой модели знаний.

Взаимодействие уровней между собой достигается за счет наличия ссылок в структурах данных одного уровня на объекты другого.

В случае с системой организации умных очередей уровень гипотез содержит множество услуг, для оказания которых клиент должен занять очередь.

Связи с нижними уровнями модели и механизм подтверждения или опровержения гипотез имеют вероятностный характер, указывающий на то, как объекты нижнего уровня могут изменять текущее состояние множества гипотез.

На уровне свидетельств и фактов система получает входные данные о клиенте и информацию, необходимую для определения типа услуги. При этом об одном клиенте может содержаться множество данных одного типа (например, множество симптомов). Объекты уровня фактов формируются как арифметико-логические выражения [Ручкин, с. 297-310].

Уровень запросов организует взаимодействие интеллектуального модуля с пользователем. В системе возможны следующие типы запросов:

- запрос на получение какой-либо информации от пользователя – анкетирование на терминальном устройстве;
- вызов другой модели знаний – изменение базы знаний с помощью администратора системы;
- запуск внешней задачи.

От терминального приложения входные данные, вводимые клиентом, поступают в интеллектуальный модуль и представляются в виде множества фактов, кодируются и к ним применяются правила логического вывода, содержащиеся в базе знаний. Если рассматривать в качестве примера разработанный прототип экспертной системы для медицинского учреждения, можно говорить, что в качестве фактов выступают манифестации, симптомы, диагностические признаки – как положительные, так и отрицательные или исключающие. Эти признаки выявляются путем ответа клиента на вопросы в терминальном модуле. Каждый выводимый вопрос вида: «Боль нарастает в ночное время?», и последующий ответ на него, формирует список добавляемых в экспертную систему фактов. Формализовано это выглядит следующим образом:

Н <УСЛОВИЕ> <СПИСОК ДОБАВЛЯЕМЫХ ФАКТОВ>.

В данном случае условием выступает «Если ответ «да»», то добавляемый факт – «Боль нарастает в ночное время».

Подобный разбор ответов получаемых от клиента осуществляется по следующему алгоритму.

- Шаг 1 – выбирается очередной вопрос из базы знаний, сформированной экспертом и загруженной в систему.
- Шаг 2 – проверяется выполнимость условия правила в текущем состоянии рабочей памяти.
- Шаг 3 – если условие правила выполнено, факты добавляются в множество.

- Шаг 4 – если множество применимых правил исчерпано, происходит переход в необходимое состояние (гипотеза изменяется).
- Шаг 5 – перейти к шагу 1.

Условием остановки является пустое множество вопросов или найденное решение.

Таким образом, интеллектуальный модуль и экспертная система, используя описанные выше механизмы, позволяют определить необходимую услугу, время оказания услуги, провести анализ текущей очереди и за счет этого произвести оптимальное ее формирование с наименьшим временем ожидания. Применение данной системы в различных областях знаний, таких как медицина, оказание государственных услуг, банковский сектор, позволит значительно сократить время нахождение в очереди и повысить качество оказания услуг.

Список литературы

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

2. Поспелов Д.А. Искусственный интеллект. Справочник. Книга 2. Модели и методы М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.: ил.

3. Хайес-Рот Ф. и др. Построение экспертных систем, М.; Мир,1987. – 441с.

4. Ручкин В.Н., Фулин В.А. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы, СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.: ил.

Значение нормативных документов при проектировании жилых и общественных зданий

Дружкова Н.В.
доцент кафедры архитектуры и градостроительства
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: usr08354@vyatsu.ru

Аннотация: Целью работы является изучение нормативной литературы и документов в области проектирования общественных зданий и сооружений. Требование и применение необходимых норм для проектирования общественного здания на конкретном примере. В условиях современного мира каждый человек в какой-то мере подчиняется разнообразным нормам и законам. Это в свою очередь говорит о том, что все эти нормативные документы призваны что-либо регулировать. Нормы исходят от государства, которое действует из наших же интересов. Поэтому правильным будет суждение, что нормы и правила существуют именно для улучшения положения и качества жизни, деятельности, а также развития общества, так как государство заинтересовано в этом.

Ключевые слова: объективное применение, генеральные схемы, инсоляция, отопление, канализация, вентиляция, водоотведение.

Нормативные документы можно встретить в любой сфере профессиональной деятельности человека: медицине, политике, экономике, науке, и других. Они содержат различные требования, предъявляемые к определенной деятельности.

Немаловажную роль нормы играют в строительной сфере деятельности, т.к. проектирование здания и его дальнейшее строительство очень ответственная задача. Поэтому необходимо придерживаться определенных правил и разработок, которые обеспечат безопасность человека в проектируемом сооружении и его комфортное пребывание в нем. Нормативный документ (НД) - это документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

По сути, нормативным можно считать любой документ, принятый или изданный правотворческим органом. Правотворчество – один и аспектов функционирования государства. Оно осуществляется с целью формирования право-

вой системы и включает в себя разработку правовых норм, а также их изменение, отмену или дополнение [1].

Нормативный документ может существовать в форме закона, указа, постановления, решения, приказа, распоряжения, свода правил, инструкций, положения.

Любой акт требует строгого соблюдения правил, начиная от момента создания и вплоть до его отмены. Тем не менее, существует также ряд требований, которые предъявляются к самим нормативно-правовым документам.

Основные требования:

1. **Объективное применение.**

Качество нормативных документов играет важную роль при наделении их регулирующей силой. Достичь этого можно при условии, что принимаемые документы не будут представлять собой вымыслы или плоды больной фантазии. Нормативные акты должны быть применимыми в современном мире и служить отражением объективной реальности.

2. **Строгая структура.**

Принимаемые документы не должны представлять собой хаотичный перечень нормативных положений. Обязательно наличие вводной части. Там излагаются задачи и цели, выставляется характеристика общественно-политической обстановки, которая наблюдается на момент принятия. Начало основной части статьи может содержать в себе перечень и расшифровку используемых терминов. Далее по тексту перечисляются субъекты возникающих правовых отношений; описание их обязанностей и прав; возможные льготы и мероприятия по поощрению; возможные санкции.

3. Понятная форма.

Государственным органам, занимающимся составлением и утверждением нормативных документов, необходимо учитывать, что уровень образования у людей разный. Тем не менее, одни и те же правовые акты применяются ко всем. Следовательно, они должны быть составлены в максимально понятной форме и

быть рассчитанными на людей среднего интеллектуального уровня, порой ниже среднего.

Проектирование жилых и общественных зданий – особая сфера деятельности. Эффективное функционирование внутренней среды объекта обеспечивается за счет пространственной организации и выполнения специальных мероприятий, направленных на защиту человека от неблагоприятного влияния внешних факторов. В качестве первичного качества сооружения выступает соответствие их той деятельности, которая будет осуществляться в нем [2]. Функциональные характеристики многообразны. Они отражают не только сложность и разнообразие человеческих потребностей, но и научно-технический уровень, особенности местности.

Проектирование общественных зданий представляет собой сложный, многоуровневый творческий процесс. Их проектирование осуществляется на основании государственных норм.

В процессе проектирования и возведения зданий, мостов и дорог архитекторы и строители руководствуются сводом правил, которые утверждены на законодательном уровне, они называются СНиП.

Строительные нормы и правила (СНиП) — совокупность принятых органами исполнительной власти нормативных актов технического, экономического и правового характера, регламентирующих осуществление градостроительной деятельности, а также инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования и строительства.

Этот документ включает в себя огромное количество нюансов, необходимых для проектирования, а затем и возведения зданий. СНиПы затрагивают практически все сферы и этапы проектирования. По ним разрабатывают проекты жилых и общественных зданий, планы фундамента, стен, лестниц, расположение окон и дверей и их размеры [3]. Кроме того, в пунктах документа описаны требования к системам водоснабжения, электрическим сетям, канализации и отоплению. Приведенные в документе цифры представляют собой средние показатели, рассчитанные в процессе сложнейших вычислений. В результате об-

работки большого количества статистических данных было выведено наиболее благоприятное расположение несущих стен, размер лестничных маршей, расстояние между окнами, высота поручней и ступеней, а также другие характеристики.

Примеры СНиПов.

СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения». В данном нормативном документе представлены основные требования к проектированию общественных зданий: количество этажей (например, здания лечебных и амбулаторно-поликлинических учреждений, санаториев следует проектировать не выше девяти этажей, а здания специализированных дошкольных учреждений – не более 2 этажей), высота и площадь этажа, расположение различных помещений, размеры сквозных проездов и лестничных маршей и другие нормы.

В СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений» отражены нормы по проектированию фундамента, его расчетов давления на грунт, глубины заложения. Также в этом документе представлены расчеты оснований по деформациям, целью которых является ограничение перемещений фундаментов и надфундаментных конструкций; расчет оснований по несущей способности для обеспечения прочности и устойчивости оснований и многие другие расчеты [4].

При проектировании общественных зданий необходимо также учитывать и их доступность для инвалидов и других маломобильных посетителей (СП 31-102-99). Согласно ст.15 Федерального закона N 181-ФЗ "О социальной защите инвалидов в Российской Федерации" (приложение А): "Планировка и застройка городов, других населенных пунктов, формирование жилых и рекреационных зон, разработка проектных решений на новое строительство и реконструкцию зданий, сооружений и их комплексов ... без приспособления указанных объектов для доступа к ним инвалидов и использования их инвалидами не допускается".

При проектировании здания необходимо уделять особое внимание отоплению, водоснабжению и канализации (СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиля-

ция и кондиционирование"; СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения; СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения).

Городские и сельские поселения необходимо проектировать на основе градостроительных прогнозов и программ, генеральных схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил Российской Федерации (СНиП 2.07.01-89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений). Планировочную структуру городских и сельских поселений следует формировать, обеспечивая компактное размещение и взаимосвязь функциональных зон; рациональное районирование территории в увязке с системой общественных центров, инженерно-транспортной инфраструктурой; эффективное использование территории в зависимости от ее градостроительной ценности; комплексный учет архитектурно-градостроительных традиций, природно-климатических, ландшафтных, национально-бытовых и других местных особенностей; охрану окружающей среды, памятников истории и культуры [5].

Инсоляция является важным фактором, оказывающим оздоравливающее влияние на среду обитания человека и должна быть использована в жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки. (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий»).

Когда проектировщики и строители придерживаются СНиП, возведенное ими здание получается надежным, безопасным, удобным и прочным. В тех случаях, когда строительные нормы и правила нарушаются, могут возникнуть такие осложнения как отсутствие комфорта при использовании конструкции; падение и травмирование людей; усадка дома; возникновение трещин в стенах; поломка системы отопления и водопровода; повышенная опасность возникновения пожара; обвал потолка, лестничного пролета, крыши или всего дома.

Нормы, необходимые для проектирования общественного здания (поликлиника) :

Лечебно-профилактические учреждения, к которым относятся поликлиники, должны проектироваться в соответствии со СНиП 2.08.02-89* "Общественные здания и сооружения", а также пособием к СНиПу, разработанным Гипрониздравом в 1990 г. Дополнительно следует учитывать ряд требований, предъявляемых к различным помещениям, их элементам с целью обеспечения доступности для маломобильной части населения.

Поликлиники предназначены для оказания квалифицированной внебольничной медицинской помощи населению. К важнейшим функциям поликлиник, помимо врачебного приема, диагностики и лечения заболеваний, относятся проведение профилактических и реабилитационных мероприятий для населения прикрепленной к поликлинике территории [6]. Особенно важно проведение реабилитационных мероприятий для инвалидов.

Требования к участку.

При выборе места размещения поликлиники в структуре города необходимо исходить из условий транспортной и пешеходной доступности с учетом удобства пользования маломобильными группами населения.

Вдоль пешеходных путей, ведущих к поликлинике, следует создавать места для отдыха, которыми могли бы пользоваться не только лица с физическими недостатками, люди старшей возрастной группы, но и больные сердечными и легочными заболеваниями. В зависимости от состояния здоровья инвалидов и пожилых людей оптимальная длина преодолеваемого ими без отдыха пешеходного пути (в одном направлении) может колебаться от 100 до 500 м, поэтому ориентироваться следует на физически ослабленных людей, т.е. создавать места отдыха через 100 м.

Помещения.

Входной вестибюль должен создавать удобства для переодевания людей с физическими недостатками, для чего предлагается выделить дополнительную свободную зону. В детских поликлиниках во входной группе следует предусматривать помещение для хранения инвалидных и детских колясок. Также

необходимо предусмотреть помещение для собаки-поводыря и хранения других вспомогательных средств.

В зонах ожидания перед врачебными кабинетами следует предусматривать место для размещения инвалида на коляске.

Кабинеты, предназначенные для приема больных, должны быть запроектированы с учетом оказания услуг в них инвалидам, необходимо также предусматривать возможность разворота кресла-коляски.

В составе помещений для реабилитации инвалидов следует предусмотреть специальную кабину с ванной, оборудованной для инвалида на коляске. Желательно предусмотреть при ванне две раздевальные.

Основные критерии оценки проектов поликлиник: наличие пандуса при входе в здание; наличие лифта с кабиной размерами не менее 1,1х1,5; единый уровень пола; отсутствие препятствий в виде отдельно стоящих опор-колонн; обеспечение разворота инвалида в инвалидной коляске в любом помещении поликлиники.

Нормативные документы сопровождают человека в различной повседневной деятельности. Они могут существовать в форме закона, постановления, указа, свода правил и призваны обеспечить безопасность и комфортное существование людей в современном мире. Как выяснилось, нормативным документом является любой документ, выпущенный соответствующим органом.

Нормативные документы выдвигают условия и требования к определенным порядкам, но также и они (документы) обязаны быть составленными по определенной форме.

Для регулирования строительной отрасли в мировой практике используется система нормативных документов, которая включает в себя комплекс обязательных норм, правил и требований, призванных защищать государственные и общественные интересы на протяжении всего процесса строительства. Нормативные документы в строительстве разрабатываются компетентными органами и должны соответствовать действующему законодательству.

В процессе проектирования зданий специалисты используют строительные нормы и правила (СНиП), по которым разрабатывают проекты жилых и общественных зданий, расположение стен, лестниц, перекрытий, фундаментов. СНиПы содержат необходимые данные по каждому аспекту проектирования.

При проектировании поликлиники, как и других зданий, необходимо следовать различным СНиПам и другим нормативным документам. Необходимо учитывать каждую деталь, начиная с изучения особенностей местности и заканчивая единым уровнем пола для беспрепятственного перемещения людей в колясках.

Пренебрежительное отношение к различным требованиям и правилам при проектировании зданий с сооружений может привести к серьезным последствиям.

Список литературы

1. Курбат Мария. Нормативные документы – это. URL: http://fb.ru/article/148243/normativnyie-dokumentyi---eto-normativno-pravovyie-dokumentyi-zakonodatelnyie-i-normativnyie-dokumentyi (дата обращения - 13.02.2018)

2. МДС 35-5.2000. Выпуск 10. Общественные здания и сооружения. Учреждения лечебно-профилактические: поликлиники, амбулатории, аптеки URL: http://dokipedia.ru/document/5182708?pid=110&scroll_to=53fee3e4c8e2f09a9e09854e (дата обращения - 13.02.2018)

3. Перечень основной нормативной и методической документации, используемой при осуществлении деятельности по проектированию, строительству и инженерным изысканиям для строительства [Электронный ресурс]/компания Стройдоктор. URL: http://www.stroydoctor.ru/main_norms (дата обращения - 13.02.2018)

4. Проектирование общественных зданий и сооружений - нормы и правила. Назначение здания. Перечень помещений / компания «ФБ» 10 Марта. URL: http://fb.ru/article/299875/proektirovanie-obschestvennyih-zdaniy-i-soorujeniy---normyi-i-pravila-naznachenie-zdaniya-perechen-pomescheniy(дата обращения - 13.02.2018)

5. Система нормативной документации в строительстве /Компания "Навиком", 2009-2013. URL: http://www.it-nv.ru/articles/sistema-normativnoy-dokumentacii-v-stroitelstve (дата обращения - 13.02.2018)

6. Строительные нормы и правила. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki / Строительные_нормы_и_правила (дата обращения - 13.02.2018)

Проектирование частного дома, графические программы

Дружкова Н.В.
доцент кафедры архитектуры и градостроительства
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: usr08354@vyatsu.ru

Аннотация: целью работы является изучение материала по этапам проектирования частного дома. С момента получения ситуационного плана градостроительной ситуации, до конечного решения архитектурного объекта. Задача проектировщика выполнить грамотное зонирование участка, разработать поэтапно чертежи частного дома марки (АР), разработать 3D модель объекта в компьютерной чертежной программе. Произвести расчет строительных работ и конструктивных материалов и изобразить конструктивные узлы, разрезы, сечения. Дать в документации полный пакет чертежей, чтобы иметь полное представление о проектируемом объекте. Статья предназначена для научных сотрудников, аспирантов и специалистов, занимающихся проектированием частных жилых домов

Ключевые слова: план здания, конструкции фундаментов, сечения, спецификация элементов фундамента, архитектурно-планировочного решения дома.

Проектирование частного дома - сложный, трудоёмкий процесс, требующий огромного количества информации и знаний в области строительства, а также умения грамотно спланировать и привести к реализации результат проектирования – проект дома. К тому же проектирование дома – это процесс, который предупреждает появление ошибок во время строительства, а также отличный способ экономии времени и денежных средств. Постройка дома без проекта приводит к тому, что будущий владелец не будет иметь точной информации о том, что и как должно быть, не сможет контролировать расход материалов и средств [Лисициан, с. 125]. А следствием такого строительства будет низкое архитектурное качество и неликвидность готового дома. Чтобы избежать подобных ситуаций следует обратиться к профессионалам, которые по всем правилам спроектируют дом, либо будущий владелец сам подготовит проект.

Целью проекта является создание комфортного, современного и благоприятного загородного (частного) дома, который ни в чём не уступал бы город-

скому дому, но в то же время имел так называемый «деревенский» колорит (то есть на участке находятся деревянные бани, корты, бассейны - всё, что способно обеспечить отдых за городом) [Вышнепольский, с. 125].

Выбор проекта дома включает:

- стандартный план, то есть это уже готовая разработка, после ознакомления, с которой сразу же можно приступать к строительству;

- индивидуальный план, который предполагает полную разработку проекта с нуля и учет строительных норм проектирования, такой план чаще всего интересует будущих хозяев;

-проведение комплексного исследования, с целью получить разнообразные сведения об участке под застройку.

Задачей при проектировании является :

- планирование органичного расположения постройки с природным ландшафтом и окружающей средой;

- выбор подходящей технологии строительства: этажность, материал стен, конструктивная схема здания;

- подготовка необходимой документации и утверждение проекта в специальных органах;

- градостроительная, архитектурная, экологическая, техническая, технологическая, инженерная, смета (предварительная), технико-экономическая задачи.

Когда поставлены цели и определены задачи строительного проектирования можно приступать к разработке эскиза проекта, где дом описывается в общих чертах, но уже частично сформированы главные параметры строения. Далее эскизный проект необходимо согласовать с заказчиками и только после этого начинает разрабатываться техническая документация: архитектурная, конструктивная, инженерная, которая является наиважнейшим этапом в строительном проектировании.

Архитектурный раздел (АР). В него входит ведомость чертежей основного комплекта: перечень листов, входящих в состав комплекта чертежей, данные

архитектурно-планировочного решения дома; план участка с расположением дома, планы этажей с указанием всех размеров, площадей, маркировкой окон, дверей и т.д.; виды дома со всех сторон; виды дома в разрезе, с указанием высот этажей, толщины перекрытий, абсолютных и относительных отметок, с указанием состава и описания строительных слоёв; вид на кровлю сверху; ведомость оконных и дверных блоков, их количество и габаритные размеры; план дымовентиляционных каналов.

Конструктивный раздел (КР). В него входит план фундамента: конструкции фундаментов, сечения, спецификация элементов фундамента; схема расположения элементов перекрытий (схема раскладки плит перекрытия при сборном варианте, схема армирования при монолитном варианте, схема расположения балок при перекрытии по балкам); схема лестниц (указываются габаритные размеры, высота и ширина ступени); схема деталей и узлов: примыкание конструктивных элементов друг к другу, сечения, спецификация.

Инженерный раздел (ИР) включает в себя раздел по водоснабжению и канализации, по электроснабжению, по отоплению.

На этом этапе все узлы, схемы и другие детали тщательно прорабатываются, а общестроительные и отделочные материалы проходят спецификацию и допускаются к применению.

Следующий этап проектирования – рабочий проект. То есть идёт согласование каждого этапа строительства основного проекта и разработка технической документации под него. Для этого нужно четкое планирование этапов стройки от закладки под фундамент до перекрытия кровли. К тому же необходимы чертежи и инструкции для рабочих по выполнению каждого этапа стройки.

И на последнем этапе составляется рабочая документация тем, кто будет проводить сами работы. В основном этим занимаются подрядчики. Такая документация разрабатывается согласно возможностям заказчика в плане приобретения материалов, а также технологическим нюансам самого строительства. Подрядчик должен представить: рабочие чертежи, спецификацию по оборудованию и материалам, смету [Нанасова, с. 204]. Но чтобы предоставить все чер-

тежи и техническую документацию, нужно их разработать в специальных строительных программах, которые помогают проводить расчёты, моделировать или создавать детальные чертежи.

На сегодняшний день существует много различных строительных программ. Рассмотрим некоторые из них:

Google SketchUp, программа хорошо подходит для быстрой концептуальной проработки идеи.

ArchiCAD, программа для архитектурного проектирования. Её главное преимущество состоит в том, что нарисовав правильную 3D модель, можно сразу получить планы всех этажей, необходимые фасады и разрезы без ручной прорисовки.

Autodesk Revit Architecture, одна из лучших программ, она полнофункциональна и даёт возможность максимальной точности проектирования и расчёта конструкций, а также инженерных систем любой сложности.

AutoCAD, программа, приспособленная для глубокой конструктивной проработки проектных решений, она обладает очень развитыми возможностями, как для общего проектирования, так и для детализации любого уровня.

Программы АРБАТ и Selena предназначены для расчёта нагрузок, моделирования и конструирования различных элементов здания, проведения комплексных расчётов рам, каркасов, покрытий и прочих сложных конструкций. Помимо конструктивных расчётов самого здания, применяют специализированные программы для выполнения конструирования и проектирования систем внутренних и внешних коммуникаций. На конечных этапах работы используют программы для подсчёта расходов материалов, составления сметных расчётов, ведомостей расходов материалов.

В заключение хочется сказать, что проектирование частного дома – это трудоёмкий и долгий процесс, требующий значительного опыта и большой ответственности архитектора, в процессе разработки важно выполнить все стадии проекта, обращая особое внимание на все смежные детали и своеобразную индивидуальность дома. Также хочется отметить, что проектирование дома – это

не просто разработка комплекта документации необходимой для строительства, это процесс воплощения замыслов будущего владельца дома.

Список литературы

1. Лисициан М.В., Пронин Е.М. Архитектурное проектирование жилых зданий. С. 2006. 328 с.

2. Вышнепольский И.С. Техническое черчение с элементами программирования обучения. М.: Машиностроение, 1984. 234 с.

3. Нанасова С.М. Конструкции малоэтажных жилых домов. М, 1992. 326 с.

Пути автоматизации и оптимизации средств измерений

Еноктаева Л.И.,
ст.преподаватель каф.МОК, ФГБОУ ВПО «ВятГУ»

Аннотация: в статье рассматривается проблема, составляющая основу автоматизации измерений и контроля, и сокращения времени на контрольные операции. Выделяются и описываются принципиально новые требования, которые должны предъявляться к современным системам измерительных средств. Проанализирована обобщённая структурная схема средства измерения, которая присуща любому измерительному прибору и определены основные задачи автоматизации Особое внимание уделено основным функциональным задачам, которые должны выполнять автоматизированные измерительные средства. Проанализирована актуальность применения системного подхода при создании производственного процесса с использованием автоматизированных средств измерений. В конце статьи показано, что при использовании системного подхода при создании современных производственных процессов можно решить проблему качественного изготовления изделий за счёт увеличения числа измерений и получения более полных данных о свойствах изделий.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение производства, точность обработки, автоматизация технологических процессов.

В XIX – начале XX вв. измерительные средства участвовали в процессе металлообработки, главным образом, в двух качествах.

Это средства измерения деталей на станке, которыми пользовался рабочий для корректировки технологического процесса обработки по результатам измерений и средства контроля в системе ОТК для определения годности изделия.

То есть по существу неавтоматизированный контур управления точностью обработки на станке замыкался постоянно через рабочего и периодически по каналу «средство контроля – контроль ОТК – рабочий – станок».

В этих условиях от измерительных средств требовалась только точность, причём в статическом режиме работы, т.е. непосредственно измерение параметров детали после снятия со станка.

Рост требований к точности обработки и уровню автоматизации технологических процессов, которые продиктованы необходимостью повышения качества продукции и сокращении времени на контрольные операции, послужил

толчком к разработке нового металлообрабатывающего оборудования со встроенными автоматизированными средствами измерения и контроля.

В связи с этим работа приборов в автоматическом цикле выдвигает ряд принципиально новых требований:

- необходимость обеспечения не только статической, но и динамической точности измерений;

- сигнал измерительной информации должен быть пригоден для организации автоматического управления станком.

Не менее важно и то, что одновременно с выходом измерительных средств на качественно новый уровень создаётся теория метрологии активного контроля, в которой особый вес приобретают элементы точностного анализа технологического процесса.

Поэтому при создании производственного процесса изготовления изделий важен системный подход, который, прежде всего, выражается в том, что необходимо определить, какая и в каком объёме нужна измерительная информация для управления ходом конкретных взаимосвязанных операций в рамках всего технологического процесса, это целесообразность и достаточность выбранной номенклатуры измеряемых параметров с точки зрения обеспечения достоверности контроля качества.

В зависимости от этого должна быть построена система измерительных средств, оптимизированная по двум критериям. Обобщённая структурная схема приведена на рисунке 1 [Парахуда, с.7]:

- получение необходимой информации с требуемой точностью и в требуемом объёме;

- экономичность получения этой информации, имеется в виду учёт всех затрат, необходимых для создания и применения измерительной техники.

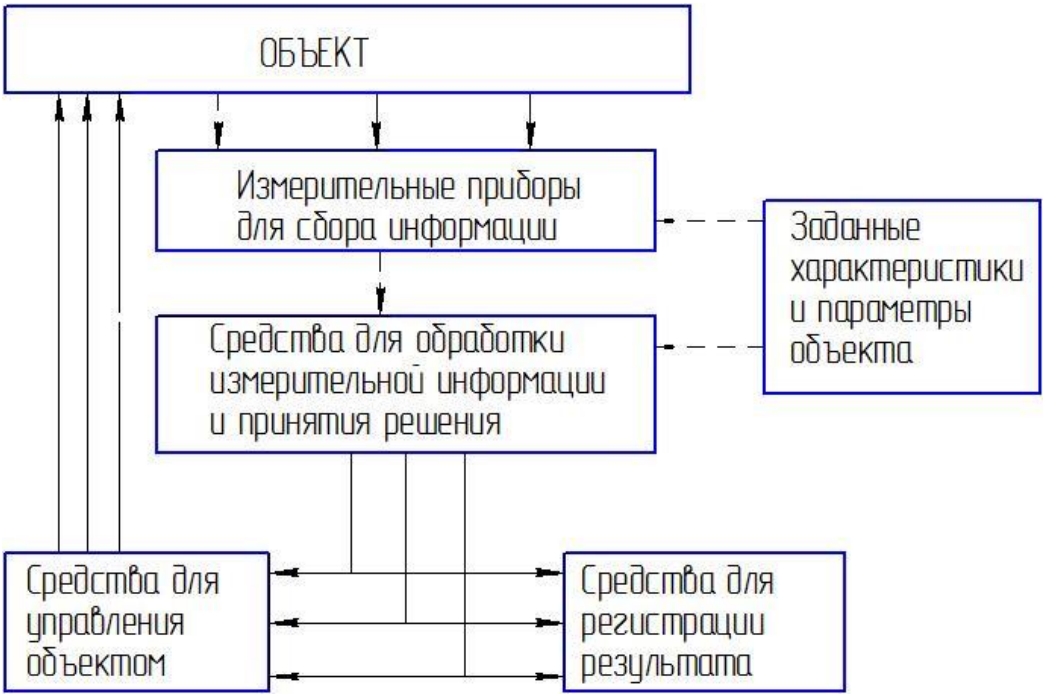


Рисунок 1. Обобщённая структурная схема средств измерения

Следовательно, системный подход, ориентированный на конечный результат – изготовление продукции заданного качества должен позволить наиболее рационально организовать процесс контроля за счёт сокращения избыточной информации.

Например, если измерительные средства станка позволяют надёжно осуществлять операции изготовления изделия с требуемыми выходными параметрами, то может быть значительно сокращён объём контроля вне станка и, наоборот, по результатам измерения изделия вне станка можно осуществлять коррекцию его работы и диагностировать возможность возникновения неисправностей.

Тем самым по существу ставиться вопрос об интеграции всех измерительных средств в единую информационно-измерительную систему (ИИС), призванную обеспечить оптимальный режим управления как отдельными станками (системами станков), так и всем комплексом технологических процессов по изготовлению продукции заданного качества на основе рационально организованного процесса контроля, оперативной обработки измерительной информации, её накопления, обобщения и точностного анализа хода процесса и качества изделия.

В этом плане весьма интересен опыт, накопленный в процессе эксплуатации станков с ЧПУ и гибких производственных систем.

Автоматизированные измерительные системы для обеспечения работы технологического модуля в составе гибкой производственной системы должны решать следующие основные функциональные задачи [Кадыров, с.17]:

1. Выработка сигналов обратной связи в функции перемещения рабочих органов станка для обеспечения управления перемещениями станка в режимах цикловой автоматики и программного управления.

2. Выработка сигналов обратной связи об изменениях параметров станка в процессе обработки для осуществления адаптивного управления.

3. Выработка сигналов измерительной информации о параметрах изделия, проверяемого непосредственно на станке.

4. Выработка сигналов измерительной информации о положении режущего инструмента относительно баз станка.

5. Выработка сигналов измерительной информации о положении обрабатываемого изделия относительно баз станка.

6. Выработка измерительной информации для диагностики работы станка:

- о состоянии режущего инструмента;

- о кинематической точности обхода контура, позиционирования оборудования;

- о геометрической точности оборудования;

- о правильности функционирования узлов и систем станка, в том числе измерительных;

- о правильности функционирования устройства ЧПУ и средств автоматики.

7. Выработка измерительной информации о параметрах изделия при его контроле вне станка.

8. Выработка измерительной информации для проверки и настройки инструмента вне станка.

Кроме перечисленных выше основных функциональных задач существует ещё одна самостоятельная задача – метрологического обеспечения автоматизированных систем.

Так как перечисленные выше функциональные задачи предполагают функционирование измерительных систем в динамическом режиме, то средства метрологического обеспечения должны также осуществлять проверку не только в статическом, но и в динамическом режиме работы.

Рассмотрение перечисленных выше задач показывает, что задачи 1,2,3 должны решаться встроенными в обрабатывающий станок измерительными системами, которые можно отнести к общей группе систем – «информационная интерструктура» станка [Кадыров, с.21].

Задачи 7,8 решаются измерительными средствами, расположенными вне станка, которые должны быть отнесены ко второй группе систем - «информационная интерструктура» станка [Кадыров, с.84].

Что касается задач 4,5,6, то они могут решаться как за счёт встроенных измерительных систем, так и средств, автономно функционирующих вне станка.

Определяющим фактором в этом случае является периодичность контроля. Совершенно очевидно, что если информация о контролируемом параметре должна поступать весьма часто, то и соответствующие системы должны быть встроены в станок.

При возможности осуществления периодического контроля соответствующие средства могут располагаться вне станка и за счёт этого обеспечить обслуживание группы станков, что является более экономичным.

Поэтому при определении необходимого состава автоматизированных измерительных средств и их назначения как в рамках конкретной операции, так и всего технологического цикла очень важно оценить степень воздействия информации, получаемой от измерительных средств, на процесс изготовления.

Таким образом, в плане осуществления системного подхода необходимо на основе точностного анализа технической операции в рамках всего техноло-

гического процесса с учётом особенностей процесса обработки и возможностей станка определять на основании технико-экономических критериев сбалансированного соотношения задач контроля и применяемых измерительных систем.

Выводы:

1 Основные направления развития измерительных систем станков должны базироваться на системном подходе как в плане информационного обеспечения достижения требуемого качества изготовления изделий при минимальных затратах во всём технологическом цикле, так и в плане оптимизации информационных структур.

2. Оптимизация построения информационных структур должна основываться на точностном анализе технологического процесса, включая процесс контроля изделий, станков, узлов и систем станков, имея в виду рациональную минимизацию объёмов контроля, состава измерительных средств и их функций, определение обоснованных требований к точности измерительных средств, уровню их автоматизации.

3. Особое внимание должно быть обращено на создание перспективных устройств обратной связи для станков, средств контроля точности станков и средств контроля изделий вне станка с максимальным учётом особенностей технологического процесса и функциональных возможностей обрабатывающего оборудования.

Список литературы

1. Парахуда, Р.Н., Швецов В.И. Автоматизация измерений и контроля: конспект лекций/ Р.Н. Парахуда, В.И. Шевцов: СПб: СЗТУ, 2002, - 75с.

2. Кадыров,Ж.Н. Диагностика и адаптация станочного оборудования ГПС. – Л.: «Политехника», 1991г. – 144с.

Обзор способов улучшения физико-химических свойств топлив для наземных транспортных средств

Ерохин Д.С.
магистрант кафедры технологии машиностроения
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: Elly.bear@yandex.ru

Аннотация: В настоящей статье обозреваются эксплуатационные характеристики, способы очистки топлив. Рассмотрены важнейшие свойства топлив, которые определяют повышенный износ деталей двигателя и влияют на его эксплуатационные характеристики и эффективность работы двигателя внутреннего сгорания. К ним следует отнести загрязненность примесями и водой, смазывающие свойства топлива, температура помутнения и предельная температура фильтрации. Очистка топлив от механических примесей и воды подразделяется на физические, физико-химические методы воздействия на топливо, среди которых преобладает очистка топлива фильтрами и сепараторами различной конструкции. Известные высокоэффективные способы очистки топлив и улучшения их эксплуатационных свойств предполагают использование сложного труднореализуемого технологического процесса.

Целью настоящей работы являлся обзор способов повышения эксплуатационных свойств топлив за счет удаления примесей, растворенной воды, улучшения смазывающих и низкотемпературных характеристик топлив наземных транспортных средств.

Сделаны выводы, о точностях и недостатках очистки топлив.

Ключевые слова: Очистка топлив, Эксплуатационные характеристики топлив, Фракционный состав.

Состав, качество и природа применяемых в двигателях наземных транспортных средств топлив в значительной степени предопределяет ресурс и надежность деталей и систем, снабжающих двигатель топливом. Наиболее важнымими эксплуатационными характеристиками топлива являются цетановое и окта-новое числа, фракционный состав, низкотемпературные и смазывающие свойства, степень чистоты, вязкость, присутствие соединений серы, углеводородов и металлов, а также температура вспышки, обуславливающая безопасность применения топлива в двигателях [Итинская, с.108].

Для регулирования жесткости рабочего процесса, расход топлива и загрязненности отработанных газов используются специальные присадки, которые могут добавляться в топливо, как на стадии его производства, так и в про-

цессе использования в двигателях машин. Однако и в тех и других случаях могут присутствовать отрицательные побочные эффекты, от действия присадок, которые влияют на свойства топлив, например, повышается коксуемость топлива. Использование присадок и добавок к топливу при его непосредственном применении в условиях эксплуатации, может привести к крайне отрицательным результатам и аварийному выходу из строя двигателя. Одним из важнейших требований к топливу является его прокачиваемость, определяемая его вязкостью и низкотемпературными характеристиками. Вязкость топлива взаимосвязана с фракционным составом, чем тяжелее фракционный состав, тем выше вязкость и плотность топлива. Вязкость топлива в значительной мере определяет процессы смесеобразования и испарения в дизельном двигателе, поскольку от них зависит строение топливного факела, размеры капель топлива и дальность их проникновения в камеру сгорания. Более низкая вязкость обеспечивает лучшее распыливание топлива, и с повышением вязкости увеличивается диаметр капель, соответственно уменьшается полнота их сгорания, что приводит к увеличению удельного расхода топлива, росту дымности [Коваленко, с.121].

Значительное влияние на коррозионную агрессивность топлив оказывает присутствие в них серосодержащих соединений. Известно, что органические сернистые соединения, содержащиеся в нефти, имеют температуру кипения выше 200ºС. Эти соединения непосредственно с металлом мало взаимодействуют, но при сгорании образуют агрессивные оксиды серы SO2 и SO3. При взаимодействии с водой эти оксиды образуют кислоты – сернистую и серную. На количество серосодержащих соединений в топливе влияет глубина их гидроочистки, так как при этом вместе с сернистыми и ароматическими соединениями удаляются поверхностно-активные вещества, в результате чего ухудшаются защитные свойства топлив. Удаление поверхностно-активных веществ приводит к снижению способности топлива вытеснять воду с поверхности металлов и образовывать защитную пленку [Петров, с.88].

Топлива являются смазочным материалом для движущихся деталей топливной аппаратуры. Противоизносные свойства топлив улучшаются с увеличением вязкости, температуры выкипания и содержания поверхностно активных веществ. Для улучшения качеств топлив производят гидроочистку. При этом из топлива удаляют соединения, содержащие серу, кислород и азот, что негативно влияет на их смазывающую способность.

Анализ основных эксплуатационных характеристик топлив показал, что многие из них взаимосвязаны. Так вязкость топлива взаимосвязана с фракционным составом. Фракционный состав в свою очередь взаимосвязан и с противоизносными свойствами и химической стабильностью. В зависимости от условий перегонки и фракционного состава в топливе может содержаться незначительное количество серы, что ухудшает противоизносные смазывающие свойства топлива. Смазывающие свойства топлива зависят от его вязкости, фракционного состава. Коррозионная агрессивность топлива зависит от содержания серы и сероводорода, присутствия воды в топливе. На Рис. 1 показано влияние эксплуатационных характеристикик топлива на износ деталей двигателей. Их надежность. и ресурс играют важную роль в увеличении затрат при росте расхода топлива [Бектилевов, с.41].



Рисунок 1. Влияние эксплуатационных характеристикик топлива на износ.

В последнее десятилетие, в связи с ростом всех вышеперечисленных проблем, ведется активный научный поиск способов улучшения эксплуатационных свойств топлив и разработка оборудования для очистки топлив. Для улучшения свойств топлива предлагается огромное количество депрессорных присадок, к сожалению, пока не нашедших широкого применения. Все известные способы повышения эксплуатационных свойств топлив можно разделить на четыре направления:

1. Очистка топлив от воды и механических примесей.
2. Снижение содержания серы и фактических смол.
3. Повышение смазывающих свойств топлив.
4. Улучшение свойств топлив.

Рассмотрим некоторые из них и охарактеризуем приспособленность и адаптированность известных способов, оборудования и технологий.

Очистка топлив от механических примесей и воды подразделяется на физические, физико-химические методы воздействия на топливо, среди которых преобладает очистка топлива фильтрами и сепараторами различной конструкции.

Комплект оборудования для очистки дизельного топлива Ж5–ТРЦП–КО предназначен для обезвоживания и очистки от механических примесей производительностью до 1000 дм^3 /ч Рис. 2.



Рисунок 2. Комплект оборудования Ж5 – ТРЦП – КО

К недостаткам установки относится низкое качество очистки, отсутствие возможности удалять свободную воду.

«Укрстроймаш» (Украина) на протяжении более 10 лет выпускает оборудование для очистки топлива. Установка вакуумной регенерации УВР Рис. 3, по заявлениям разработчиков и изготовителей, предназначена для очистки топлив от механических примесей, воды, позволяет удалять парафины и серу из дизельного топлива. Производительность 400 л/час.



Рисунок 3. Общий вид установки вакуумной регенерации

Тонкость очистки составляет 3-5 мкм. Габаритные размеры 6060х2590х2440. Масса 7000 кг. Цена установки от 2 млн. рублей. Данное оборудование отличается высокой металлоемкостью и ценой.

Сепаратор центробежный СЦ-3 Рис. 4,предназначен для очистки топлив и масел от механических примесей и воды.



Рисунок 4. Общий вид сепаратора СЦ-3

Позволяет обеспечивать класс чистоты по ГОСТ 17121-714-5. Производительность 3000 л/час. Массовая доля воды в очищенном топливе 0,05%. Содержание механических примесей в очищенном топливе 0,06 %.

Помимо стационарного оборудования существует достаточно много фильтров и устройств для очистки топлива и улучшения его свойств, устанавливающихся непосредственно на двигатели.

В условиях эксплуатации очень сложно уменьшить количество парафинов в топливе, можно изменить только их дисперсную устойчивость. Для этих целей предприятия, реализующие нефтепродукты, в условиях небольших нефтехранилищ проводят внесение в топливо депрессорных присадок.

Рассмотрев некоторые технические решения средств очистки топлив и улучшения их эксплуатационных свойств можно отметить, что почти все они выполняют функции очистки топлив от механических примесей, однако тонкость очистки топлив от механических примесей и воды не всегда отвечает требованиям эксплуатации, а растворенная вода практически вся остается в топливе.

Список литературы

1. Итинская Н. И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. М., 1982. 208 с.
2. Коваленко В. П., Турчанинов В. Е. Очистка нефтепродуктов от загрязнения. М. : Недра, 1990. 160 с.
3. Петров И. А. Автомобильные масла, смазки, присадки. М., 2001. 250 с.
4. Бектилевов А. Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельных топлив в условиях предприятий АПК : диссертация ... кандидата техн. наук : 05.09.02 Тамбов., 2015. 216 с.

Методы улучшения свойств генераторов псевдослучайных чисел

Ефимчук А. А.[a], Ланских В.Г.[b], Ланских Ю.В.[c]
магистрант, кафедра автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b,c]
E-mail: alexxefm@gmail.com[a], usr00222@vyatsu.ru[b], lyuv@inbox.ru[c]

Аннотация: Псевдослучайные последовательности широко применяются в имитационном моделировании, методах Монте-Карло, криптографии, программировании и иных областях. В статье обсуждаются методы улучшения свойств генераторов псевдослучайных чисел для использования в криптографических системах. Рассматриваются способы реализации генераторов псевдослучайных двоичных последовательностей с использованием фильтрующих функций и построение комбинированных генераторов, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова*:* фильтрующая функция, генератор Геффе, сжимающий генератор.

Одной из важных задач при построении генераторов псевдослучайных последовательностей является обеспечение высокого качества вырабатываемой последовательности. Особый интерес представляют методы улучшения качества выходных последовательностей уже имеющихся генераторов, поскольку это позволяет основываться на ранее полученных результатах.

В этой области можно выделить два основных подхода: использование фильтрующих функций, осуществляющих преобразование выходной последовательности единственного генератора; построение комбинированных генераторов, объединяющих в себе несколько элементарных генераторов.

Поскольку существует достаточно много различных методов улучшения качества псевдослучайных последовательностей, ограничимся рассмотрением наиболее распространенных.

Применение фильтрующей функции.

Введем обозначения: a_t – случайная величина, Ω – дискретное множество, $\widetilde{\alpha}, \widetilde{\beta}$ – случайные бесконечные последовательности, q – число двоичных разрядов.

Пусть последовательность $\tilde{\alpha} = \{a_t \in \Omega_a\}$ вырабатывается некоторым генератором псевдослучайных чисел. Тогда последовательность $\tilde{\beta} = \{\beta_t = f(a_t) \in \Omega_\beta\}$ получается из последовательности $\tilde{\alpha}$ при помощи применения фильтрующей функции f: $\Omega_a \to \Omega_\beta$.

Одним из распространенных вариантов фильтрующей функции является «отбрасывание» младших или старших битов членов выходной последовательности генератора. Функция f: $z_2^q \to z_2^r$ «отбрасывающая» l младших и h старших битов $(q - l - h = r)$ может быть описана в виде

$$f(a) = \frac{a \bmod 2^{q-h} - a \bmod 2^l}{2^l}. \tag{1}$$

Рассмотрим линейные регистры сдвига с фильтрующей функцией.

Фильтрующие функции часто входят в состав генераторов псевдослучайных чисел на основе регистров сдвига с линейными обратными связями [Maximov, с. 20, Menezes, с. 242].

В качестве выходной последовательности регистра сдвига рассматривается последовательность его внутренних состояний $\tilde{s} = \{(s_{t-1}, s_{t-2}, ..., s_{t-L}) \in F_2^L\}$.

Выходная последовательность генератора формируется путем применения нелинейной булевой функции f: $F_2^L \to F_2 : a_t = f(S_{t-1}, S_{t-2}, ..., S_{t-L})$.

Максимальный период выходной последовательности РСЛОС с фильтрующей функцией равен периоду самого регистра и составляет $T_{\max} = 2^L - 1$. Нелинейная фильтрующая функция позволяет избавиться от главного недостатка регистров сдвига с линейными обратными связями – низкой линейной сложности выходной последовательности: в [Key, с. 732] показано, что линейная сложность для таких генераторов ограничена сверху значением

$$\zeta_{\max}(\tilde{a}) = \sum_{i=1}^{d} C_L^i, \tag{2}$$

где L — длина регистра,

$d = deg(f)$— степень многочлена C.

Более того, доля фильтрующих булевых функций степени d, для которых достигается максимально возможное значение линейной сложности выходной последовательности ζmax составляет приблизительно

$$\exp(-\frac{\zeta_{\max}}{L*2^L}) > e^{-\frac{1}{L}\xrightarrow{L\to\infty}1}, \quad (3)$$

т. е. при больших значениях длины регистра верхняя граница достигается для подавляющего большинства функций *f* [Menezes, с. 401].

Вторым методом является комбинация последовательностей.

Пусть $\tilde{a}^{(1)},\tilde{a}^{(2)},...,\tilde{a}^{(k)}$ — выходные последовательности некоторых генераторов псевдослучайных чисел. Тогда результирующая последовательность $\tilde{\beta} = \beta_1,\beta_2,...$ может быть получена из исходных путем применения перемешивающей функции *f*:

$$\beta_t = f(a_t^{(1)},a_t^{(2)},...,a_t^{(k)}), \quad (4)$$

где $a_t^{(i)}$ —t-ый член последовательности $\tilde{a}(i)$.

Основным недостатком такого подхода является очевидное снижение скорости выработки псевдослучайной последовательности при программной реализации в k раз по сравнению с быстродействием исходных генераторов.

Если каждая исходная последовательность $\tilde{a}^{(i)}$ обладает линейной сложностью ζ_i, а функция *f* представлена в алгебраической нормальной форме, то линейная сложность результирующей последовательности составляет

$$\zeta(\tilde{\beta}) = f(\zeta_1,\zeta_2,...,\zeta_k), \quad (5)$$

где все вычисления производятся в $\mathbb{Z}$ (поле вычетов по модулю простого числа)[Menezes, с. 192].

Рассмотрим комбинацию последовательностей при помощи бинарной операции.

В составном генераторе с бинарной комбинирующей операцией используются две элементарные последовательности $\tilde{a}^{(1)}$ и $\tilde{a}^{(2)}$ для выработки результирующей последовательности β при помощи следующего соотношения:

$$\beta_t = a_t^{(1)} \otimes a_t^{(2)}, t = 1,2,..., \quad (6)$$

где в качестве операции $\otimes$ может использоваться +, —, • (умножение), $\oplus$ («исключающее или»).

Составные генераторы с бинарной комбинирующей операцией позволяют улучшить статистические свойства выходной последовательности и сделать ее менее предсказуемой.

Рассмотрим случайную дискретную величину $x \in \Omega$ со значениями из множества $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, ..., \omega_N\}$ имеющую распределение вероятностей

$$p = (p_1, p_2, ..., p_N), \tag{7}$$

где $p_i = P_r[x = \omega_i]$.

В качестве меры «близости» распределения x к равномерному введем расстояние

$$\delta(x) = \sum_{i=1}^{N} \left| p_i - \frac{1}{N} \right|. \tag{8}$$

Тогда можно показать [Харин, с. 94], что если $\alpha^{(1)}$ и $\alpha^{(2)}$ — две независимые случайные величины со значениями из Ω и операция $\otimes$ на множестве Ω задается латинским квадратом (что выполняется, если $\langle \Omega, \otimes \rangle$ образует квазигруппу), то

$$\delta(\beta) = \delta(\alpha^{(1)} \otimes \alpha^{(2)}) \le \min(\delta(\alpha^{(1)}), \delta(\alpha^{(2)})). \tag{9}$$

Кроме того, если последовательности $\tilde{a}^{(1)}$ и $\tilde{a}^{(2)}$ строго периодичны с периодами $T^{(1)}$ и $T^{(2)}$ соответственно, то период выходной последовательности $\tilde{\beta} = \tilde{a}^{(1)} \otimes \tilde{a}^{(2)}$ составного генератора равен наименьшему общему кратному чисел $T^{(1)}$ и $T^{(2)}$ $T = LCM(T^{(1)}, T^{(2)})$ и достигает максимального значения $T_{\max} = T^{(1)} \cdot T^{(2)}$ в случае, когда $T^{(1)}$ и $T^{(2)}$ взаимнопросты.

Примером составного генератора, использующего комбинацию последовательностей, является генератор Геффе [Варфоломеев, с. 84, Иванов, с. 64]. Несмотря на то, что использование перемешивающей функции для комбинирования выходов регистров позволило существенно увеличить период и улучшить статистические свойства вырабатываемой последовательности, генератор оказался подвержен корреляционной атаке [Варфоломеев, с. 106]. Следовательно, генератор Геффе является непригодным для использования в криптографии.

Следует отметить, что корреляционным атакам подвержены и многие другие комбинированные генераторы псевдослучайных последовательностей.

Еще одним методом улучшения статистических свойств псевдослучайных последовательностей является их прореживание. Пусть $\tilde{a} = a_1, a_2 \ldots$ — псевдослучайная последовательность, полученная при помощи некоторого генератора, и $t_1, t_2, \in N(1 \le t_1 < t_2 < \ldots)$ — не зависящая от $\tilde{a}$ последовательность индексов. Тогда последовательность $\tilde{\beta} = a_{t_1}, a_{t_2}, \ldots,$ получаемая из $\tilde{a}$ путем ее «прореживания», является равномерно распределенной, если исходная последовательность также являлась равномерно распределенной. При этом прореживание позволяет улучшить статистические свойства псевдослучайной последовательности и сделать ее менее предсказуемой за счет «разрушения» корреляций между различными членами.

К недостаткам метода прореживания можно отнести снижение быстродействия генератора (за счет «отбрасывания» некоторых выходных значений), а также неравномерность скорости выработки псевдослучайной последовательности.

Примером практической реализации метода прореживания является схема, предложенная Ниффелером [Nyffeler, с. 25] и основанная на использовании РСЛОС с управляемым сдвигом.

Генератор, построенный по схеме Ниффелера, включает в себя: два регистра сдвига с линейными обратными связями R_1 и R_2, один из которых вырабатывает исходную псевдослучайную последовательность, а второй - последовательность, определяющую индексы прореживания, над полями F_{q_1} и F_{q_2} соответственно; функцию f, реализующую отображение f: $F_{q_1} \to N$.

Начальное состояние генератора определяется начальными заполнениями регистров R_1 и R_2. Выход x_t первого регистра преобразуется при помощи функции $f(x_t)$ и подается на вход тактирования второго регистра, определяя величину его сдвига, а выход второго регистра используется для формирования членов выходной последовательности $\tilde{a} = \{a_t\}$.

Таким образом, на каждом такте работы генератора выполняются следующие шаги: регистр R_1 сдвигается на одну позицию и формируется его выходное значение $x_t \in F_{q_1}$; вычисляется значение функции $f(x_t) \in N$; регистр R_2 сдвигается на $f(x_t)$ позиций и формируется его выходное значение $a_t = F_{q_2}$ являющееся очередным членом выходной последовательности $\tilde{a}$ генератора.

Анализ свойств генератора, предложенного Ниффелером, был проведен Смитсом в работе [Smeets, с. 142]. Исследования показали, что при выполнении ряда условий обеспечивается высокая линейная сложность выходной последовательности и ее хорошие статистические свойства.

Развитие идей Ниффелера и более глубокий анализ различных вариантов комбинации регистров сдвига с линейными обратными связями при построении генераторов псевдослучайных последовательностей был проведен Голлманом и Чэмберсом [Gollmann, с. 93, с. 341, с. 680].

На методе прореживания также основан сжимающий генератор [Coppersmith, с. 22]. Генератор состоит из двух двоичных регистров сдвига с линейными обратными связями R_1 и R_2, первый из которых является управляющим, а второй вырабатывает псевдослучайную последовательность.

Алгоритм работы сжимающего генератора основан на повторении следующих шагов на каждой итерации: осуществляется сдвиг регистров R_1 и R_2 на одну позицию; если на выходе R_1 сформировалось значение 1, то на выход генератора подается выходное значение R_2; если на выходе R_1 сформировалось значение 0, то на выход генератора не подается ничего (т. е. очередной член к выходной последовательности генератора на текущем шаге не добавляется).

Если регистры R_1 и R_2 имеют длины L_1 и L_2 соответственно и являются М-генераторами, то верны следующие утверждения: период выходной последовательности сжимающего генератора составляет $T = (2^{L_2} - 1)2^{L_1 - 1}$, если длины регистров L_1 и L_2 взаимнопросты; линейная сложность $\zeta(\tilde{a})$ выходной последовательности генератора ограничена неравенством

$$L_2 \cdot 2^{L_1 - 2} < L(\tilde{a}) \le L_2 \cdot 2^{L_1 - 1}. \qquad (10)$$

Основным недостатком сжимающего генератора является непостоянство скорости выработки псевдослучайной последовательности. Исправить данный недостаток можно буфером обмена. Сначала с непостоянной скоростью последовательность заносится в буфер. Затем оттуда выводится с постоянной скоростью.

Каждый из методов обладает своими достоинствами и недостатками. В зависимости от условий применения генератора, можно использовать наиболее подходящий метод для улучшения свойств генерируемых последовательностей.

Список литературы

1. Maximov A. Some Words on Cryptanalysis of Stream Ciphers: Ph. D. dissertation. Lund: Lund University, 2006. 256 p.
2. Menezes A., von Oorschot P., Vanstone S. Handbook of Applied Cryptography. Boca Raton: CRC Press, 1996. 816 p.
3. Key E. An analysis of the structure and complexity of nonlinear binary sequence generators // IEEE Transactions on Information Theory. 1976. Vol. 22. P. 732-736.
4. Харин Ю.С., Берник В.И., Матвеев Г.В. Математические основы криптологии: Учеб. пособие. Минск: БГУ, 1999. 319 с.
5. Варфоломеев А.А., Жуков А.Е., Пудовкина М.А. Поточные криптосистемы. Основные свойства и методы анализа стойкости: Учеб. пособие. М.: ПАИМС, 2000. 272 с.
6. Иванов М.А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. М.: КУДИЦ-Образ, 2003. Кн. 2. 240 с.
7. Nyffeler P. Binare Automaten und ihre Linearen Rekursionen: Ph. D. dissertation. Bern: University of Bern, 1975. 113 p.
8. Smeets B. A note on sequences generated by clock controlled shift registers // EUROCRYPT’85: Conf. proc. Linz, 1985. P. 142-148.
9. Gollmann D. Pseudo random properties of cascade connections of clock controlled shift registers // EUROCRYPT’84: Conf. proc. Paris, 1984. P. 93-98.
10. Gollmann D., Chambers W. Lock-in effect in cascades of clock-controlled shift registers // EUROCRYPT’88: Conf. proc. Davos, 1988. P. 341-432.
11. Gollmann D., Chambers W. A cryptoanalysis of $Step_{k,m}$-cascades // EUROCRYPT’89: Conf. proc. Houthalen, 1989. P. 680-687.
12. Coppersmith D., Krawczyk H., Mansour Y. The shrinking generator // Lecture Notes in Computer Science. 1993. Vol. 773. P. 22-39.
13. Поточные шифры. Результаты зарубежной открытой криптологии. Москва: «Мир», 1997. 389 с.

Повышения стойкости режущего инструмента посредством магнитно-импульсной обработки

Жуйков В.А.[a], Митягин Д.А.[b]
доцент кафедры технология машиностроения[a]
студент магистратуры[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: mrskp@mail.ru[a], mityagin_denis@mail.ru[b]

Аннотация: Повышение стойкости металлорежущего инструмента является крайне важным вопросом в современном машиностроении в связи с постоянной интенсификацией механических, тепловых и других видов воздействий на него. Одним из прогрессивных методов поверхностного упрочнения металлорежущего инструмента является магнитно-импульсная обработка (МИО). Она представляет собой комплексное воздействие на материал магнитострикционных процессов и механических деформаций, тепловых и электромагнитных вихревых потоков.

Анализ технической и патентной информации показал, что в последние годы было проведено мало исследований влияния параметров МИО на стойкость современных режущих инструментов.

Цель работы - исследование взаимосвязей параметров МИО современных режущих инструментов с его стойкостью для выявления резервов повышения интенсивности обработки на металлорежущих станках.

В данной работе объектом исследований являются концевые фрезы из материала Р9К5. В процессе испытаний проводилось сравнение стойкости режущего инструмента, который подвергли МИО, с контрольным, необработанным.

Результатом проведенных исследований является повышение стойкости обработанных фрез на 20%. Это позволяет обосновать необходимость проведения более масштабных исследований.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, режущий инструмент, стойкость.

Задача повышения стойкости режущего инструмента имеет важное значение в связи с интенсификацией механических, тепловых и других видов воздействий на него. Для этого разработано большое количество методов поверхностного упрочнения, основанных на нанесении покрытий или на основе физико-химического модифицирования поверхностного слоя, направленных на повышение его твердости и износостойкости. Значительная часть из них - это ме-

тоды обработки с применением концентрированных потоков энергий: электронное, лазерное и магнитное упрочнение.

Наиболее перспективным методом повышения стойкости инструментов является магнитно-импульсная обработка (МИО). Ее применяют в машиностроении так же для обработки различных деталей, конструкций и сборочных единиц, заклепочных, сварных и резьбовых соединений, стальных канатов и тросов грузоподъемных машин и т.д.[1]

Принципиальная схема установки для МИО представлена на рис. 1. От источника питания 1 через выпрямитель 2 заряжается батарея 3. По завершении зарядки батарея с помощью коммутирующего устройства 4 замыкается на индуктор 6. Протекающий по индуктору ток создает короткий импульс мощного магнитного поля, действующего на обрабатываемое изделие 5, размещенное в индукторе

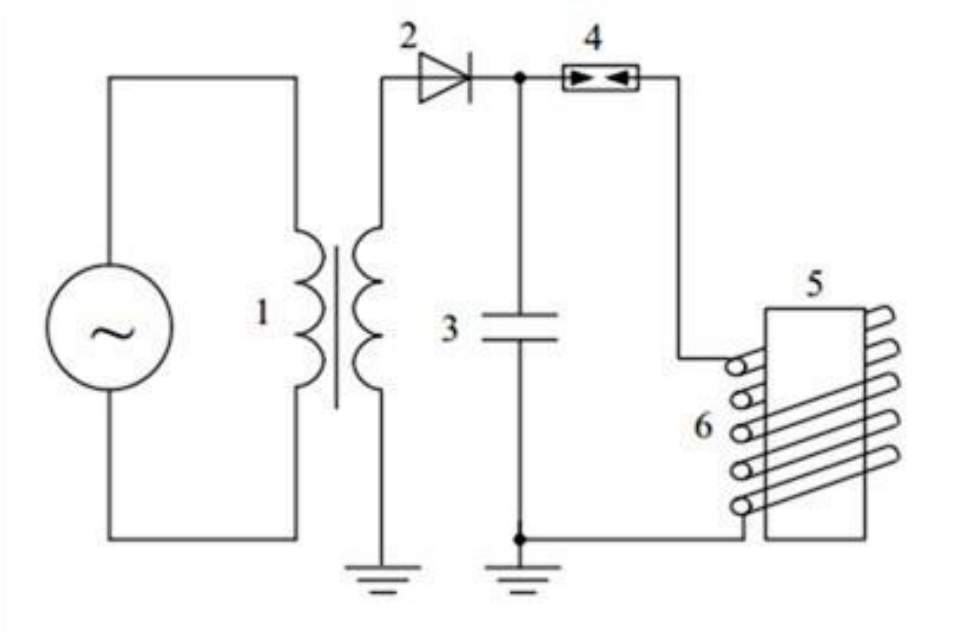


Рисунок 1. Принципиальная схема электрической цепи установки для магнитно-импульсной обработки : 1 - источник питания; 2 - выпрямитель; 3 — батарея конденсаторов; 4 - коммутирующее устройство; 5 - изделие; 6 – индуктор

Физическая сущность процессов, происходящих при МИО представляется следующим образом [2]. Обрабатываемый образец помещают в полость индуктора, соединенного с источником импульсов тока. В импульсном магнит-

ном поле индуктора образец подвергается «винтовому сжатию». Возникающие электродинамические силы частично уплотняют кристаллиты металла, вследствие чего снижаются концентрации напряжений. Кроме того, вихревое магнитное поле обусловливает более равномерное охлаждение металлорежущего инструмента, прошедшего МИО, улучшение свойств достигается за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, вследствие чего увеличивается тепло- и электропроводимость материала.

МИО можно применять на разных стадиях изготовления или использования инструментов:

- во время термообработки;

- после их изготовления и переточки;

- в процессе резания [3].

Основные преимущества МИО:

— сохранение геометрии деталей, обработанных МИО;

— упрочнение металлорежущего инструмента любой конструкции;

— простота технологической оснастки и отсутствие расходных материалов;

— экологичность;

— низкая себестоимость;

— уменьшение коэффициента трения инструмента в 1,5–2 раза;

— увеличение скорости отвода тепловых потоков при жидкостном охлаждении.

Анализ технической и патентной информации показал, что не исследован вопрос взаимосвязи параметров МИО с качеством обработки, на которое могут влиять не только снижение интенсивности износа, но и изменения коэффициента трения между режущим и обрабатываемым материалами, и величина деформации инструмента от механических и тепловых воздействий. Нет данных о влиянии МИО инструмента на энергетические затраты и на себестоимость продукции, что требует накопления нового теоретического и практического материала в этой области.

Целью работы является исследование повышения производительности обработки на современных металлорежущих станках путем снижения интенсивности износа режущего инструмента.

Для достижения этой цели необходимо:

1. Провести сравнительные производственные испытания взаимосвязи режимов МИО режущих инструментов с параметрами стойкости и качества обработки.

2. Провести лабораторные исследования влияния МИО на физико-механические свойства режущих материалов.

Решение поставленных задач позволит найти параметры МИО современных режущих материалов, обеспечивающих повышение производительности обработки и снижение себестоимости механической обработки заготовок.

Исследования проводились на предприятии АО «ВПМ «АВИТЕК» (г. Киров).

Объект исследований - концевые фрезы, материал Р9К5, диаметр 19 мм, число зубьев Z=4, (Рис. 3)

Оборудование – станок 6Р12.

Заготовка: материал сталь 13Х15Н4АМ3-Ш (Рис. 2)

Режимы МИО:

Напряженность магнитного поля, кА/м	$1x10^3$
Частота импульсов, Гц	4
Время обработки, сек	90
Время выдержки после МИО в немагнитной таре, час	72

Размагничивание осуществлялось в том же индукторе однократным импульсом с затухающей амплитудой напряженности магнитного поля.

Испытания проводились в производственных условиях при обработке серийных заготовок на режимах, заданных на данной операции технологической документацией.

При испытаниях сравнивается стойкость (время работы между переточками) инструмента, прошедшего МИО и контрольного, необработанного. Условия работы инструментов одинаковые.

Стойкость инструмента может быть выражена в минутах чистого времени работы или в количестве обработанных деталей. Необходимость замены инструмента определяется по критериям, которые используются станочником или оператором на данном оборудовании или виде обработки. Например, по усилию резания, звуковым эффектам, характеру стружкообразования и т.п.

Результаты испытаний записываются и обрабатываются в виде акта, в котором указываются условия испытаний и результаты работы каждого инструмента с указанием номера инструмента, прошедшего МИО.

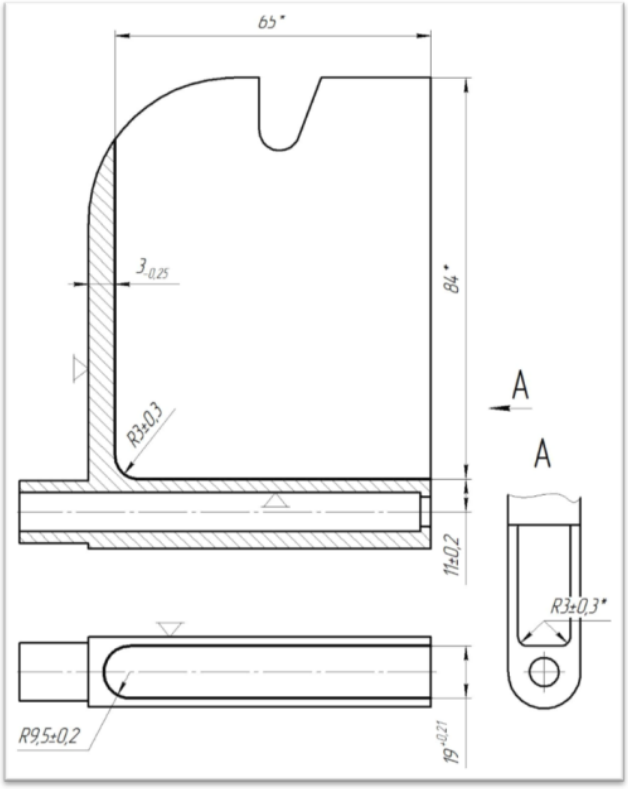


Рисунок 2. Обрабатываемая заготовка

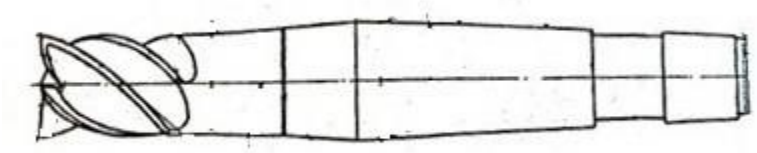


Рисунок 3. Объект исследований

На станок поочередно устанавливались фрезы контрольные и прошедшие МИО. Определялось количество заготовок, обработанных до критического износа фрезы. Критерием износа являлись косвенные параметры - характер стружкообразования, качество и размер обрабатываемых поверхностей.

В процессе испытаний установлено, что контрольные фрезы достигали критического износа после обработки 25 заготовок, а фрезы, прошедшие МИО, обрабатывали 30 заготовок. Коэффициент повышения стойкости составил 1.2, что подтверждает эффективность применяемого метода.

Результаты позволяют обосновать необходимость проведения более масштабных исследований метода МИО в производственных условиях для различных типов режущих материалов и инструментов.

Список литературы

1. Повышение стойкости режущего инструмента путем комбинированной магнитно-импульсной обработки. URL: http://tekhnosfera.com/povyshenie-stoykosti-rezhuschego-instrumenta-putem-kombinirovannoy-magnitno-impulsnoy-obrabotki (дата обращения 15.11.2017).

2. Электрические машины.URL: http://www.eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini_1465.html (дата обращения 25.11.2017).

3. Возможности импульсной магнитной обработки. URL: http://материаловед. рф/uchebnye-posobiya/povyshenie-effektivnosti-otdelochnoj-obrabotki-detalej-iz-mednyx-splavov-svobodnymi-abrazivami-na-osnove-issledovaniya-sostava-texnologicheskoj-sredy/1-sostoyanie-voprosa-i-postanovka-zadachi-issledovaniya/1-5-vozmozhnosti-impulsnoj-magnitnoj-obrabotki

(дата обращения 18.12.2017).

Оклады церковных икон: история, стили, материал, технологии изготовления

Земцов М.И.[a], Суровцева А.А.[b], Стахеева А.А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна[a]
аспирант кафедры технологии машиностроения[b]
студент кафедры технологии и дизайна[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: zemcov_txom@mail.ru, an_fom_999@mail.ru, staheeva.nastya3096@yandex.ru

Аннотация: данная работа посвящена теме церковного искусства, а именно – окладам церковных икон. Только благодаря окладам до наших дней дошли многие древнейшие иконы, которыми мы можем восхищаться и в настоящее время. Кроме того, оклад играл роль не только «чехла» для иконы, но и благодаря ему икона смотрелась совсем иначе, выглядела более объемной, филигранной и более богатой. Значимость иконы для народа как культовый предмет, так же, как произведения искусства, не уменьшается и в настоящее время. В статье приводится краткая история развития оклада, рассматриваются разновидности конструкции металлических окладов и существующие технологии их изготовления.

Ключевые слова: оклад, икона, чеканка, штамповка, литье, гальванопластика.

Тема церковного искусства становится все более популярной. Открытие иконы в начале XX века как произведения искусства повлекло за собой критику традиций оклада, в связи с этим возникает вопрос: что такое оклад икон – ремесло или высокое искусство?

Целью исследования является изучение предмета ритуально-обрядового назначения (оклад, риза) и технологий его изготовления.

Риза (оклад) – тонкое металлическое покрытие на иконе, оставляющее открытыми только изображения лица и рук [Ожегов, с. 449].

«Мы проходили мимо иконы, но не видели ее. Она казалась нам темным пятном среди богатого золотого оклада… Что сказали бы мы, если бы увидали закованную в золото и сверкающую самоцветами Мадонну Боттичелли или Рафаэля?» [Иконописная мастерская, эл. ресурс]. Эти слова, принадлежащие известному философу и публицисту князю Е.Н. Трубецкому, посвящены важному явлению православной традиции – иконному окладу. Они отражают интересную ситуацию, когда, в самом начале XX века, русская культура фактически

заново открыла для себя искусство древней иконописи, долгие годы скрывавшееся под драгоценным убором. Снимая золотые оклады, расчищая слои пожелтевшего лака, реставраторы не переставали удивляться мастерству древних иконописцев – выразительности изображения, точности композиции и богатству цветовой гаммы. Открытие иконы как произведения искусства повлекло за собой критику традиции оклада. Впрочем, критика оказалась несвоевременной. Эссе Князя Трубецкого увидело свет в 1916 году, а спустя всего несколько лет и икона, и иконный оклад надолго исчезли из русской культуры.

Этот пример демонстрирует, насколько широко оклад был распространен в православной иконописи. Фактически образ, необлаченный в оклад, представлял на начало XX века лишь редкое исключение. При этом, чем более старой и почитаемой считалась икона, тем более изысканным, массивным и дорогим был ее оклад. Традиция оклада никогда не ставилась под сомнение – зачастую оклад представляет собой не менее ценное произведение искусства, чем и сама икона.

Искусство оклада зародилось в Византии более тысячи лет назад [Иконописная мастерская, эл. ресурс]. Историки полагают, что прообразом металлической ризы могут быть древние резные иконы. По другой теории идея украшения священного образа восходит к одной из языческих культур, принятых церковью на заре развития Христианства. Древнейшие оклады, сохранившиеся до наших дней, датированы X - XII вв., однако, согласно летописям, эта традиция имеет более глубокую историю.

В Древней Руси традиция «облачения» икон начала приживаться с XII века. В те времена оклады были редки и предназначались для исключительно ценных, особенно почитаемых образов. Как правило, они создавались из серебра и, что характерно для того времени, закрывали лишь фоновое изображение иконной доски.

В начале XVII столетия традиция украшения икон претерпела значительные изменения. Фактически с этого времени искусство оклада начало развиваться как самостоятельное направление ювелирного дела. На смену строгим

серебряным ризам пришли более сложные и дорогие в стиле барокко [Переятанец, с. 146]. Мастера начали использовать золото и различные техники оформления – чернение, эмаль, самоцветы и филигрань. Оклады стали более массивными.

С развитием иконописи и ювелирного мастерства в XVIII веке искусство оклада продолжило развиваться по двум направлениям. В то время как оформление храмовых риз становилось все более сложным и дорогим, в России было налажено производство небольших, доступных по цене окладов, предназначенных для домовых икон.

На протяжении XVII – XVIII веков оклад становился все более роскошным и дорогим, при этом, он стал обязательным атрибутом. Особое внимание уделялось алтарным и чудотворным образам.

Последней и наиболее печальной страницей в истории русского оклада стала революция 1917 г. и последовавшие за ней события. Повсеместная конфискация церковного имущества, начавшаяся после издания соответствующего декрета в 1921 г., привела к массовому уничтожению иконных окладов, которые, в силу ценности материала, демонтировались и отправлялись на переплавку. Некоторые, наиболее ценные образцы, были проданы за границу, другие были вывезены за рубеж эмигрантами.

Ввиду большого разнообразия металлических окладов их целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- по стилю;
- по марке металла;
- по конструкции;
- по технологии изготовления.

Оклады, как и произведения искусства, **по стилю** можно разделить: барокко, рококо, классицизм, ампир, барочно - рокайльный стиль, русский стиль, модерн. Каждый из этих стилей привнес в церковный оклад свои орнаменты, детали, декоративные акценты.

Период преобладания в окладах стиля *барокко* входит в рамки конца XVII – нач. XVIII вв. В целом в это время развивались растительные орнаменты, приближенные к натуре.

Стиль *рококо* охватывает третью четверть XVIII века. В сравнении с орнаментами барокко усилилась фрагментарная обособленность элементов узора, которые превращались в основной композиционный прием.

Классицизм характерен для конца XVIII – нач. XIX в.в. В этот период используется традиционный узор – виноградная лоза с пышными листьями и крупными плодами и цветами, иногда присутствует орнамент: вазон и гирлянд.

Стиль *ампир* охватывает первую ветвь XIX века. Ампирный декор стал более мелким и максимально схематизированным. Разнообразнее зазвучала отделка соседствующих элементов при помощи канфарения, полировки, чеканки, создающая «цветность» серебра.

Барочно - рокайльный стиль появился в середине XIX века. Обращение к барокко и рококо можно считать реакцией на скупость в убранстве окладов стиля ампир. На большинстве окладов преобладают большие, многочисленные построения.

Русский стиль возник в 1870 - 1890 гг. В иконные оклады этого периода активно внедрялись яркие эмали, всем окладам свойственна соподчиненность деталей, декоративный акцент - сначала на раме, затем на венце.

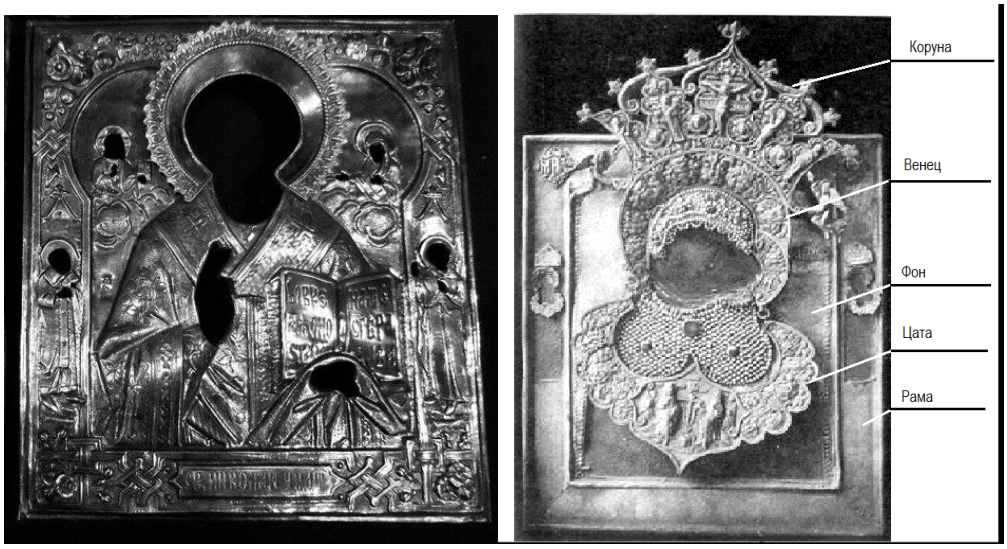
Стиль модерн характерен для конца XIX - нач. XX вв. В орнаменте этого времени преобладают природные образы. В основу легли простые оклады, превосходящие скромностью образцы ампира.

По марке материала оклады могут быть изготовленными из латуни, серебра, золота, меди, иногда – из белой жести. Серебряные оклады иногда золотили, а латунные и медные – серебрили и золотили.

По конструкции оклад может быть цельным или состоять из одной или нескольких частей. Оклад, смонтированный из отдельных деталей, называется наборным. С начала XVIII в. такие оклады стали вытесняться цельными окла-

дами, которые изготавливали из цельных листов металла и прикрепляемых к ним венцов (рис. 1 а).

В общем случае оклад состоит из венца, рамы, фона, цаты (рис. 1 б). Венец – это украшение вокруг головы на месте нимба. Зубчатое украшение в вершине венца называется коруной. Рама – это часть, закрывающая поле иконы. Фон оклада закрывает собой живописный фон. Цата – украшение в виде полумесяца (иногда с фигурно вырезанным краем), подвешиваемое к венцу в виде ожерелья.



а б

Рисунок 1. Оклады икон: а – цельный оклад для иконы Николая Чудотворца, б – чеканный оклад XVII в. на иконе Богоматери из церкви Николы Мокрого

Икону не всегда сразу всю украшали окладом. Нередко оклад наращивался постепенно: отдельные части изготовляли позднее и добавляли уже к укрепленным или заменяли прежние на новые. Все части окладов крепили к поверхности доски гвоздями, пробивая живопись и левакс (белый грунт), которым иконописцы покрывали доску, перед тем как начать писать икону) [Лавданский, с. 34]. Оклады, изготовленные из цельного листа металла, имели специальные бортики, прилегавшие к боковым сторонам иконной доски, к которым и прибивались.

Для изготовления окладов применяется достаточно много **различных технологий**, к основным из которых относится чеканка, басма, штамповка, литье, гальванопластика, лазерная обработка.

Чеканка – получение рельефных изображений на листовом металле (рис. 1 б). Лист металла закрепляют на пластичной массе – подушке из вара с толченым кирпичом. Ударами молотка по чекану (металлическому стержню), приставленному к листу металла, выбивают на нем рельефные узоры или изображения [Филатов, с. 226].

С начала XVI в. чеканные оклады стали вытесняться *басменными*. Басма – один из видов техники тиснения рельефных рисунков с помощью специальных матриц – басманных досок [Маганицкий, с. 164].

Штампованные оклады начинают изготовлять в XIX в. Обычно их украшали механической (машинной) гравировкой – гильошированием (рис. 2 а).

Литье окладов началось еще в домонгольскую эпоху на рубеже XVII - XVIII вв. (рис. 2 б). Это искусство стало достоянием старообрядцев. Перевозить иконы с места на место и скрывать их при обыске было трудно, литые иконы оказались более подходящими к условиям постоянного странствования.



а б

Рисунок 2. Металлические оклады икон: а – оклад латунный, штампованный на иконе - подокладнице «Богоматерь Казанская», б – литой серебряный оклад «Рождение Христово».

С появлением *гальванопластики* [Садаков, 160 с.], обеспечивающей точное воспроизведение фактуры и рельефа оригинала, этим методом изготавливают различные изделия по религиозной тематике, в том числе оклады икон, из

электролитической меди толщиной 1 - 3 мм. Данная технология обеспечивает при небольших партиях более низкую стоимость изделий по сравнению, например, с литьем и чеканкой.

Одним из современных методов обработки различных материалов, в том числе листового металла, является *обработка лазером* [Григорьянц, 127 с.]. Применительно к окладам она может применяться при вырезке окон для изображений лица и рук, нанесения на лицевую сторону мелкого сложного рисунка (лазерная гравировка).

Оклады икон – одно из вершин церковного ювелирного искусства. Пусть цельные иконы выглядят не так богато, как разборные, но они ничуть не утратили своей красоты, каждая икона по своему уникальна. В настоящее время существенно много вариантов для изготовления окладов. Оклад, выполненный с применением современных технологий, ничем не уступает аналоговому изделию, но выполняется быстрее и стоимость его гораздо меньше. В последних десятилетиях большую популярность приобретает метод гальванопластики, который позволяет создавать удивительно филигранные и красивые образы святых и мучеников. Большую популярность приобретает и лазерная обработка металлов – технологичный и выгодный способ раскроя любого типа металла, а также его гравировки.

Список литературы

1. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка. М.: ОНИКС. 2008. 736 с.

2. Документ из Интернета: Иконописная мастерская «Рублевъ». URL: http://www.divinum.ru/oklad.htm (дата обращения 30.01.2018).

3. Переятенец В.И. Русский антиквариат. СПб., Паритет. 2003. 336 с.

4. Лавданский А. Киноварь // Фома. №2(142). 2015. 80 с.

5. Филатов В. В. Реставрация станковой темперной живописи. М.: Изобразительное искусство. 1986. 264 с.

6. Садаков Г.А. Технология гальванопластики: справочное пособие. – М.: Машиностроение. 1979. 160 с.

7. Григорьянц А.Г. Лазерная резка металлов. М.: Высш. шк. 1988. 127 с.

8. Магницкий О.Н., Пирайнен В.Ю., Колбпеников Н.Г. Художественная деформация металла. – СПб: СПбГТУ. 2000. 256 с.

Анализ критериев оценки эффективности изготовления изделий декоративно-прикладного назначения из тонколистового металла

Земцов М. И.[a], Суровцева А.А.[b], Фомина Д.А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна[a]
аспирант кафедры технологии машиностроения[b]
студент кафедры технологии и дизайна[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: zemcov_txom@mail.ru[a], an_fom_999@mail.ru[b], dashafomina281199@mail.ru[c]

Аннотация: в работе рассматриваются вопросы эффективности изготовления изделий декоративно-прикладного назначения из тонколистового металла. При этом для оценки «успешности» их производства предлагаются такие критерии, как оригинальность внешнего вида, функциональность, методы и качество изготовления, программа выпуска. Наиболее подробно рассматривается такой критерий, как методы изготовления входящих в изделия деталей. Показывается, что особенно важным данный критерий является для тонкостенных пространственных деталей, изготовливаемых за два этапа, каждый из которых содержит как разделительные, так и формообразующие операции.

В статье приводятся методы реализации формообразующих операций для каждого этапа, как наиболее существенно влияющие на конечную форму и размеры детали. Для первого этапа это методы, обеспечивающие предварительные формообразование детали, основным и наиболее эффективным из которых является вытяжка. Даются сравнительные технологических возможности этих методов, что позволяет выбрать из них наиболее эффективный. На втором этапе осуществляется окончательное формообразование, для выполнения которого предлагаются методы электрогидроимпульсной штамповки и сверхпластической формовки. Приведенные сравнительные характеристики этих методов, их преимущества и недостатки также позволяют выбрать наиболее оптимальный с учетом конструкции детали и программы выпуска изделия.

Приведенные в работе материалы могут быть полезны технологам, занимающимся разработкой технологических процессов изготовления изделий декоративно-прикладного назначения.

Ключевые слова: методы обработки, формообразование, штамповка, тонкостенные детали, технологические операции.

В последнее время требования, предъявляемые к промышленно-бытовым изделиям, а также к изделиям декоративно-прикладного назначения, существенно возросли. Одна из причин этого – появление на отечественном рынке широкой номенклатуры аналогичной работоспособной импортной продукции, во многом определяющей соотношение уровня качества и цены изделий.

На рис. 1 приведены примеры подобных изделий.



Рисунок 1. Изделия декоративно-прикладного назначения,
изготовленные из тонколистового материала

При оценке современного изделия декоративно-прикладного назначения из тонколистового металла можно выделить ряд основных критериев, приведенных на рис. 2.

Очевидно, что такой важный с точки зрения потребителя параметр, как стоимость готового изделия, зависит напрямую (например, от программы выпуска, метода изготовления) или косвенно (оригинальность внешнего вида) от всех указанных в схеме критериев, которые, в свою очередь, оказывают влияние друг на друга. В общем случае коммерчески и художественно удачное изделие декоративно-прикладного назначения – это грамотно подобранное соотношение уровня качества его изготовления, оригинальности внешнего вида,

программы выпуска, функциональности, методов изготовления и уровня всех затрат, необходимых для изготовления изделия.



Рисунок 2. Основные критерии оценки эффективности изделия

Одним из главных факторов, определяющих не только качество, но и стоимость готового изделия, полученного из листового материала, является выбор методов изготовления входящих в него деталей, имеющих различную форму, размеры и качество поверхности.

Особенно тщательно к выбору технологий изготовления деталей, с помощью которых реализуются соответствующие методы обработки, необходимо подходить при изготовлении тонкостенных пространственных изделий. Корпусные (и не только) детали таких изделий часто изготавливаются за два основных этапа, каждый из которых может состоять из нескольких технологических операций.

На первом этапе исходной заготовкой является листовой прокат соответствующей толщины. Операции, выполненные на этом этапе, обычно включают в себя резку листа на полосы или штучные заготовки, вырубку заготовки для вытяжки, вытяжку за одну или несколько операций в зависимости от отношения высоты заготовки после вытяжки к её диаметру. В некоторых случаях вытяжка может быть заменена гибкой исходной плоской заготовки с последую-

щей сваркой или ротационным выдавливанием. Однако данные методы имеют существенно ограниченные технологические возможности.

В конечном итоге на данном этапе необходимо получить промежуточную заготовку, максимально приближенную по форме и размерам к детали и возможную к применению на втором этапе.

Второй этап включает в себя операции, обеспечивающие получение готового изделия (детали). К ним относится окончательное формообразование детали в соответствии с её формой и размерами по чертежу из заготовки, полученной на первом этапе, разделительные (обрезка, пробивка отверстий или пазов) и отделочные операции.

К основным операциям, определяющим конечную форму и размеры детали, относятся формообразующие операции, которые могут быть реализованы различными технологическими методами. На первом этапе их можно назвать методами предварительного формообразования, на втором – методами окончательного формообразования.

Так как выбор данных методов в значительной степени влияет на конечный результат – получение качественного изделия, целесообразно остановиться на них подробнее.

На этапе предварительного формообразования возможно использование методов ОМД, приведенных на рис. 3.



Рисунок 3. Методы предварительного формообразования

Анализ данных методов показывает, что с практической точки зрения целесообразно использовать один из следующих методов вытяжки [Романовский, 150 с., Могильный, 292 с., Оборудование, 320 с.]:

- вытяжку в жестких штампах;
- вытяжку с пульсирующим прижимом;
- гидромеханическую вытяжку;
- ротационную вытяжку;
- электрогидроимпульсную вытяжку.

Возможна также комбинация некоторых методов.

Каждый из перечисленных методов обладает определенными технологическими возможностями, требует применения соответствующего технологического оборудования и технологической оснастки различной сложности. При этом следут учитывать, что на выбор конкретного метода существенное влияние оказывает наличие или отсутствие на предприятии технологического оборудования для его реализации.

Проведенные экспериментальные исследования, а также производственные испытания данных методов позволили провести сравнительную оценку их технологических возможностей, результаты которой приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная оценка технологических возможностей различных методов вытяжки в холодном состоянии

№ п/п	Качественные показатели получаемой заготовки	Метод вытяжки					
		В жестких штампах	Гидромеханическая	С пульсирующим прижимом	Элекрогидроимпульсная	В жестких штампах + ротационная	Гидромеханическая + ротационная
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Утонение стенки	0,7	1,0	0,8	0,4	Ротационная вытяжка осуществляется за счет утонения стенки	
2	Относительная высота H_3/D_3, получаемая в одном переходе	0,6	1,0	0,8	0,2	–	–
3	Возможность выполнения за несколько переходов	0,8	0,6	0,5	0,2	1,0	0,9
4	Качество поверхности	0,7	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9
5	Относительная стоимость оснастки	0,9	0,9	0,8	0,3	1,0	1,0
6	Универсальность оборудования	У	СП	СП	СП	У + У	СП + У
7	Рекомендуемый тип производства (серийность)	КС, М (С)	МС, С	МС, С	О, МС, С	С (КС)	МС, С

Примечания: 1. В п.п. 1 – 4 с увеличением значения критерия оценки увеличиваются и технологические возможности методов (минимальному утонению стенки соответствует уровень 1,0), в. п. 5 максимальной стоимости оснастки соответствует уровень 1,0. 2. У – универсальное оборудование; СП – специализированное оборудование. 3. Тип производства: О – опытное; МС – мелкосерийное; С – серийное; КС – крупносерийное; М – массовое.

Пользуясь данной таблицей, можно выбрать наиболее эффективный метод обработки для первого этапа изготовления деталей с учетом типа производства и технологических возможностей метода.

Для второго этапа наибольший интерес представляют формообразующие операции, обеспечивающие получение окончательной формы и размеров детали, в том числе выполнение декоративного рельефа. Их практическая реализация возможна с помощью методов, приведенных на рис. 4.

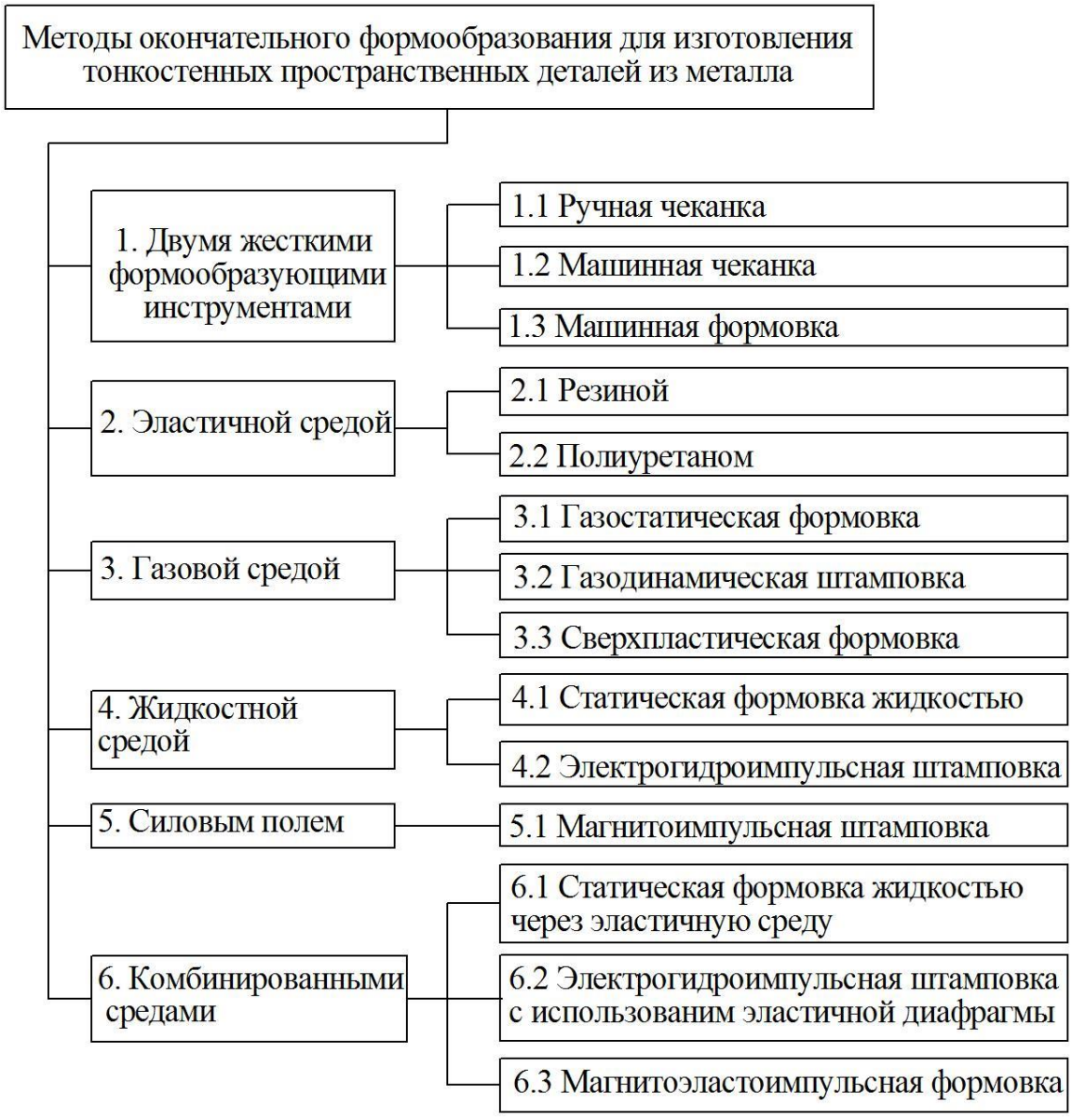


Рисунок 4. Методы окончательного формообразования

В мелкосерийном и серийном производстве, характерным для изделий декоративно-прикладного назначения, во многих случаях целесообразно применение для изготовления тонкостенных деталей методы ОМД, использующие

в качестве одного из формообразующих элементов подвижную среду: жидкость, газ, магнитное поле, эластичную среду. Методы листовой штамповки подвижными средами вследствие их универсальности, простоты и низкой стоимости применяемого инструмента, малых сроков подготовки производства обеспечивают значительное снижение себестоимости при высоком качестве изготавливаемых деталей. При достаточном давлении подвижной среды на заготовку данные методы позволяют точно проработать такие элементы конструкции деталей, как радиусы переходов, грани различной геометрии, криволинейные поверхности, декоративный рельеф, что является характерным для изделий сложного дизайна.

Из методов штамповки подвижными средами при изготовлении рассматриваемых деталей существенный интерес представляют электрогидроимпульсная (ЭГИ) штамповка [Электрогидроимпульсная, 231 с.] и сверхпластическая формовка (СПФ) [Смирнов, 184 с.], как методы, значительно отличающиеся между собой по деформационно-скоростным и другим характеристикам (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика методов ЭГИ штамповки и СПФ

№ п/п	Характеристика метода	ЭГИ штамповка	СПФ
1	Деформирующая среда	Жидкость	Газ
2	Структура деформируемого металла	Используются обычные деформируемые металлы	Специальная мелкозернистая равноосная с размером зерен до 10 ÷ 15 мкм
3	Температура деформации	Соответствует температуре производственного помещения	0,4 ÷ 0,7 Тпл
4	Скорость деформации, $с^{-1}$	$10^2 \div 10^4$	$10^{-2} \div 10^{-4}$
5	Скорость деформирования	до 300 м/с	до 5 ÷ 8 мм/мин
6	Относительное удлинение	$\delta_{дин} = (1{,}0 \div 1{,}4) \times \delta_{ст}$*	до 300 ÷ 800 %
7	Максимальное давление деформирующей среды, МПа	200 ÷ 500	1,5 ÷ 2
8	Время действия давления, мс	10 ÷ 90	практически не ограничено
9	Относительная производительность	1	0,2 ÷ 0,4
1	2	3	4
10	Относительная степень проработки мелких элементов (например, радиусов перехода, декоративного рельефа)	0,6 ÷ 0,7	1

Примечание: $\delta_{дин}$, $\delta_{ст}$ – относительное удлинение соответственно при динамическом (импульсном) и статическом нагружении

Приведенные в таблице технические характеристики методов в значительной степени определяют и их технологические возможности.

При подборе номенклатуры деталей как для ЭГИ штамповки, так и для СПФ необходимо учитывать, что их форма должна обеспечивать возможность и технологичность изготовления матрицы, свободное и по возможности быстрое удаление отштампованной детали из матрицы без повреждения ее поверхности, надежное уплотнение внутреннего объема заготовки в течение всего процесса деформирования. Кроме того, максимальная величина деформации не должна превышать предельного для выбранного метода значения, а максимальное утонение стенки должно соответствовать требованиям чертежа детали.

Методом ЭГИ штамповки можно выполнять большинство операций листовой штамповки, но наиболее эффективно осуществлять этим методом формообразование сложных деталей, особенно с совмещенным выполнением операций [Земцов, с. 34]. Этот метод позволяет использовать материалы, наиболее доступные и распространенные в листоштамповочном производстве.

К недостаткам данного метода можно отнести ограниченные возможности по полному оформлению мелких конструктивных элементов детали, в том числе декоративного рельефа, особенно при толщине стенки более 0,5 ÷ 0,8 мм, относительно невысокие предельные степени деформации, незначительно превышающие статические, а также высокие требования по техникке безопасности.

Методом СПФ выполняются только формообразующие операции, в основном это формовка, особенно рельефная , и раздача. Необходимым условием для реализации данного метода штамповки является проявление эффекта сверхпластичности материала, критериями которого являются наличие ультрамелкого зерна и деформирование при высокой температуре с низкими скоростями деформации [Новиков, 167 с.]. Это позволяет обеспечить значительные степени деформации, четкую проработку мелких элементов детали, в том числе

декоративного рельефа, при небольшом давлении формообразующего газа. Данные характеристики метода определяют основную область его применения – изготовление изделий сложного дизайна с мелкими элементами формы, а также получение деталей со значительной деформацией.

К основным недостаткам метода СПФ относится невысокая производительность, необходимость нагрева заготовки до значительной температуры, невозможность выполнение разделительных операций.

Таким образом, в работе предлагаются основные критерии оценки эффективности изготовления изделий декоративно-прикладного назначения из тонколистового материала и более подробно рассматривается один из них – технологические методы обработки давлением, применяемые для изготовления тонкостенных деталей, входящих в изделия. Данные методы рассматриваются для основных формообразующих операций, выполняемых на первом и втором этапе изготовления деталей. Для первого этапа приведены сравнительные характеристики различных способов вытяжки, позволяющие выбрать метод обработки для изготовления заготовок, используемых на втором этапе, с учетом конкретных условий производства и конкретных изделий.

На втором этапе предлагается использовать для окончательного формообразования методы ЭГИ штамповки и СПФ, также приводятся их сравнительные характеристики, преимущества и недостатки.

Приведенная информация может быть полезна технологам при разработке технологических процессов изготовления тонкостенных деталей изделий декоративно-прикладного назначения.

Список литературы

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
2. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках. М.: Машиностроение, 1983. 191 с.
3. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / под ред. Г. А. Гулого. М.: Машиностроение, 1977. 320с.

4. Электрогидроимпульсная обработка материалов в машиностроении / В.Н. Чачин и др. Мн.: Наука и техника, 1987. 231с.

5. Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.

6. Земцов М.И., Поляков С.М. Электрогидроимпульсная штамповка деталей с совмещением операций // Кузнечно-штамповочное производство. 2007. №9. С. 34-38.

7. Новиков И.И., Портной В.К. Сверхпластичность сплавов с ультрамелким зерном. М.: Металлургия, 1981. 167с.

Роль и место информационных технологий на современном предприятии

Зонова Н.С.
кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной информатики,
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация
E-mail:vgsha.cppk@mail.ru

Аннотация: Воздействие информационных технологий на общество в целом, на его экономику, социальные отношения, культуру, образование, психологию, здоровье сегодня является предметом исследования и обсуждения.

Важная роль развитию информационных технологий и формированию на их основе «цифровой экономики» в России отводится в государственной федеральной программе «Информационное общество 2011-2020 г.г.». Цифровая экономика – это основа, которая позволит создать качественно новые модели бизнеса, торговли, логистики, производства, изменит формат образования, здравоохранения, госуправления, коммуникаций между людьми [Владимир Путин, с.1]. В статье проведен анализ результатов анкетного опроса слушателей программы профессиональной переподготовки по направлению «Менеджмент» о состоянии и направлениях развития информационных технологий управления, обобщается опыт автоматизации процессов управления в организациях.

Ключевые слова: автоматизация управления, анкетный опрос, управленческие задачи, информационные технологии.

В современном мире информационные технологии являются неотъемлемой частью любого предприятия. Известный бизнесмен Бил Гейтс, утверждал, что в ближайшие десять лет бизнес изменится сильнее, чем за предыдущие пятьдесят [Билл Гейтс, с. 2]. Если в 80-е годы успех решало качество, а в 90-е - реинжиниринг бизнеса, то ключевая концепция нынешнего десятилетия - «скорость». В это понятие вкладывается и скорость изменения характера бизнеса; и оперативность управления бизнес-процессами; и динамика изменения запросов потребителей под влиянием все большей доступности информации. В современном бизнесе побеждает тот, кто обладает информацией и тот, кто наиболее быстро обрабатывает, анализирует и использует эту информацию.

Сегодня накоплен достаточно богатый опыт не только ведения бизнеса, но и его автоматизации. Однако каждая компания вкладывает свой смысл в понятие «информационные технологии» и определяет их роль в бизнесе. Для небольших компаний это оперативный учет их основного вида деятельности с

набором отчетности по заданным характеристикам. Для более крупных компаний -комплексная система, которая охватывает ресурсы компании: их учет, анализ, планирование. В последнее время бизнес укрупняется, расширяется география его действия. В этой связи становятся актуальными вопросы управления распределенными бизнес-единицами и подчинения их общему процессу и стратегии развития компании.

В большинстве российских компаний процесс формирования ИТ-структур в основном завершен и назревает следующий этап - их модернизация, что обуславливает необходимость пересмотра корпоративных стандартов и ИС-стратегий. Важную роль в этой ситуации играет взаимосвязь бизнес-стратегий, информационных технологий и исполнителей.

В этой связи, представляют интерес результаты проведенного исследования по материалам анкетного опроса слушателей Президентской программы профессиональной переподготовки по направлению «Менеджмент» Вятского государственного университета г. Кирова. В опросе приняли участие 52 топ-менеджера ведущих кировских компаний, обучающихся по данной программе. Период исследования 2 года. В анкете было предложено ответить на 12 вопросов для оценки уровня и направлений развития информационных технологий в своих организациях. Конечная цель анкетирования изучить - мнение руководителей высшего и среднего звена управления относительно состояния и перспектив развития информационных технологий, используемых в их компаниях.

Анализ сферы деятельности респондентов показал, что на ряду с представителями различных отраслей и сфер деятельности, основная категория слушателей это менеджеры и руководители производственных предприятий. Из общего числа слушателей 37% представителей крупного бизнеса, 33% среднего и 29% малого бизнеса. Доля частных организаций в выборке составляет 75%.

Об уровне компетентности слушателей свидетельствуют результаты анализа должностного состава. Почти 50% слушателей - это топ-менеджеры и их помощники, остальная половина – менеджеры среднего и нижнего звена управления.

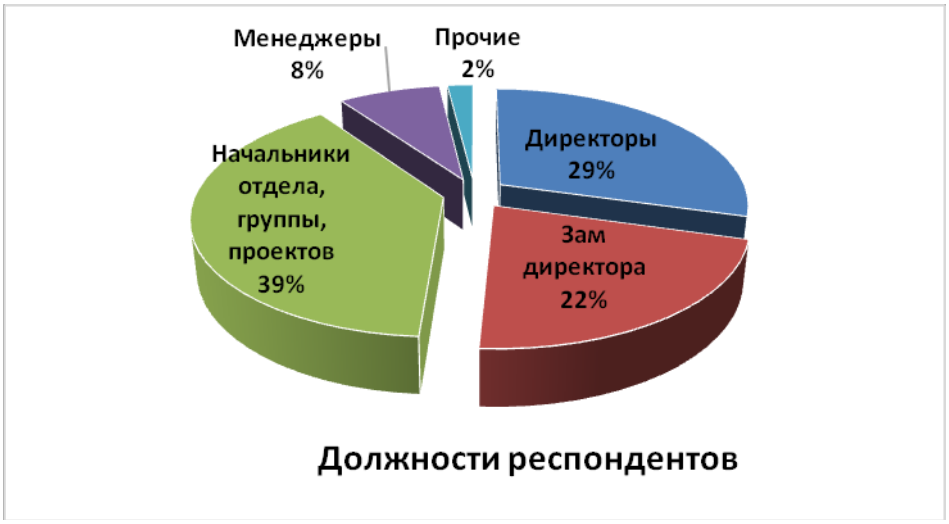


Рисунок 2. Диаграмма распределения респондентов по занимаемым должностям

Результаты обработки ответов на вопрос «Какие управленческие задачи в вашей организации автоматизированы» показали, что на первом месте остается бухгалтерский учет, затем, управление закупками и финансами, на третьем месте управление персоналом, далее управление продажами и лишь на пятом месте управление производством. По прежнему низкий процент таких важных сфер деятельности, как делопроизводство, управление проектами, управление качеством и другие. В каждой пятой компании (19,6%) в настоящее время используются полнофункциональные управленческие системы.

Почти все респонденты отметили важность использования интернет-технологий для ведения бизнеса. Лишь в 5% компаний они не нашли применения. Большинство компаний использует интернет как средство для работы с клиентами, более 80% используют интернет сайты, половина респондентов ответила, что их компании активно участвуют в электронных торгах и пользуются интернет-банкингом (Таблица 1). Оценивая эффективность использования интернет для ведения бизнеса, 45% слушателей признали ее удовлетворительной, 35% оценили на «хорошо» и 16% на «отлично», а 4% вообще не увидели никакой связи.

Таблица 1

Результаты обработки ответов на вопрос

«Какие управленческие задачи в вашей организации автоматизированы»

Управленческие задачи	Количество ответов	% ответов
Управление производством	15	29,4
Управление закупками	26	51,0
Управление продажами	19	37,3
Бухгалтерский учет	41	80,4
Логистика	13	25,5
Управление финансами	24	47,1
Управление персоналом	22	43,1
Комплексная автоматизация всех управленческих задач	10	19,6
Управление качеством	1	2,0
Управление технологическим процессом	4	7,8
Делопроизводство	1	2,0
Частичная автоматизация управленческих задач	1	2,0
Управление проектами	2	3,9
Другое	3	5,9

Ключевым вопросом анкеты было узнать мнение менеджеров высшего и среднего звена о состоянии и уровне информационных технологий используемых в управлении. Результаты обработки ответов показали, что в большинстве организаций (39%) используются современные информационные технологии, отвечающие требованиям бизнеса, но при этом каждый второй респондент (19,6%), давший высокую оценку, отметил неготовность персонала их максимально использовать. 8% слушателей заявили об использовании морально устаревших информационных технологий, и, в первую очередь, это техническое (7,8%)и программное обеспечение (5,9%). Основными причинами этой ситуации респонденты отмечают ограниченные финансовые возможности (35,3%) и отсутствие мотивации внедрения новых ИТ (17,7%).

Для нас было важным мнение участвующих в опросе менеджеров высшего и среднего звена управления о перспективах развития современных информационных систем в своих компаниях. Большинство (66,7%) выразили желание внедрять и развивать ERP-системы и CRM- системы (21,6%). Многие руководители наиболее перспективными направлениями развития информационных

технологий в управленческой деятельности видят не в реализации крупномасштабных ИТ-проектов, а в поэтапном совершенствовании существующих информационных систем (23%), и интеграции имеющихся прикладных решений (11,8%). Вместе с тем, 13,7% слушателей считают наиболее перспективным комплексное решение по автоматизации бизнес-процессов компаний.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. На текущий момент процессы автоматизации управленческой деятельности имеют не системный и не комплексный характер. Наиболее автоматизированы учетно-финансовые задачи и управление снабженческо-сбытовой деятельностью;

2. В то же время к менеджерам средних и крупных предприятий пришло четкое осознание важности и необходимости комплексного подхода к автоматизации бизнес-процессов компаний;

3. Вырос интерес к современным ERP и CRM системам, почти 40% руководителей заявляют об их использовании в своих компаниях, но вместе с тем, отмечают их низкую эффективность;

4. Одним из основных факторов повышения эффективности информационных систем и технологий управления участники опроса видят в росте профессионализма управленческого персонала.

Список литературы

1. Билл Гейтс. Бизнес со скоростью мысли // http://booksonline.com.ua/view.php?book=110410/ (Дата обращения 10.01.2018).

2. Владимир Путин. Доклад выступил на пленарном заседании ПМЭФ-2017. /http://kbrria.ru/politika/vladimir-putin-vystupil-na-plenarnom-zasedanii-pmef-2017-18879 (Дата обращения 25.01.2018).

3. Уайт Т. Чего хочет бизнес от IT. Стратегия эффективного сотрудничества руководителей бизнеса и IT директоров.- Минск: Гревцов Паблишер, 2007. 249 с.

Исследование процесса сгорания генераторного газа и его смеси с бензином в двигателе 1Ч6,8/5,4

Зубакин А.С.
аспирант, кафедра машин и технологии деревообработки
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: expert35@mail.ru.

Аннотация: Использование генераторного газа в качестве топлива - перспектива ближайшего будущего. Удалённые районы, катаклизмы, военные конфликты – вот не полный перечень ситуаций, когда необходимо быстро и эффективно получить электроэнергию из местного сырья посредством газификации древесины и её остатков. Использование генераторного газа в качестве топлива для ДВС, позволит решить вопрос с обеспечением населения и промышленности доступной электроэнергией. Для повышения КПД двигателя при работе на альтернативном топливе, необходимо провести исследования процесса сгорания. Это было проведено при постановке эксперимента на лабораторном стендес последующей обработкой результатов с помощью компьютерных программ. В результате проведенных исследований была сняты индикаторные диаграммы и проведен тепловой расчёт цикла сгорания, проведён анализ полученных данных. По результатам эксперимента сделан вывод о возможности использовании смеси генераторного газа и бензина, а так же о возможности форсирования двигателя по среднему эффективному давлению. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации двигателей для конвертации на альтернативное топливо.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, генераторный газ, смесевое топливо, индикаторная диаграмма, тепловыделение.

Генераторный газ – одно из перспективных альтернативных топлив [Sridhar, с.61]. Получаемый из древесины, её отходов, соломы, других растительных остатков, генераторный газ можно использовать в быту аналогично природному газу, а так же в качестве моторного топлива Химический состав бензина и древесины представлен в Табл.1.

Таблица 1

Химический состав бензина и древесины

Топливо и сырьё	*Элементный состав, мас.%*				
	C	***H***	***N***	***S***	***O***
Бензин	85,5-86,0	14,4-14,0	0,0-0,03	0,01	-
Древесина	48,0-53,0	5,5-7,5	0,01-0,3-	0,0-0,4	38,0-44,0

Работа ДВС на генераторном газе характеризуется снижением мощности, что обусловлено низкой расчётной теплотворностью топлива Табл.2. Для частичной компенсации падения мощности, предлагается вводить в впускной тракт дополнительную порцию бензина [Плотников[1], с.105]. Проведённые исследования по добавке бензина [Плотников[2], с.220], подтвердили это предположение.

Таблица 2

Моторные свойства генераторного газа

Вид топлива	***Состав газа, %***						***Низшая расчётная теплотворность, МДж***		***λ теор., м3/м3***	***Расход воздуха для образования 1 м3 (в м3)***	***Выход сухого газа на 1 кг рабочего топлива (в м3)***
	Горючие газы				*Негорючие газы*		***газа***	***смеси***			
	CO	***H_2***	***CH_4***	***O_2***	***CO_2***	***N***					
Древесные отходы	18-22	13-18	2,5-3,5	0,1-0,2	8-12	48-55	4,2-5,76	2,3-2,6	0,95-0,7	0,60-0,70	2,53-1,97
Древесный уголь	30,3	7	2	0,2	3,2	57,2	5,3	2,57	1,07	0,72	3,62

Анализ литературы выявил пробел в исследовании работы ДВС на генераторном газе. В середине прошлого века большое внимание уделяли конструкции газогенераторов, переводу двигателей на генераторный газ усовершенствовании конструкции двигателей при работе на генераторном газе. Но имевшиеся на тот момент математический аппарат и исследовательское оборудование не позволяло изучить процесс сгорания генераторного газа для эффективного применения генераторного газа как моторного топлива.

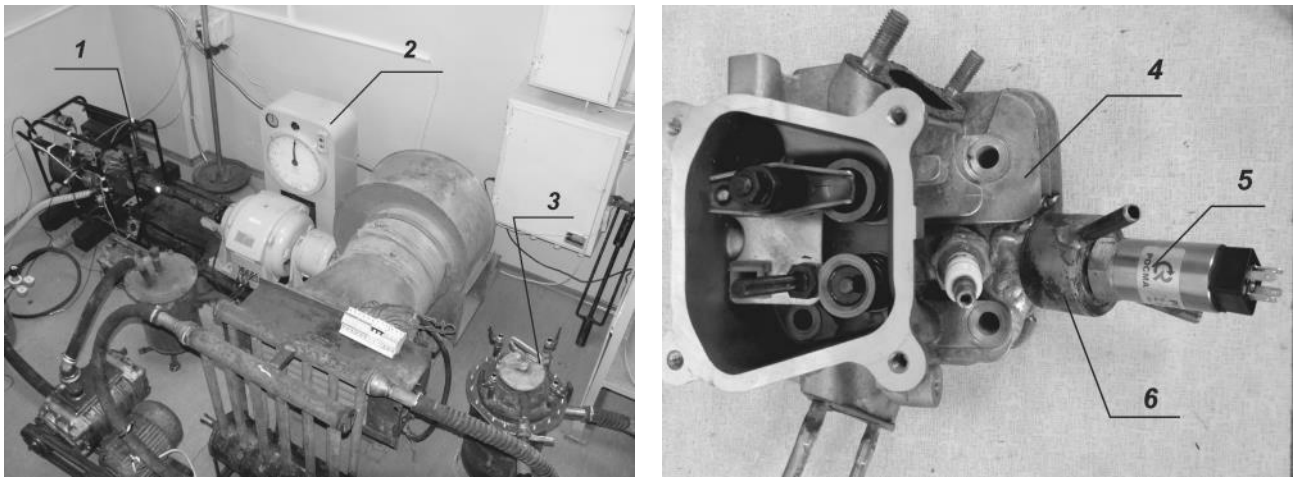
Целью данного исследования является изучение процесса сгорания генераторного газа и смеси генераторного газа и бензина в цилиндре двигателя. Для достижения этой цели были поставлены *задачи:*

1) Снять индикаторные диаграммы при работе на различных топливах;

2) Произвести расчёт тепловыделения с помощью программного комплекса;

3) Провести анализ полученных данных.

Для решения поставленных задач был поставлен лабораторный эксперимент. Для этого был разработан стенд Рис.1 с двигателем (1) воздушного охлаждения 1Ч68/5,4, динамометрической машиной (2) и газогенератором (3) Рис. 2.

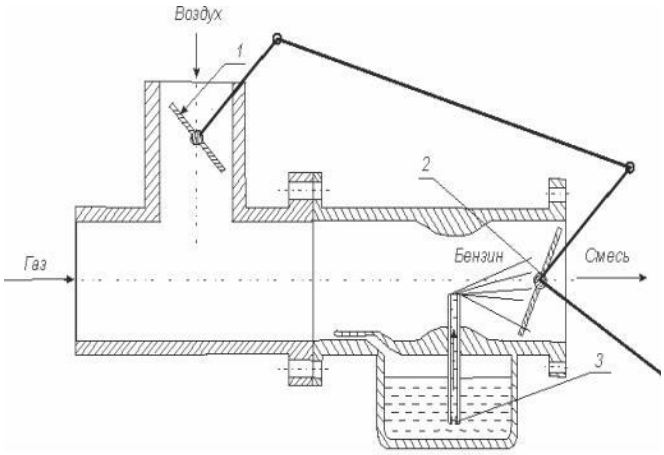


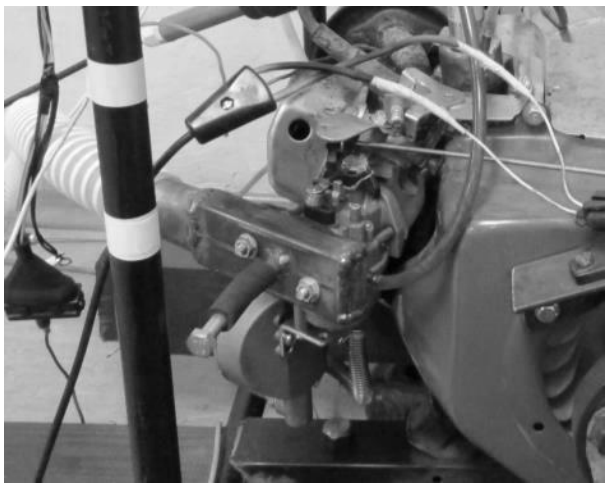
а) *б)*

Рисунок 1. Общий вид испытательного стенда (а) иГБЦ с датчиком давления (б):
1 – двигатель 1Ч6,8/5,4, 2 - динамометрическая машина, 3 – газогенератор;
4-головка блока цилиндров; 5 - датчик индицирования; 6 - «холодильник»

Система питания была модернизирована в соответствии с патентом [Плотников[3], с.2]. Для подачи дополнительной порции бензина было разработано смесительное устройство Рис.2а. В карбюраторе были, заменены жиклёры, установлен тройник для подачи генераторного газа с дополнительной заслонкой для регулировки воздух*(рис.2а)*.

Для получения индикаторных диаграмм в головке Рис.1.*б* блока цилиндров (4) было просверлено отверстие, соединяющее датчик индицирования (5) с камерой сгорания. Для защиты датчика давления от высокой температуры, использовался жидкостный «холодильник» (6).Сигнал, полученный с датчика давления, преобразовывался с помощью осциллоскопаDiaMag2 в цифровой вид для дальнейшей обработки программным комплексом DiaMag2 на компьютере Рис.3.



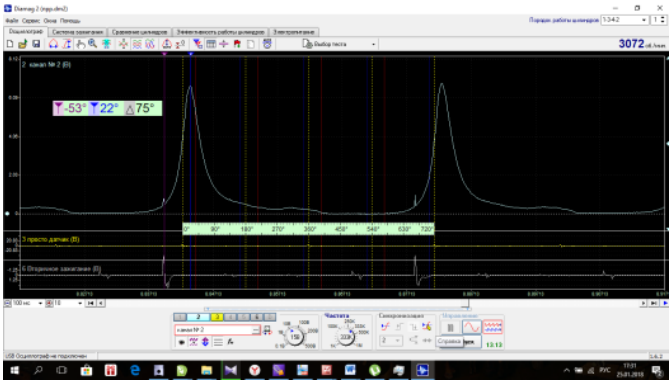


а) *б)*

Рисунок 2. Схема комбинированной системы подачи топлива в ДВС (а)
и общий вид системы подачи топлива (б):
1 - воздушная заслонка, 2 - дроссельная заслонка, 3 – бензиновый жиклёр

Данный комплекс позволяет по 6 каналам вести запись различных параметров с последующим графическим отображением на экране монитора процессов. Встроенные функции позволяют определять частоту вращения, продолжительность горения смеси, находить максимальное и минимальное давление и т.д. [Плотников[3], с.2].





а) *б)*

Рисунок 3. Осциллоскоп (а) и программный комплекс DiaMag2

Исследование работы двигателя проводилось в соответствии с ГОСТ 14846-81 [ГОСТ 14846-81]. Полученные эффективные и регулировочные характеристики представлены и подробно проанализированы в [Зубакин, с.132]. Полученные индикаторные диаграммы обрабатывались в графическом редакторе CorelDrawX5 Рис4, для преобразования в численные значения, затем обрабатывались в программе по определению тепловыделению.

По причине низкой расчётной теплоты сгорания генераторного газа, по сравнению с расчётной теплотой сгорания бензина, снижается максимальное давление цикла *Pz*в цилиндре двигателя Рис.4, соответственно и мощность, крутящий момент [Плотников[3], с.2].

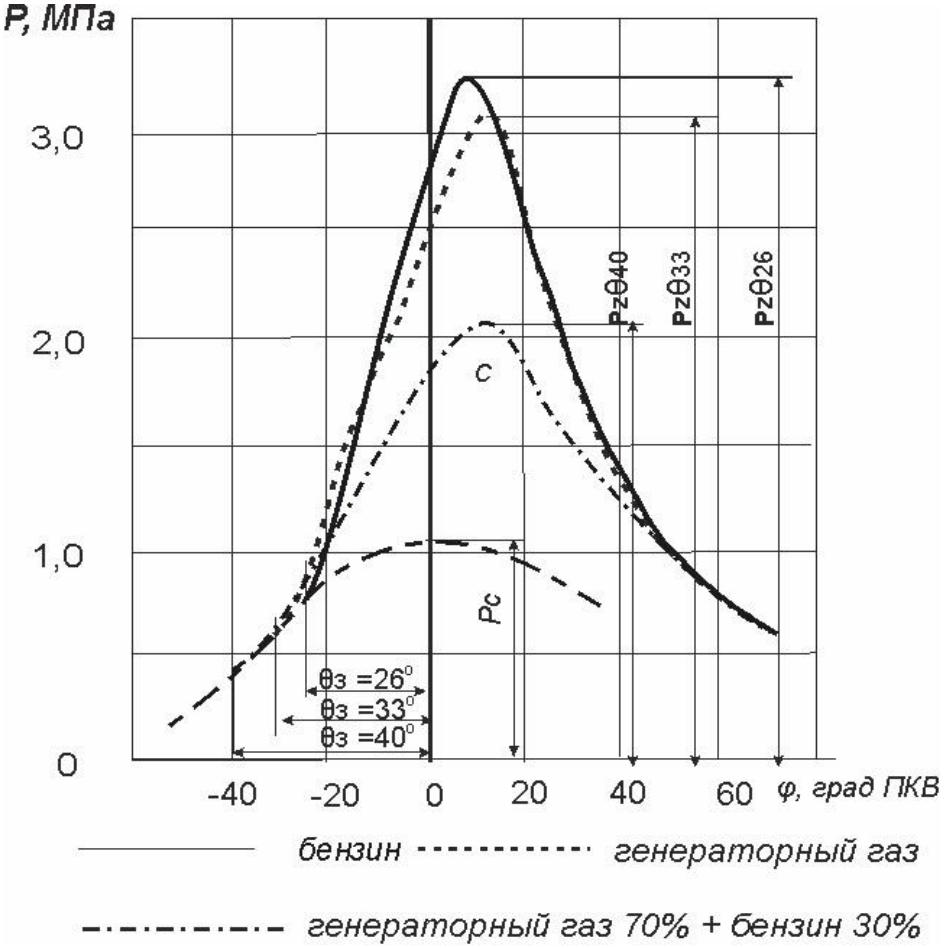


Рисунок 4. Индикаторная диаграмма работы двигателя 1Ч6,8/5,4 на различных видах топлива

Использование топлива, содержащее в составе тяжёлые углеводороды (бензин), вызывает рост максимального давления по сравнению с топливом, содержащим невысокое количество тяжёлых углеводородов (генераторный газ). Аналогичная ситуация происходит и при увеличении доли водорода в топливе. При этом пик максимального давления смещается от ВМТ влево Рис.4. Это требует уменьшение УОЗ, что и подтверждают полученные экспериментальные данные [Плотников[3], с.2, Карташевич, с.115]. С увеличением окисления топлива, увеличивается и скорость горения, что вызывает повышение скорости нарастания давления. Это наглядно видно на графике (рис.5) при работе на бензине.

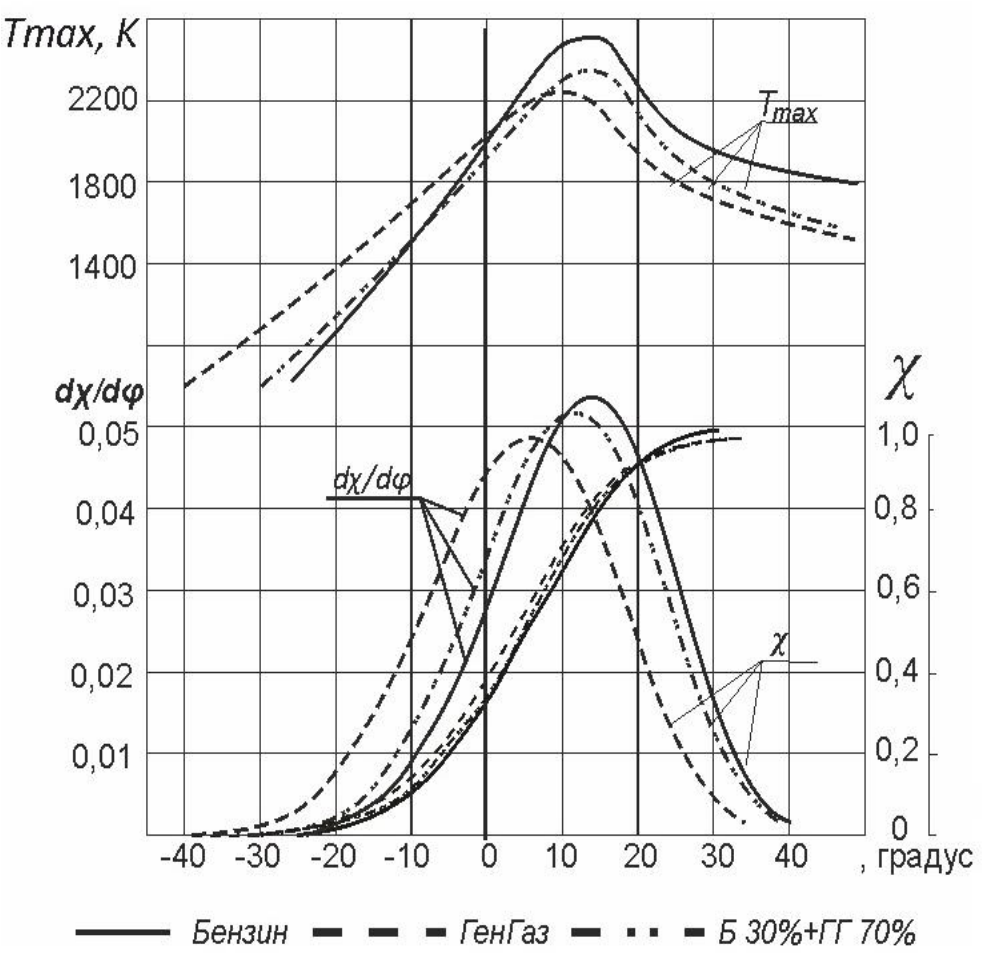


Рисунок 5. График тепловыделения двигателя 1Ч6,8/5,4 при работе на бензине, генераторном газе и их смеси

Работа двигателя на генераторном газе сопровождается снижением скорости тепловыделения, из-за медленного окисления топлива, а так же из-за большого количества атомов азота в составе топлива. Азот занимает в составе генераторного газа половину объёма, а атомы горючих газов растворены во всём объёме, в связи с чем скорость сгорания низкая и скорость тепловыделения $d\chi/d\varphi$ самая низкая. При нахождении поршня в ВМТ, доля выделившегося тепла χ составляет 0,39, что больше чем на бензине и генераторном газе (0,34 и 0,37 соответственно).Увеличение задержки начала горения генераторного газа обуславливается рассредоточением активных центров сгорания в объёме камеры сгорания. Максимальное давление цикла сгорания на генераторном газе составляет P_Z=2,2 МПа.

Добавление 30% бензина к генераторному газуприводитк росту активных центров горения, соответственно увеличивается скорость сгорания. Макси-

мальная скорость тепловыделения $d\chi/d\varphi$ выше на 0,005, по сравнению сгенераторным газом, нарастания давленияпроисходит быстрее, что вызывает более «жёсткую» работу двигателя. Максимальное давление цикла на смеси топлив составляет P_Z=3,2 МПа. Кривая выделения теплоты χпри работе на смеси приближается к 0,98, в то время как при работе на бензине стремиться к 1. Это объясняется, чуть меньшей скоростью сгорания и наличием большого количества «балластного» азота в камере сгорания. Скорость активного тепловыделения при работе на смеси генераторного газа и бензина ниже, по сравнению при работе на бензине, но выше чем при использовании чистого генераторного газа.

Работа двигателя на генераторном газе сопровождается снижением максимальной температуры цикла относительно бензина (2340^0C) на 110^0C, это объясняется растянутостью процесса сгорания во времени и низкой удельной теплотой сгорания. Добавление бензина в качестве добавки в топливо, даёт помимо увеличения мощности, ещё и повышение температуры цикла, $Tmax$=2290^0C. Несмотря на более раннее зажигание, максимальная температура цикла достигается быстрее при работе на бензине. При этом пик температуры находиться на 3-5^0 левее для бензина и 5-6^0 для генераторного газаP_Zmax. Для цикла на смеси топлив пик температуры цикла достигается чуть раньше чем для бензина, но позже чем для генераторного газа, и составляет 4-5^0.Использование генераторного газа снижает значение максимальной температуры цикла, что даёт возможность увеличить форсирование двигателя по $P_{ЭФ,СРЕД.}$.

Выводы:

*1).*Полученына лабораторной установке индикаторные диаграммы при работе на различных топливах (Рис. 3);

2) По полученным индикаторным диаграммам, произведён расчёт тепловыделения с последующим графическим представлением (Рис. 4-5);

*3)*Анализ графиков выявил следующее:

Работа двигателя на генераторном газе сопровождается снижением скорости тепловыделения, доля выделившегося тепла χ = 0,34 в ВМТ, бензин и

смесь топлив -0,37 и 0,39 соответственно. Максимальное давление цикла сгорания на генераторном газе составляет P_Z=2,2 МПа, смеси топлив и бензине соответственно – 3,1 и 3,2 МПа. Работа двигателя на генераторном газе сопровождается снижением максимальной температуры цикла до *Tmax*=2230^0, бензина и смесь топлив 2340^0 и 2290^{0}С. Максимальная температура цикла достигается быстрее при работе на бензине (3-5^0 левее $P_Z max$), 5-6^0 для генераторного газа. 4-5^0 –длясмеси топлив соответственно.

Полученные результаты могут быть использованы при дальнейших исследованиях сгорания генераторного газа его смеси с бензином.

Список литературы

1. Sridhar, G., Paul, P.J, Mukunda, H.S., Biomass derived producer gas as a reciprocating engine fuel-an experimental analysis, Biomass and Bioenergy, 21,61-72, 2001

2. Определение количественных характеристик двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива. С.А. Плотников и др. Проблемы региональной энергетики. 2017. № 2 (34). С. 105-111.

3.С.А.Плотников, А.С. Зубакин, А.Н.Коротков. Исследование электростанции, работающей на альтернативном топливе. Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: мат. IX межд. науч.-практ. конф. «Наука–Технология–Ресурсосбережение».– Киров,2016. –С. 220–224.

4. Система питания двигателя внутреннего сгорания генераторным газом. С.А. Плотников и др. Патент на изобретение RU 2605870 от 11.09.2015.

5. ГОСТ 14846-81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний (с Изменениями N 1-4). Введён 01.01.1982; М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200009997 (дата обращения 25.01.2018).

6. Зубакин А.С., Кузнецов А.С. Определение оптимального угла опережения зажигания двигателя 1ч 6,8/5,4 при работе на генераторном газе и смеси бензина и генераторного газа. Успехи современной науки. 2017. № 7. С. 132-136.

7. Исследования работы двигателя 1Ч 6,8/5,4 на альтернативных топливах. А.Н. Карташевич и др. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4. С. 115-117.

Об организации курсового проектирования в технических дисциплинах

Иванов-Польский К.В.[a], Жуйков В.А.[a]
старший преподаватель кафедры технологии машиностроения [a],
доцент кафедры технологии машиностроения[b],
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b].
E-mail: iv_polsky@vyatsu.ru [a], mrskp@mail.ru[b]

Аннотация: Актуальность. Противодействие системе заказного курсового проектирования в условиях тотального снижения объема преподавания технических дисциплин и времени, выделяемого в учебных планах на консультации по курсовому проектированию на основе систематизации и развития методов организации курсового проектирования. Метод — создание в учебных группах аналога производственного конструкторского бюро. Достигаемый результат - снижение уровня и исключение “заказных” курсовых работ и проектов, улучшение умений и навыков синтеза технических объектов. Вывод. В ходе трехгодичного применения данной системы организации курсового проектирования обеспечено 100% исключение заказных курсовых работ и проектов по Технологической оснастке на кафедре Технологии машиностроения студентами дневного отделения направлений 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и 15.03.01 Машиностроение, квалификация бакалавр.

Ключевые слова: Курсовой проект, курсовая работа, проектирование, организация, конструкторское бюро.

Курсовое проектирование является важнейшей частью образовательного процесса в области изучения специальных технических дисциплин. Оно позволяет актуализировать теоретические знания, дополнив их умениями и навыками практического применения.

В соответствии с учебными планами курсовое проектирование, в настоящее время, отнесено к области самостоятельной работы студента и вынесено за рамки аудиторных занятий.

Однако, практическое конструирование изделий является деятельностью особого рода [1, стр. 175], которая существенно отличается от всего того, чему может научиться студент в ходе теоретических занятий. Дело усугубляется тем, что синтез, чем и является конструирование, плохо формализуемый, сложный, творческий процесс. О нем можно рассказать студенту, показать примеры выполненных работ, объяснив, как принимались те или иные конструкторские и

технологические решения, даже продемонстрировать, как на основе задания и исходных данных происходит процесс конструирования от начала до конца на конкретном примере. Но, все равно, конструировать каждый студент учится сам неизвестным и не формализуемым способом. Точно так же можно объяснить человеку, как плыть, двигать руками и ногами, дышать, но учится плавать каждый сам, устанавливая характер, связь и соотношения всех элементов плавания лично для себя, как это может делать только он.

Отдавать курсовое проектирования на самостоятельную работу студенту, не имеющему никакого опыта практического применения знаний, не понимающему их значение, соотношение с реальностью, малопродуктивно, если не бесполезно. Подтверждением этому служит обычный ход курсового проектирования, когда только около 5...10% студентов справляются с проектированием в заданные сроки или раньше, поскольку они обладают ярко выраженным врожденным конструкторским талантом. Поэтому скорость и качество их проектирования в меньшей степени связаны с качеством и объемом преподавания теоретических знаний в аудитории. Даже если бы таковых занятий не было вовсе, это не слишком замедлило бы их работу. Врожденные способности позволяют им легко самостоятельно находить и усваивать материал, догадываться о мере его практического применения. Основная же масса студентов не обладают такими способностями или обладают ими не в полной мере. Не могут обойтись без подробных объяснений и непрерывного наставничества в проектировании.

Следствием является то, что большая часть студентов затягивают выполнение курсовых работ и проектов до предела (сессии). А примерно 20...25% (по самым скромным подсчетам) вовсе срывают сроки проектирования не укладываясь в семестр, создавая академическую задолженность.

То, что такое положение вещей сохраняется и повторяется из года в год лишь усугубляясь, говорит о том, что процесс курсового проектирования организован в корне неправильно. Предоставленные сами себе такие студенты ищут формальный выход из возникшего затруднения в нескольких вариантах.

Первый вариант — сверхинтенсивные консультации с руководителем курсового проекта абсолютно по всем вопросам, включая мелочи, фактически вынуждая именно руководителя реально конструировать заданное изделие, поскольку сами они это сделать не могут.

Второй вариант — нанять кого-то для выполнения работы. Благо сейчас, когда курсовые проекты выполняются с применением машинной графики, определить автора по почерку или манере черчения невозможно. На этой почве буйным цветом расцвела индустрия заказных курсовых и дипломных проектов, превращая процесс обучения в формальное предоставление нужных документов.

Третий вариант — воспользоваться ранее выполненным студенческим курсовым проектом, выдавая его за свой.

Все эти варианты неприемлемы. Студент не получает необходимых навыков и умений тратя время учения зря. Качество высшего специального образования страдает.

Насущной задачей преподавателей, руководителей курсового и дипломного проектирования, является слом этой негативной ситуации.

Курсовое проектирование, как интеллектуальная деятельность, сродни решению задач. Американский математик и педагог Д. Пойа в своей известной книге «Математическое открытие» [2 стр.13] так писал об этом: «Процесс решения задач представляет собой поиск выхода из затруднения или пути обхода препятствия, - это процесс достижения цели, которая первоначально не кажется сразу доступной. Решение задач является специфической особенностью интеллекта — это особый дар человека; поэтому решение задач можно рассматривать, как одно из самых характерных проявлений человеческой деятельности… Решение задач — практическое искусство, подобное плаванию, катанию на лыжах или игре на фортепиано; научиться ему можно только подражая хорошим образцам и постоянно практикуясь».

В полной мере это можно отнести к курсовому и дипломному проектированию в специальных технических дисциплинах.

Поскольку высшее учебное заведение готовит кадры для промышленности, где так или иначе придется заниматься вопросами проектирования изделий или технологических процессов, то разумно сразу ставить студентов в условия, сходные с производственными уже на этапе курсового проектирования.

На производстве конструирование происходит в конструкторских бюро и группах, где есть более квалифицированные и опытные работники, ведущие специалисты, где есть возможность учиться у них и друг у друга практическому конструированию, наблюдая за работой коллег, задавая вопросы, давая свои предложения, выслушивая критику, перенимая и используя лучшие решения. Именно так происходит сохранение технической традиции и накопление реального опыта конструирования.

В полной мере этому отвечает организация курсового проектирования в составе всей учебной группы с непосредственным участием в конструировании преподавателя — руководителя курсового проекта. Группа, в этом случае, становится аналогом производственного КБ. Преподаватель выступает в роли начальника КБ, ведущего конструктора, который не только дает указания, но и сам подсказывает и, главное (!), показывает как следует конструировать тот или иной узел или деталь и дает подробные конкретные пояснения. Все студенты группы имеют возможность наблюдать за этим процессом, перенимать и применять решения в своих разработках. Таким образом, эффективность курсового проектирования для каждого студента увеличивается во столько раз, сколько студентов одновременно участвуют в работе.

Кроме того, студенты наблюдают работу опытного специалиста, который не только на словах, но и на деле может продемонстрировать свою квалификацию. Работа преподавателя становится сродни работе играющего тренера.

Не стоит забывать также и о том, что следование за авторитетом — это основной стимул учения (учение — это то, чем занимается учащийся в учебном процессе), поскольку для учащегося, до момента полного освоения и применения, не очевидна ценность и необходимость тех знаний, которые ему предлага-

ют получить. Это не стало еще элементом его жизненного опыта. И только авторитет преподавателя, демонстрирующего, что эти знания, навыки и умения ценны для него, что он с радостью и любовью умело применяет их в своей деятельности, является в глазах учащегося оправданием тех усилий, которые он затрачивает на пути учения.

Материальной основой описанной организации курсового проектирования является то, что, в настоящее время, каждый студент имеет ноутбук, на котором он выполняет свой курсовой проект, и способен принести его на практическое занятие.

Данный способ организации курсового проектирования применен при выполнении курсового проекта по Технологической оснастке на кафедре Технологии машиностроения студентами дневного отделения направлений 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и 15.03.01 Машиностроение, квалификация бакалавр.

В результате, полностью прекратились случаи предоставления заказных курсовых проектов, а также появления старых курсовых проектов под видом новых. Возросло качество конструирования и вера студентов в свои силы.

Список литературы:

1. Горохов В.Г. Техника и культура: возникновение философии техники и теории технического творчества в России и Германии в конце XIX — начале XX столетия [Текст] / В.Г.Горохов. - М.:Логос,2009. -376с.
2. Пойа, Д. Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание [Текст] / Д. Пойа; пер. с англ. - 2-е изд., стер.- М.:Наука,1976. - 448 с.

Снижение износа щеток в коллекторных машинах постоянного тока авиационного исполнения

Изотов А.И.[a], Тимина Н.В.[b], Соболев Д.В.[c]
кандидат технических наук, профессор кафедры электрических машин и аппаратов[a]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов[b]
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: izotov@vyatsu.ru[a], timina@vyatsu.ru[c]
d.sobolev.kb@gmail.com[c]

Аннотация: в статье рассматривается актуальная проблема в области коллекторных машин – износ щеточно-коллекторного узла. Рассматривается применение политурообразующих щеток в авиационном генераторе ГС-12ТОК, как один из способов снижения износа щеток и коллекторов. Рассмотрено влияние снижения давления щеточных пружин на образование политурной пленки. В рамках исследований были проведены приемосдаточные испытания опытных генераторов, испытания на ударную прочность, испытания при цикличной работе генератора. По результатам испытаний, когда была проведена частичная замена штатных щеток на политурообразующие, наблюдалось ускорение процесса образования политурной пленки в 2 раза; полная замена штатных щеток на политурообразующие уменьшила разрушение политурной пленки в 3 раза. Данное предложение может найти применение не только в электрических машинах авиационного исполнения, но и в других машинах, имеющих щеточно-коллекторный узел.

Ключевые слова: политурная пленка, генератор, давление пружин, политурообразующие щетки.

Вопросы наведения и стирания политурной (окисной) пленки на коллекторах и контактных кольцах электрических машин постоянно находятся в поле зрения специалистов электромехаников. Политурная пленка является твердой смазкой и приводит к снижению износов щеток, коллекторов и контактных колец. Отсутствие политурной пленки увеличивает износы щеток в десятки раз. Однако большая толщина политурной пленки может привести к расколу щеток за счет возникновения молекулярных сил сцепления.

У авиационного генератора ГС-12ТОК после изменения режима его работы – запуск вспомогательной силовой установки (ВСУ) и дальнейшая работа в режиме генератора заменен на режим, когда после запуска ВСУ генератор работает только в режиме холостого хода (без возбуждения) стал наблюдаться

повышенный износ щеток. Для обеспечения прежнего ресурса в комплект запчастей, инструментов, приспособлений (ЗИП) стали прикладывать 5 комплектов щеток для замены изношенных. Так как замена щеток возможна только на аттестованных предприятиях, а стоимость авиационного керосина на час полета самолета АН-124-100 при крейсерской скорости 800 км/ч стоит около 2,5 млн. рублей, это привело к значительному увеличению эксплуатационных расходов.

Исследования, проведенные кафедрой ЭМА ВятГУ, показали, что повышенный износ щеток обусловлен отсутствием политурной пленки на коллекторах. При запусках за счет искрения по переходным процессам наброса и сброса нагрузки происходит разрушение политурной пленки, которая при наличии генераторного режима восстанавливалась, а при работе в обесточенном состоянии происходило дальнейшее ее разрушение (одним из условий образования политурной пленки является наличие тока в контакте щетка - коллектор).

В результате проведенных исследований по оценке эффективности применения различных марок щеток в направлении ускорения процесса образования политурной пленки как в режиме работы под нагрузкой, так и при работе в обесточенном состоянии было установлено, что наибольшую скорость образования политурной пленки обеспечивают щетки ЭГ-74 и ЭГ-61А. Установка в систему токопередачи наряду со штатными щетками МГС-7 политурообразующих щеток ЭГ-74 или ЭГ-61А приводит к ускорению образования политурной пленки как в режиме нагрузки, так и в обесточенном состоянии.

На рис. 1 приведены результаты длительных испытаний, когда на каждую дорожку было установлено на две щетки МГС-7 одна политурообразующая щетка ЭГ-61А или ЭГ-74 (рис. 2). Генераторы работали в режиме 6 запусков 6 часов работы в обесточенном состоянии. Наилучшие результаты дает применение щеток ЭГ-74.

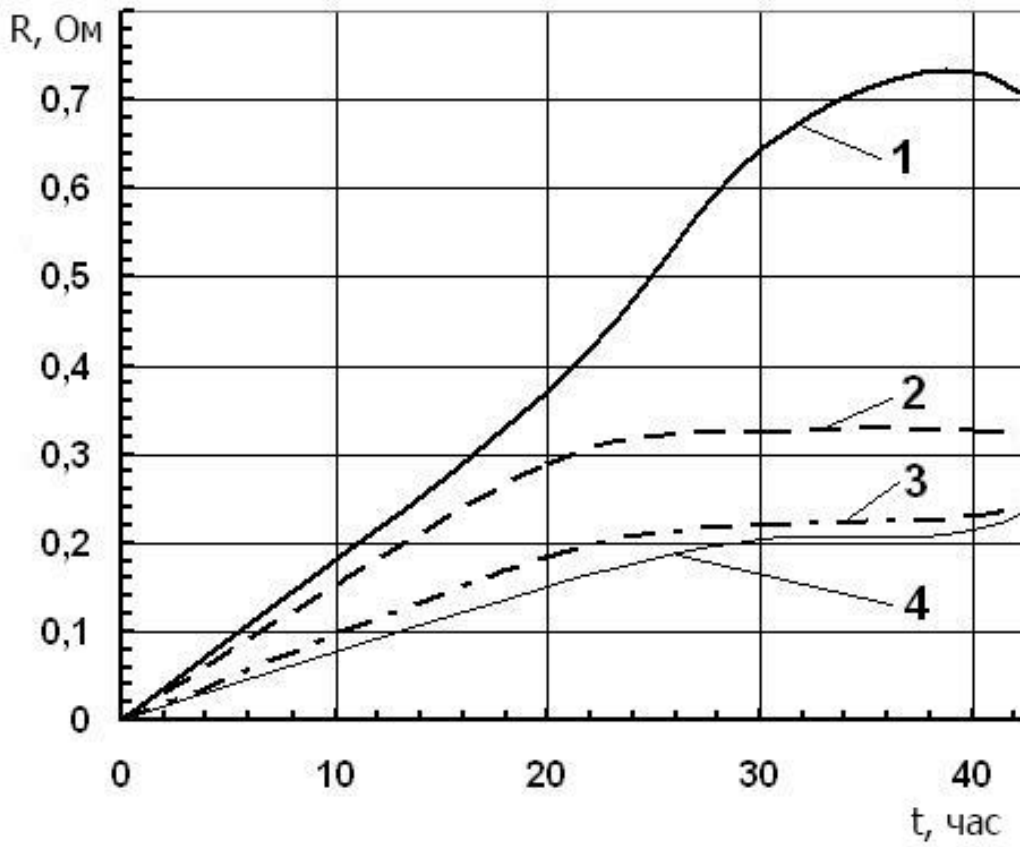


Рисунок 1. Наведение политурной плёнки щётками МГС-7, ЭГ-74 и ЭГ-61А за 40 часов: 1 – МГС-7 и ЭГ-74, генератор № 88; 2 – МГС-7 и ЭГ-61А, генератор № 2; 3 – МГС-7, генератор № 88; 4 – МГС-7, генератор № 2.

В табл. 1 приведены результаты испытаний генератора ГС-12ТОК в импульсном режиме с политурообразующими щетками ЭГ-61А, когда на 2 штатных щеток была установлена 1 политурообразующая. Из анализа приведенных данных следует, что применение политурообразующих щеток значительно ускоряет процесс восстановления политурной пленки после импульсного режима.

В связи с полученными результатами были проведены летные испытания генераторов, оборудованных политурообразующими щетками ЭГ-74 и ЭГ-61А. До и после летных испытаний измерялось сопротивление политурной пленки и износ щеток.

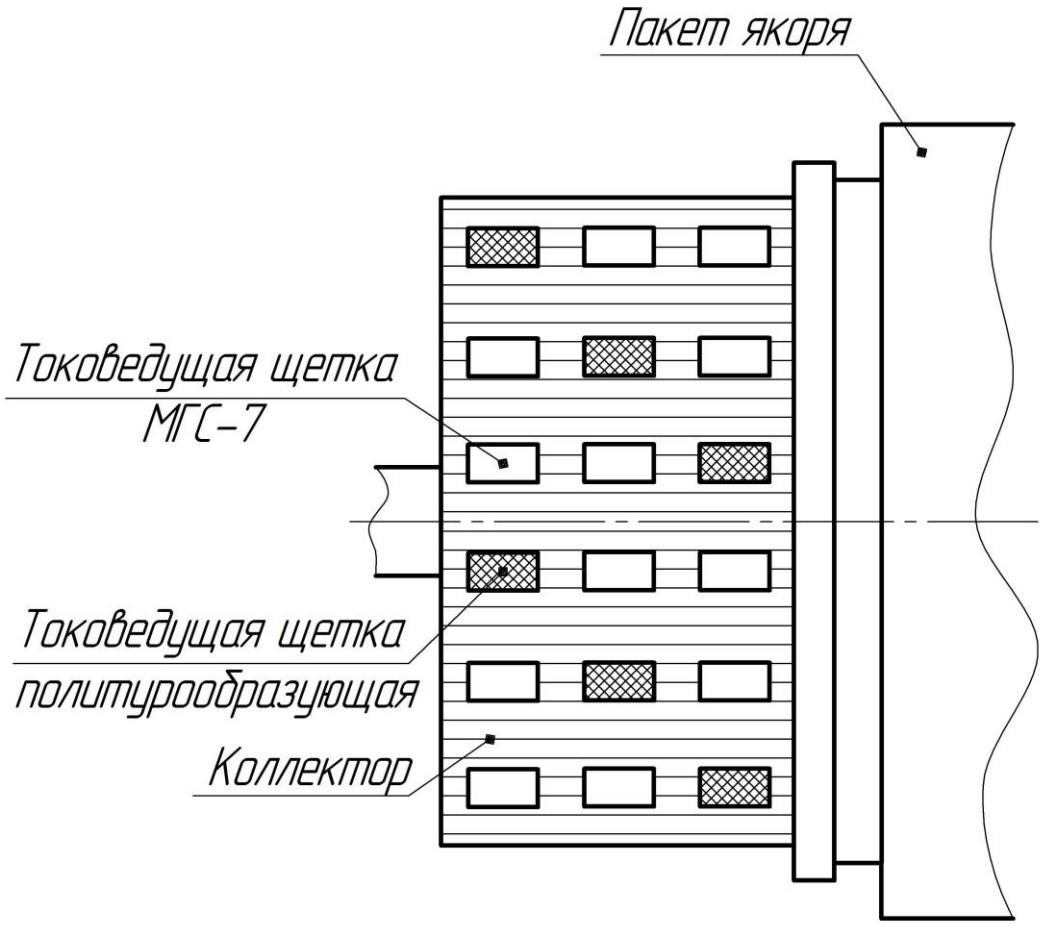


Рисунок 2. Схема установки щеток на генераторе ГС-12ТОК

Наибольшая эффективность была получена в случае применения политурообразующих щеток ЭГ-61А, которые обеспечили увеличение ресурса в пять раз с сохранением исходного значения (после приемосдаточных испытаний) политурной пленки. При этом давление на штатные и политурообразующие щетки было уменьшено до значения 500-550 грамм вместо 850-1200 грамм, которое соответствует штатному давлению.

В дальнейшем один генератор был оборудован только щетками ЭГ-61А при штатном давлении, а второй генератор наряду со штатными щетками политуробразующими щетками ЭГ-61А (по две щетки ЭГ-61А на рабочую дорожку) и давлением на все щетки 500-550 грамм. Проведены испытания генератора на ударную прочность. Проверка производилась в горизонтальном положении, в нерабочем состоянии, с зафиксированным гибким валом.

Таблица 1

Испытания генератора ГС-12ТОК в импульсном режиме

Условие опытов	Сопротивление		Износ, мм
	начальн. $R_{нач}$, Ом	конечн. $R_{кон}$, Ом	
МГС-7 (18 шт.)			
двигательный режим: U=15 В, t= 7 час.	0,002	0,37	МГС-7: 0,254
импульсный режим t= 3 час.	0,37	0,0311	
двигательный режим: U=15 В, t= 5 час.	0,0311	0,345	
импульсный режим t= 1 час.	0,345	0,245	
импульсный режим t= 1 час.	0,245	0,135	
Режим Х.Х.: n=6000 об/мин, I=0 А, t= 5 час.	0,135	0,6	
импульсный режим t= 1 час.	0, 6	0,408	
импульсный режим t= 1 час.	0,408	0,197	
МГС-7 (15 шт), ЭГ-61А (3 шт)			
двигательный режим: U=15 В, t= 7 час.	0,002	0,38	МГС-7: 0,300
импульсный режим t= 3 час.	0,38	0,497	
двигательный режим: U=15 В, t= 5 час.	0,497	0,501	
импульсный режим t= 1 час.	0,501	0,334	
импульсный режим t= 1 час.	0,334	0,327	
Режим Х.Х.: n=6000 об/мин, I=0 А, t= 5 час.	0,327	0,8	
импульсный режим t= 1 час.	0,8	0,529	
импульсный режим t= 1 час.	0,529	0,456	

Проверка проводилась с ускорением 6g, с частотой ударов от 40 до 100 ударов в минуту, при длительности импульса 20 мс±40% в количестве 10000 ударов. По результатам испытаний, генератор ГС-12ТОК выдержал проверку на ударную прочность, при внешнем осмотре механических повреждений щеток и пружин не обнаружено. Все пружины находились в пазах щеток. Далее опытные генераторы прошли приемосдаточные испытания (ПСИ) на соответствие ТУ на поставку. По результатам ПСИ все параметры (регулировочная характеристика, номинальные данные в генераторном и стартерном режиме, степень искрения, работа на холостом ходу в режиме стартера, сопротивление и электрическая прочность изоляции) соответствуют требованиям ТУ.

Для оценки эффективности доработок опытных генераторов дополнительно использовался штатный генератор, также прошедший ПСИ. У штатного

генератора среднее сопротивление политурной пленки после ПСИ составило 0,148 Ом, на генераторе с пониженным давлением и политурообразующими щетками ЭГ-61А сопротивление составило 0,284 Ом. Сопротивление политурной пленки за счет применения политурообразующих щеток увеличилось приблизительно в два раза.

На генераторе со штатными щетками и пружинами после проведения ПСИ были проведены испытания по режиму: 3 запуска, 4 часа в обесточенном состоянии и таких 6 циклов. После каждого цикла замерялось сопротивление политурной пленки. В дальнейшем с коллектора была снята политурная пленка и установлены только щетки ЭГ-61А без замены пружин и проведены аналогичные исследования. Наблюдается уменьшение сопротивления политурной пленки после испытательного цикла в 1,5 раза. У штатного генератора сопротивление уменьшилось в 3 раза.

Таким образом, в результате проведенных исследований доказана возможность ускорения процесса образования политурной пленки в многощеточных системах за счет использования наряду со штатными щетками щеток, обладающих высокой скоростью наведения политурной пленки.

Для принятия решения о внедрении в серийное производство одного из рассмотренных вариантов планируется проведение дополнительных летных испытаний генератора оборудованного полным комплектом щеток ЭГ-61А и штатным давлением; генератора с политурообразующими щетками ЭГ-61А по две на дорожку и пружинами давления 500-550 грамм на все щетки; проведение заводских испытаний по оценке эффективности генераторов со штатными щетками МГС-7 с пониженным давлением 500-550 грамм на все щетки.

Результаты предварительных исследований устройства для очистки от примесей зернового материала

Исупов, А.Ю.[a], Медведев, О.Ю.[b], Турубанов, Н.В.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[a, b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
кандидат технических наук, научный сотрудник ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров[a, c]
ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Российская Федерация[a, c]
E-mail: usr10468@vyatsu[a], usr08307@vyatsu[b], usr04704@vyatsu[c]

Аннотация: В настоящее время все большее распространение получает технология плющения зерна различной влажности. Однако у этой технологии есть слабое место – вальцы плющилки зерна. Данные вальцы имеют очень высокую стоимость и с целью продления их срока службы разработано устройство для очистки от примесей зернового материала поступающего на плющение.

В статье, представлены результаты предварительных исследований, устройства для очистки от примесей зернового материла. Исследования проводились с использованием методики планирования эксперимента, и был использован полнофакторный план типа 2^4. Анализ и обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи пакета статистических программ Statgraphics Plus. При этом были выбраны следующие факторы: подача зернового материала, скорость движения скребков, диаметр отверстий и угол наклона плоских решет. В качестве критерия оптимизации принято процентное соотношение просеявшегося зернового материала от поданного на устройство.

Ключевые слова: сепарирование, угол наклона, подача материала, круглые отверстия решет.

Введение. На сельскохозяйственных предприятиях Российской Федерации, занятых в сфере животноводства, все активнее распространяется технология получения высококачественных кормов методом плющения зерен злаковых культур, например, ячменя, с влажностью до 40%. Средством получения этого корма являются плющилки зерна. Рабочим органом плющилки являются рифлёные или гладкие вальцы, выполненные из дорогих износостойких сталей. Поэтому попадание в межвальцовый зазор постороннего предмета и, как следствие, подклинивания вальцов может привести: к выходу из строя привода плющилки зерна; в случае гладких вальцов процессу восстановления или их дорогостоящей замене в случае рифленых вальцов.

Для снижения вероятности повреждения вальцов была разработана и изготовлена линия по приготовлению кормов, состоящая из устройства для очистки от примесей зернового материала и плющилки зерна [1].

Постановка цели и задачи исследования. Цель исследований - получение первичной информации о процессе разделения зернового материала устройством для очистки от примесей.

Задачи исследования:

- установление взаимосвязи между выбранными факторами;
- установление признаков, служащих основанием для дальнейшей исследовательской работы.

Методы исследования. Объектом явилось предварительные исследования устройства для очистки от примесей зернового материала общий вид, которого представлен на рисунке 1.

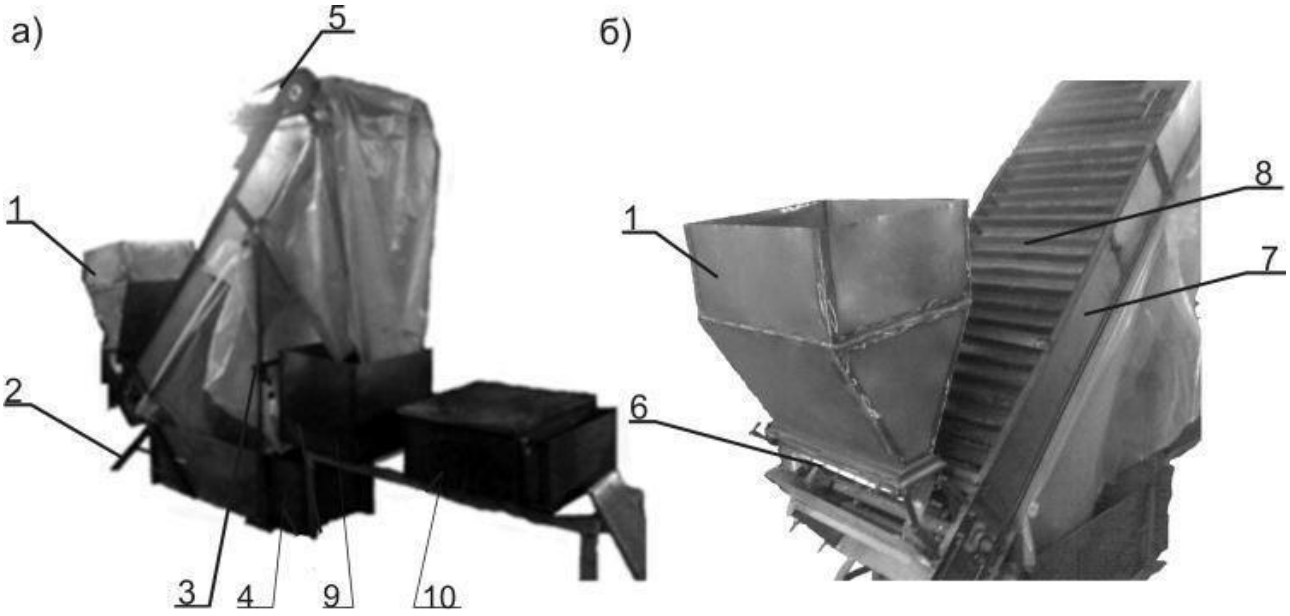


Рисунок 1. Опытная установка очищающего устройства с видом сбоку (а) и сзади (б): 1 –загрузочный бункер; 2 - задняя опорная стойка; 3 – передняя опорная стойка; 4, 9, 10 – приемники для прохода с подсевных, колосовых решет и схода с колосового решета соответственно; 5 – привод установки (цепная передача); 6 – заслонка загрузочного устройства; 7 – решетно-планчатый транспотер; 8 – скребки.

Сепарирующая поверхность имела размеры 598х615 мм. В качестве зернового материала использовался ячмень кондиционной влажности и имеющий

величину математического ожидания и отклонения соответственно для: длины M=8,58 мм, σ=1,27; ширины M=3,44 мм, σ=0,44; толщины M=2,49 мм, σ=0,375.

Для оценки работоспособности устройства для очистки от примесей зернового материала была реализована матрица полного факторного эксперимента типа 2^4. Список факторов и выбранные уровни варьирования, приведены в таблице 1.

В качестве критерия оптимизации принято количество просеявшегося от поданного на устройство зернового материала (Y), выраженное в процентах.

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Наименование факторов и размерность	Уровни факторов	
		-1,0	+1,0
X1	Подача материала, т/час	4	12
X2	Угол наклона решета, град.	27	45
X3	Диаметр отверстия, мм	9,5	12
X4	Скорость движения скребков, м/с	0,52	0,2

Результаты исследований, и их обсуждение.

При проведении опытов забивание отверстий решет не наблюдалось. Матрица планирования типа 2^4 и результаты эксперимента представлены в таблице 2 [2].

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента и его результаты

№	Факторы				Критерий оптимизации
	X1	X2	X3	X4	Y, %
1	-1	-1	-1	1	100
2	1	-1	-1	-1	81,2
3	1	1	-1	1	82,1
4	1	1	-1	-1	73,8
5	-1	-1	-1	-1	100
6	-1	1	-1	1	99,6
7	-1	1	-1	-1	100
8	1	-1	-1	1	92,4
9	-1	1	1	-1	100
10	1	1	1	-1	93,3
11	1	-1	1	-1	97,5
12	-1	1	1	1	100
13	-1	-1	1	-1	100
14	1	-1	1	1	99,7
15	1	1	1	1	98,2
16	-1	-1	1	1	100

Обработка экспериментальных данных, представленных в таблице 2, осуществлялась при помощи универсального статистического пакета программ Statgraphics Plus.

После оценки, полученных коэффициентов уравнения регрессии, и удаления не эффективных коэффициентов (рис.2) была получена следующая математическая модель:

$$Y = 94{,}8625 - 5{,}0875 \times X1 - 1{,}4875 \times X2 + 3{,}725 \times X3 + 1{,}6375 \times X4 - 1{,}4375 \times X1 \times X2 + 3{,}675 \times X1 \times X3 + 1{,}6875 \times X1 \times X4 \quad (1)$$

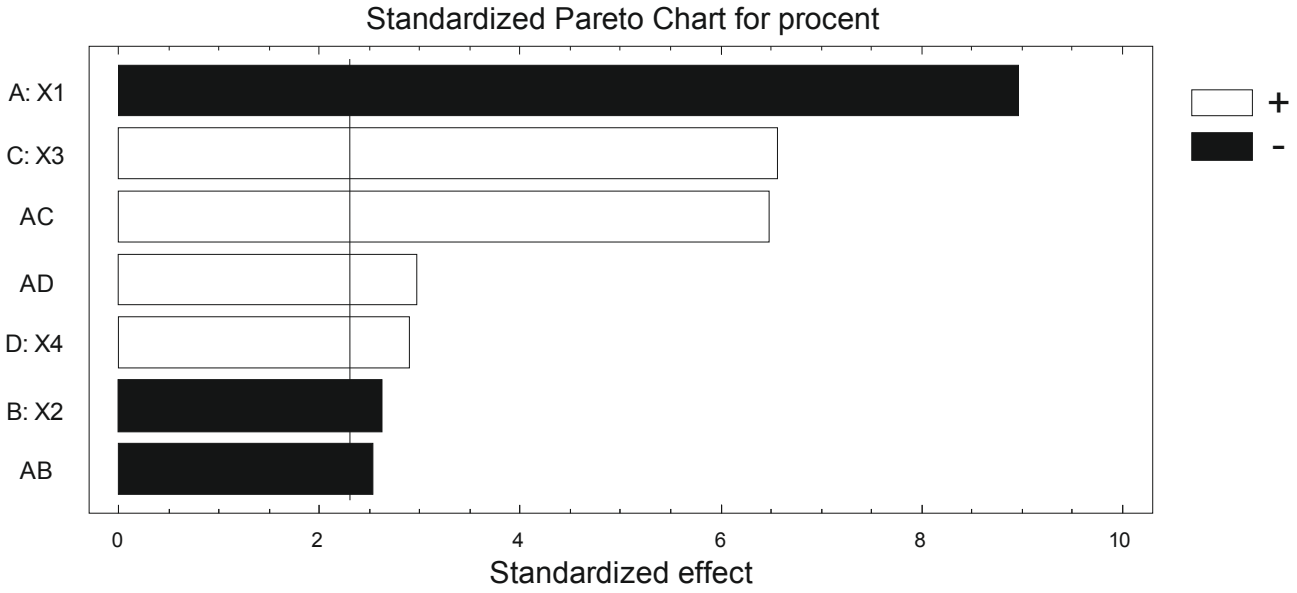


Рисунок 2. Паретто-график эффективности коэффициентов уравнения регрессии

Дисперсионный анализ (ANOVA) (рис. 3), полученной модели (1), выявил, что:

- нулевая гипотеза отклоняется на 0,05 уровне значимости;
- расчетные значения критерия Фишера (F-ratio) факторов и их взаимодействий больше табличного значения критерия Фишера равного 4,54;
- коэффициент детерминации R-squared превышает 95%.

Таким образом, коэффициенты уравнения адекватны, а полученная модель является статистически значимой и около 96% вариаций критерия оптимизации (Y) учтены в модели и обусловлены вариацией подачи материала (X1), угла наклона (X2), диаметром отверстия решет (X3) и скорости движения скребков (X4).

Из анализа уравнения регрессии (1) и графика эффективности факторов (рис.2) видно, что наибольшее влияние критерий оптимизации оказывает подача зернового материала (X1) и диаметр отверстий решет (X3). При этом увеличение подачи (X1) и угла наклона (X2) способствует уменьшению количества просеивавшегося материала.

Analysis of Variance for procent

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:podacha	414,123	1	414,123	80,36	0,0000
B:ugol	35,4025	1	35,4025	6,87	0,0306
C:Diametr_otverstie	222,01	1	222,01	43,08	0,0002
D:skorost	42,9025	1	42,9025	8,33	0,0203
AB	33,0625	1	33,0625	6,42	0,0351
AC	216,09	1	216,09	41,93	0,0002
AD	45,5625	1	45,5625	8,84	0,0178
Total error	41,225	8	5,15313		
Total (corr.)	1050,38	15			

R-squared = 96,0752 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 92,641 percent
Standard Error of Est. = 2,27005
Mean absolute error = 0,975
Durbin-Watson statistic = 1,89297 (P=0,3086)
Lag 1 residual autocorrelation = 0,053396

Рисунок 3. Результаты дисперсионного анализа модели (ANOVA)

Анализ двумерных сечений (рис. 4) показывает что:

- при максимальной скорости движения зернового материала (X4) вне зависимости от изменения угла наклона (X2) установки с увеличением диаметра отверстия решет (X3) и уменьшением количества перемещаемого скребком зернового материала (X1) процент, прошедшего через решето зерна, (Y) возрастает до 99% (рис.4а, рис. 4б);
- при максимальной угле установки решет (X2) и при уменьшении подачи зернового материала (X1) процент, прошедшего через решето зерна, (Y) увеличивается до 99%. Однако увеличение значений критерия оптимизации (Y) становится более «крутым» при уменьшении диаметра отверстий решет (X3)

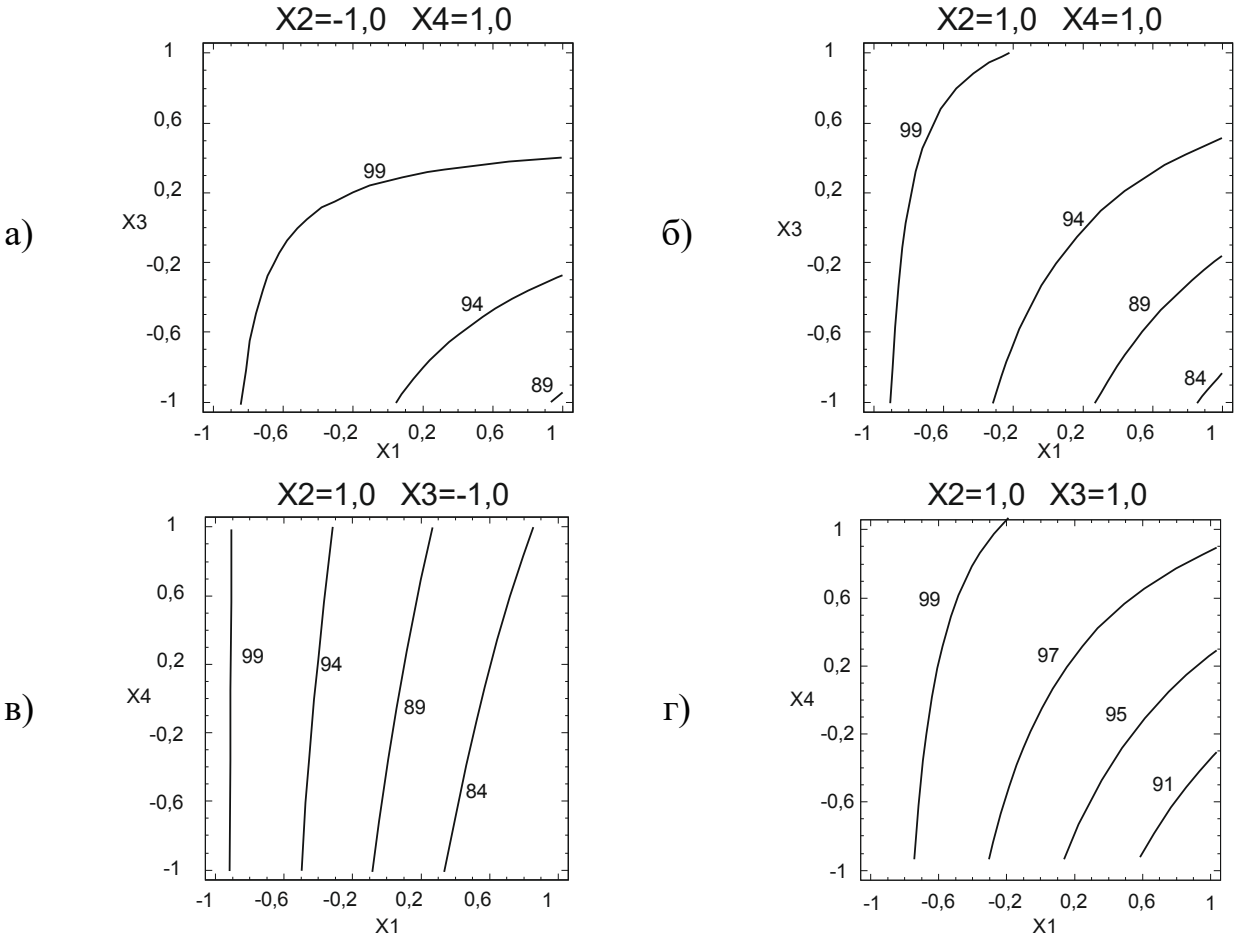


Рисунок 4. Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие количество просеявшегося от поданного на устройство зернового материала (Y), % от: а, б) – подачи зернового материала (X1) и диаметра отверстия решет (X3); в, г) – подачи зернового материала (X1) и скорости движения скребков (X4)

Заключение. В ходе проведенных предварительных исследований с использованием полно факторного эксперимента установлено:

1. на процесс сепарирования зернового материала наибольшее влияние оказывают факторы подачи зернового материала (X1) и диаметра отверстий решет (X3), а также их взаимодействие;

2. для улучшения понимания происходящего процесса в устройстве для очистки от примесей зернового материала следует в дальнейшем рассмотреть факторы влажности зерна, типа отверстий решет и количество скребков на погонный метр.

Список литературы

1. Вальцовая плющилка для зерна: пат. 2399421. Рос.Федерация, № 2009101533/03; заявл. 19.01.2009; опубл. 20.09.2010; Бюл. №26. 5 с.

2. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.

Влияние способа компиляции на быстродействие GPU-модуля библиотеки MPRES

Исупов К. С.[a], Куваев А. С.[b]
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры электронных вычислительных машин[a]
аспирант кафедры электронных вычислительных машин[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: ks_isupov@vyatsu.ru[a], kyvaevy@gmail.com[b]

Аннотация: Технология CUDA, позволяющая разработчикам программного обеспечения сравнительно просто использовать графические процессоры видеокарт (GPU) при разработке приложений общего назначения, получила в настоящее время широкое распространение в самых разных областях науки и техники. Вместе с этим, для создания высокопроизводительных CUDA-программ необходимо учитывать множество факторов, таких как архитектура GPU и многоуровневая модель памяти. Целью данной статьи является изучение еще одного из таких факторов, а именно – используемого способа компиляции CUDA-программы. На примере высокоточной библиотеки MPRES рассмотрены два способа компиляции: раздельная компиляция и компиляция с объединением исходного кода в один файл. Результаты экспериментов показывают, что использование раздельной компиляции позволяет ускорить процесс сборки, но приводит к существенным задержкам выполнения CUDA-подпрограмм.

Ключевые слова: программирование для GPU, программная библиотека, CUDA, компиляция.

Введение. CUDA (Compute Unified Device Architecture) – параллельная вычислительная платформа и программная модель компании NVIDIA, позволяющая выполнять вычисления общего назначения с использованием графических процессоров (GPU) [1]. Анонсированная в 2007 году, CUDA получила широкое распространение в различных областях, включая обработку видео и изображений, вычислительную биологию и химию, моделирование динамики жидкостей, восстановление изображений, полученных путем компьютерной томографии, сейсмический анализ, трассировку лучей и многое другое [2].

Гибкость и сравнительная простота являются главными аргументами в пользу широкого использования технологии CUDA при создании высокопроизводительных и энергоэффективных приложений. Используя данную технологию, программист, посредством специального упрощенного диалекта языков

C/C++, получает доступ к ресурсам GPU и имеет возможность конфигурации вычислительной сетки для последующего выполнения программы на множестве параллельных потоков.

Вместе с этим, для разработки эффективных программ с использованием CUDA необходимо учитывать ряд важных особенностей данной платформы. К таким особенностям относится, в частности, блочно-сеточная архитектура GPU, существенно отличающаяся от привычной архитектуры центральных процессоров. Кроме этого, в CUDA определены различные абстракции над памятью GPU (глобальная память, локальная память, разделяемая память, регистровый файл и пр.), причем каждый тип памяти имеет свои области применения.

Еще одним важным фактором, влияющим на производительность, является способ компиляции CUDA-программ. В ранних версиях CUDA весь device-код (исходный код программы, компилируемый с использованием nvcc и выполняемый на GPU) должен был располагаться в одном файле (whole program compilation), что вызывало определенные неудобства при написании больших приложений. С выпуском версии 5.0 в CUDA реализована поддержка раздельной компиляции (separate compilation), позволяющей разбить device-код на множество файлов для обеспечения удобной модульной структуры программы [3]. В данной статье исследуется влияние способа компиляции на эффективность GPU-модуля высокоточной программной библиотеки MPRES.

Библиотека MPRES. MPRES (Multiple-Precision Residue-based Arithmetic Library) – программная библиотека высокоточных вычислений на основе системы остаточных классов (СОК), ориентированная на вычислительные узлы с CPU/GPU-архитектурой [4]. Библиотека состоит из двух основных модулей, каждый из которых, в свою очередь, состоит из ряда блоков (Рис. 1): er – вычисления с расширенной экспонентой, rns – алгоритмы системы остаточных классов, mi – алгоритмы целочисленной многоразрядной арифметики, mf – алгоритмы арифметики с плавающей точкой многократной точности. В каждом блоке содержатся файлы исходного кода и соответствующие заголовки. Под-

программы из блока rns в процессе выполнения обращаются к блоку er, а подпрограммы из блоков mi и mf обращаются к блокам er и rns.

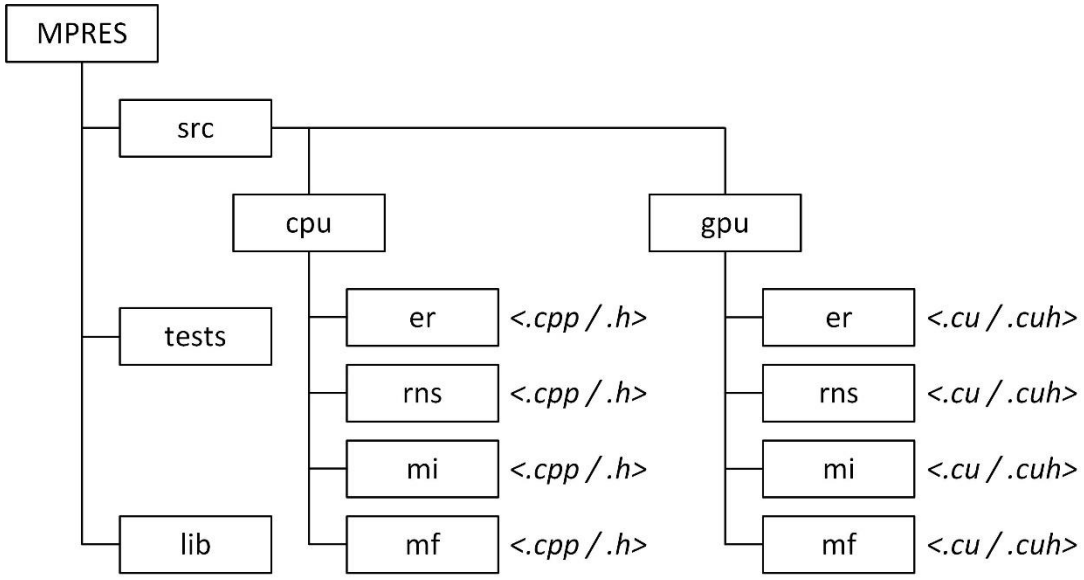


Рисунок 1. Обобщенная структура MPRES

Способы компиляции MPRES. Одним из способов компиляции GPU-модуля библиотеки MPRES является объединение всего исходного кода в один файл. Такое объединение осуществляется средствами системы автоматизации сборки CMake. Весь device-код из полученного общего .cu-файла преобразуется (как одна единица компиляции) в один объектный файл с помощью компилятора nvcc. Кроме этого, создается общий заголовочный файл, описывающий интерфейс библиотеки. Такой способ компиляции позволяет в полной мере использовать возможности кросс-модульной оптимизации (встраиваемые функции, развертывание циклов, удаление неиспользуемого кода и пр.), что в конечном счете обеспечивает повышение быстродействия исполняемых процедур. Вместе с тем, появляется вероятность коллизии имен и увеличивается время сборки библиотеки (инкрементальная сборка невозможна).

Альтернативным способом сборки GPU-модуля MPRES является использование раздельной компиляции с последующей линковкой device-кода в один объектный файл посредством специального компановщика кода устройства (Device Linker). Далее полученный объектный файл встраивается в общий файл библиотеки с использованием компоновщика кода хоста (Host Linker). Такая

схема сборки представлена на Рис. 2. Она обеспечивает возможность инкрементальной сборки и исключает коллизии имен. Однако ей также присущи недостатки, главный из которых – снижение производительности из-за невозможности некоторых важных для device-кода оптимизаций, в том числе встраивания функций с использованием модификатора inline.

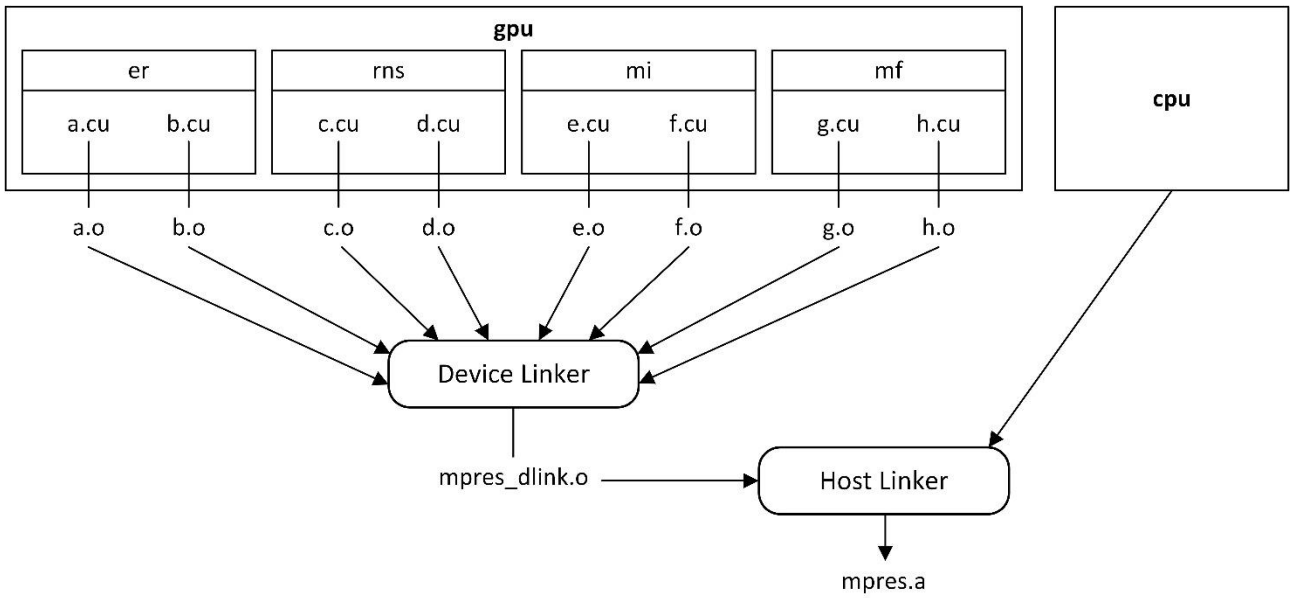


Рисунок 2. Схема раздельной компиляции device-кода в MPRES
(на схеме приведены условные имена CUDA-файлов)

Результаты исследований. Для сравнения описанных способов сборки проведен эксперимент, в ходе которого исследовалась эффективность последовательных и параллельных процедур GPU-модуля MPRES при высокоточном поэлементном умножении массивов чисел с плавающей точкой (mf-модуль) размера 10000 элементов на GPU NVIDIA GTX 1050 TI. Рассмотрены последовательные и параллельные подпрограммы умножения. В параллельных подпрограммах массивы векторов обрабатывались последовательно, а вычисления распараллеливались на уровне модулей СОК.

Результаты экспериментов представлены на Рис. 3, где по оси абсцисс отложен размер набора модулей СОК (16, 32, 64) и обеспечиваемая этим набором модулей точность вычислений с учетом округления: $p = \lfloor \log_2 \lfloor \sqrt{M-1} \rfloor \rfloor$. Здесь

M – произведение всех модулей СОК. По оси ординат на диаграмме отложено время выполнения тестовой задачи (10000 умножений) в миллисекундах.

Отметим, что полное время сборки библиотеки и теста с использованием раздельной компиляции составило 25 секунд. В свою очередь, при объединении исходного кода в один файл время сборки увеличилось на порядок и составило 280 секунд (сборка производилась на системе CPU Intel Core i5-4590 CPU, 3.30GHz, 16 GB DDR3 RAM, Ubuntu 17.10.).

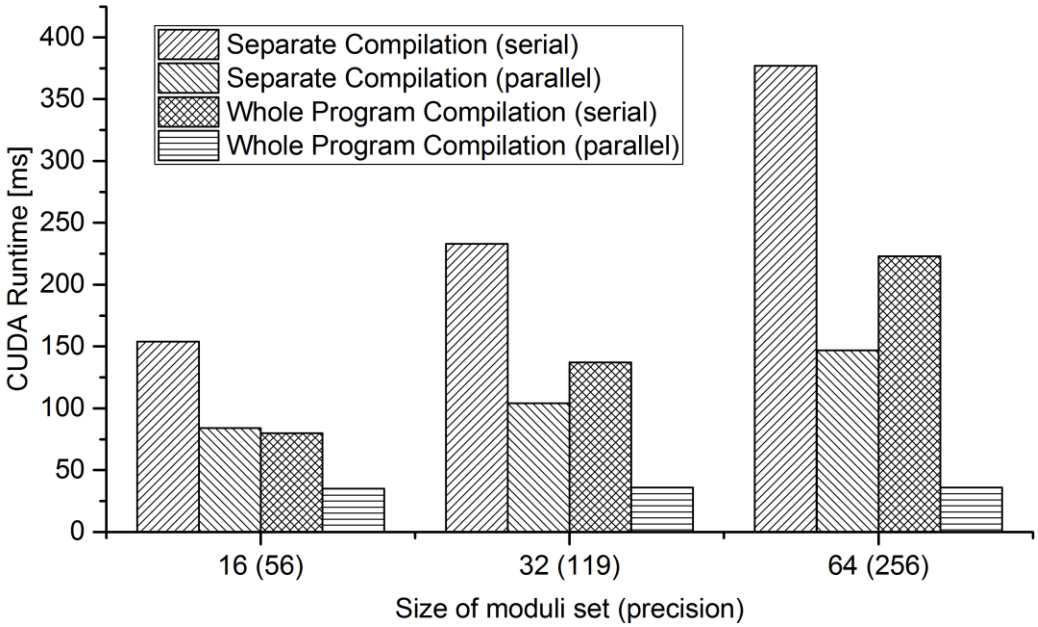


Рисунок 3. Зависимость времени выполнения теста от числа модулей СОК при различных вариантах сборки MPRES.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что сборка с раздельной компиляцией существенно снижает эффективность процедуры умножения из GPU-модуля библиотеки MPRES. Это связано, главным образом, с наличием в device-коде вложенных вызовов процедур, которые при использовании текущей версии компилятора nvcc не могут быть встроены. Кроме этого, при использовании раздельной компиляции заметно снижается ускорение параллельной реализации алгоритма умножения.

Заключение. Используемый способ компиляции играет важную роль при разработке CUDA-программ. При разработке больших приложений раздельная

компиляция обеспечивает ряд преимуществ, таких как возможность организации удобной модульной структуры проекта, отсутствие конфликтов имен и инкрементальная сборка. Вместе с тем, как показано на примере библиотеки MPRES, использование раздельной компиляции может приводить к существенному снижению эффективности вычислений из-за невозможности применения ряда оптимизаций device-кода. Поэтому если высокая производительность является основополагающим требованием к разрабатываемой программе, целесообразно объединять весь device-код в один файл, получая одну единицу компиляции. Использование систем автоматизации сборки позволяет сохранить модульную структуру программы, сделав процесс объединения прозрачным для программиста.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-60003 мол_а_дк.

Список литературы

1. Wilt N. The CUDA handbook: a comprehensive guide to GPU programming. N.J.: Addison-Wesley, 2013. 528 p.

2. Параллельные вычисления CUDA. URL: http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html (дата обращения 01.02.2018).

3. Cuda Toolkit Documentation. URL: http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-compiler-driver-nvcc/index.html#using-separate-compilation-in-cuda (date of access 09.01.2018).

4. Multiple-Precision Residue-Based Arithmetic Library for Parallel CPU-GPU Architectures: Data Types and Features / K. Isupov et al. // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10421. P. 196–204.

Особенности и характеристики новых вентильных электродвигателей АО «ЛЕПСЕ»

В.В. Ишутинов[a], А.Н. Русских[b]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов, кандидат технических наук[a]
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a,b]

Аннотация: Вентильные электродвигатели находят широкое применение в различных отраслях техники, в особенности в последние 8-10 лет. Это объясняется их несомненными преимуществами по сравнению с другими типами электрических машин. Наличие этих преимуществ объясняет и обуславливает применение этих электродвигателей в самых сложных, высокотехнологичных, многофункциональных, ответственных и, следовательно, дорогих системах. В настоящее время перед отечественными электромашиностроительными предприятиями стоит задача разработки вентильных электродвигателей и электроприводов с качественно новыми техническими характеристиками, при этом очень часто требования к этим изделиям отличаются противоречивостью. В данной статье описаны особенности работы и характеристики новых вентильных электродвигателей разрабатываемых на АО «ЛЕПСЕ» для различных областей техники, в том числе и для объектов спецтехники.

Ключевые слова: вентильные электродвигатели, следящие электропривода, динамические, массогабаритные, энергетические показатели, специальные электропривода, высокоскоростные электрические машины, моментные электродвигатели.

В настоящее время перед отечественным машиностроением и в частности перед отечественными электромашиностроительными предприятиями стоит ряд сложных задач по разработке электроприводов специального назначения с качественно новыми и зачастую противоречивыми характеристиками. В силу своих несомненных преимуществ в качестве электромеханических преобразователей в этих электроприводах применяются вентильные электродвигатели. Несмотря на большое количество работ в области исследований и разработки вентильных электродвигателей потребность в новых электродвигателях и электроприводах, в том числе с зачастую противоречивыми к ним требованиями не снижается. Потребность отечественной промышленности в подобных электроприводах и электродвигателях обуславливает актуальность и практическую значимость исследований и разработок в данной области.

Основная занимаемая вентильными электродвигателями ниша – это регулируемый электропривод, поскольку данные электродвигатели обладают превосходными регулировочными характеристиками и могут работать в широком диапазоне частот вращения и нагрузочных моментов, позволяя реализовать совместно с блоком управления практически любые режимы работы. В основном вентильные электродвигатели применяются в следящих системах, либо в системах, работающих «от упора до упора», при этом упоры могут быть механическими или электрическими. К вентильным электроприводам, как правило, предъявляются высокие и противоречивые требования по основным показателям: динамическим, массогабаритным, энергетическим, а в последнее время и по ряду специфических показателей, например, радиационной стойкости и шумовым факторам, в особенности, если они используются в технике специального назначения [Ишутинов], [Волокитина].

В настоящее время на АО «ЛЕПСЕ» при непосредственном участии автора ведется большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию вентильных электродвигателей для специальных электроприводов различного назначения в диапазоне мощностей от 10 Вт до 15 кВт и в диапазоне частот вращения от 100 об/мин до 75000 об/мин, работающими как в продолжительном, так и кратковременном режимах работы. При разработке вентильных электродвигателей использованы рекомендации, приведенные в [Ишутинов], [Волокитина].

Наибольший интерес представляют три направления разработок:

1. Высокодинамичные электродвигатели, как самостоятельного применения в собственном корпусе, с собственным датчиком положения ротора и системой управления, так и непосредственно работающие в составе высокодинамичных электроприводов бескорпусного исполнения.



Рисунок 1. Высокодинамичный вентильный электродвигатель ДБУ60-4-3



Рисунок 2. Высокодинамичный вентильный электродвигатель ДБУ38-200-11



Рисунок 3. Высокодинамичный вентильный электродвигатель ДБУ60-220-1



Рисунок 4 . Высокоскоростной вентильный электродвигатель ДБУ70-8-70

2. Высокоскоростные электрические машины с частотой вращения от 45000 до 75000 об/мин, с собственным датчиком положения ротора и системой управления.

3. Моментные вентильные электродвигатели с пониженными шумовыми характеристиками и повышенной точностью позиционирования.

На протяжении 10 лет АО «ЛЕПСЕ» занимается разработкой высокодинамичных электроприводов на базе вентильных электродвигателей. На рис. 1, 2 и 3 изображены высокодинамичные вентильные электродвигатели. Их технические характеристики представлены в табл. 1. Наиболее сложной задачей при

разработке данных электродвигателей и электроприводов являлось одновременное обеспечение высоких динамических показателей при небольших габаритах и массе и сильном ограничении по потребляемому току. Данная задача была решена путем применения методов многокритериальной оптимизации электродвигателя, а также имитационного моделирования всего электропривода с системой управления.

Таблица 1

Технические характеристики высокодинамичных электродвигателей АО «ЛЕПСЕ»

Технические характеристики	ДБУ60-4-3	ДБУ60-220-1	ДБУ38-200-11
Напряжение питания постоянного тока, В	270	27	54
Номинальная мощность, Вт	4800	220	254
Номинальный момент, Н·м	12,73	1,83	0,17
Частота вращения номинальная, об/мин	3600	1150	14000
Потребляемый ток, А	30	14	6,3
Время работы, с	3	10	400
Габариты, DxL (электродвигатель), мм×мм	65×189	65×53	38×47
Масса, кг	2,2	2,2	0,220
Электромеханическая постоянная, мс	1,4	0,7	3,6

Одним из наиболее перспективных направлений последних лет является разработка высокоскоростных электрических машин. На рис. 4 высокоскоростной вентильный электродвигатель постоянного тока. Его основные технические характеристики показаны в табл. 2. Электродвигатель имеет номинальную частоту вращения 72000 об/мин при полезной мощности 8 кВт, а также диапазон регулирования частоты вращения от 30000 до 75000 об/мин. В качестве опор использованы специальные радиально-упорные высокоточные шарикоподшипники отечественного производства. Электродвигатель используется в качестве испытательного оборудования как приводной электродвигатель для вращения перспективного высокоскоростного автономного генератора переменного тока.

Также электродвигатель может быть использован в технологическом оборудовании, например, в станках с ЧПУ. Электродвигатель работает в паре с микроконтроллерной системой управления. Наиболее сложной задачей при разработке данного электродвигателя было обеспечение необходимой механической прочности и долговечности конструкции, а также исследованиях вопроса резонанса конструкции. Задача прочности была решена путем применения комбинированного метода расчета прочности конструкции. Задачи долговечности конструкции и исследований резонанса были решены с помощью моделирования в ANSYS методом конечных элементов.

Таблица 2

Основные технические характеристики высокоскоростного вентильного электродвигателя ДБУ70-8-70

Технические характеристики	Значение
Напряжение питания постоянного тока, В	540
Номинальная мощность, Вт	8000
Номинальный момент, Н·м	1,07
Частота вращения номинальная, об/мин	72000
Потребляемый ток, А	20
Габариты, DxL, мм×мм	70×150
Масса, кг, не более	2,5
Режим работы	Продолжительный
Долговечность, ч, не менее	500

Еще одной перспективной разработкой являются моментные вентильные электродвигатели серии ДБМ. Общий вид 3d-моделей представлен на рис. 5. Технические характеристики представлены в табл.3. Наиболее сложной задачей при разработке данных электродвигателей было снижение шума, возникающего при работе данных электродвигателей. Данная задача была решена средствами программного обеспечения ANSYS путем оптимизации пазово-зубцовой зоны статора данных электродвигателей, а также путем снижения частоты вращения.

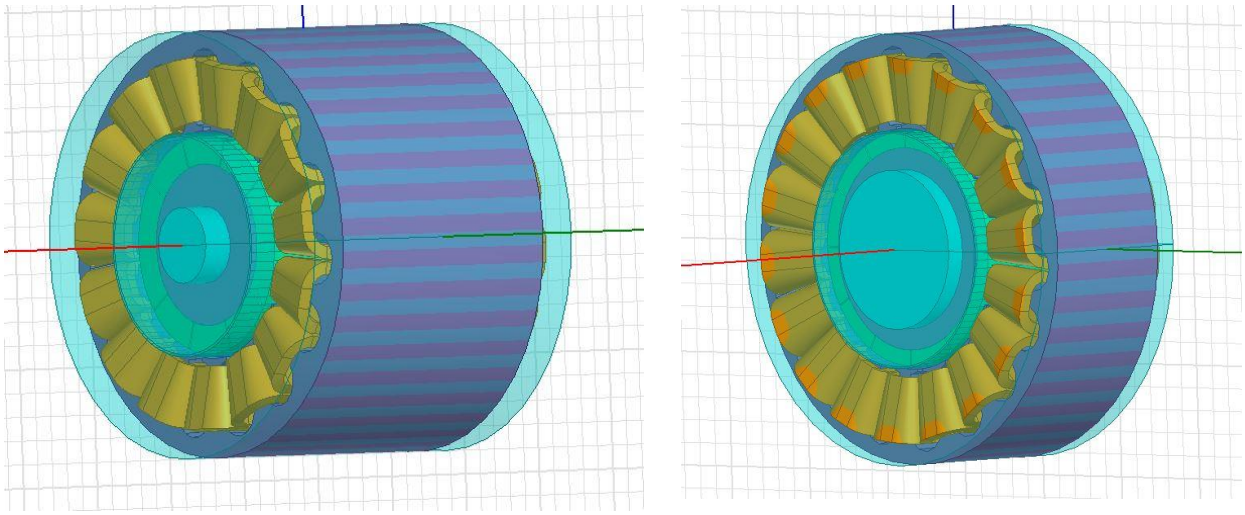


Рисунок 5. Моментные электродвигатели серии ДБМ

Таблица 3

Основные технические характеристики моментных электродвигателей ДБМ

Технические характеристики	ДБМ90	ДБМ190
Напряжение питания постоянного тока, В	175	175
Номинальная мощность, Вт	1000	400
Номинальный момент, Н·м	3,6	13,1
Частота вращения номинальная, об/мин	2900	300
Потребляемый ток, А	7	5
Габариты, DxL, мм×мм	90×100	190×90
Масса, кг	2,0	9,1

Полученные технические характеристики разработанных высокодинамичных электродвигателей подтверждены экспериментальным путем. В настоящее время разработан и изготовлен опытный образец высокоскоростного вентильного электродвигателя идут работы по его исследованию и испытаниям. Работы по моментным электродвигателям находятся в начальной стадии и проведено имитационное моделирование работы электродвигателя в составе системы.

Список литературы

1. Ишутинов В.В. Анализ и оптимизация вентильного электродвигателя для специального электропривода: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.09.01. М., 2015. 192 с.

2. Волокитина Е.В. Исследование и разработка быстродействующего вентильного электродвигателя органов управления новых самолетов: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.09.01. Чебоксары, 2006. 196 с.

Особенности разработки новых коллекторных электродвигателей постоянного тока на АО «ЛЕПСЕ»

В.В. Ишутинов[a], А.Н. Русских[b]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов, кандидат технических наук[a]
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a,b]

Аннотация: Коллекторные электродвигатели постоянного тока в настоящее время по-прежнему широко применяются в электрооборудовании различных объектов и систем спецтехники. Это обусловлено многолетним опытом их создания, а значит и отработанными технологиями, относительной простотой конструкции, а также рядом работ по повышению ресурса щеточно-коллекторного узла. Кроме того применение в них новых материалов: постоянных магнитов на основе редкоземельных элементов, прецизионных магнитомягких материалов, новых изоляционных материалов позволило достичь практически полного совершенства по техническим характеристикам и достичь практического предела в совершенствовании их конструкции. В данной статье описаны особенности вновь разрабатываемых новых коллекторных электродвигателей постоянного тока на АО «ЛЕПСЕ» как с постоянными магнитами, так и с электромагнитным возбуждением для объектов спецтехники.

Ключевые слова: коллекторные электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами, коллекторные двигатели с электромагнитным возбуждением, динамические, массогабаритные, энергетические показатели, кратковременный режим работы, двухскоростные электродвигатели.

В настоящее время одной из актуальных задач стоящих перед отечественными электромашиностроительными предприятиями является разработка специальных электроприводов и электрооборудования для различных систем и объектов. Как правило, в последнее время в таких системах стараются применять вентильные электродвигатели с постоянными магнитами, которые обладают рядом существенных преимуществ перед коллекторными электродвигателями постоянного тока.

Наиболее важными при этом преимуществами являются более высокая надежность, за счет отсутствия щеточно-коллекторного узла, лучшие, чем у коллекторных электродвигателей постоянного тока динамические показатели за счет использования постоянных магнитов на роторе вентильного электродвигателя и, следовательно, более низкого момента инерции вращающихся частей, а

также лучшие, чем у коллекторных электродвигателей постоянного тока энергетические и массогабаритные показатели за счет отсутствия щеточно-коллекторного узла.

Главным недостатком вентильных электродвигателей является их высокая стоимость по сравнению с коллекторными электродвигателями постоянного тока, которая в основном формируется за счет применения дорогих комплектующих в системе управления. В особенности проблема высокой стоимости системы управления проявляется в случае применения отечественной элементной базы: силовых ключей, микроконтроллера, датчиков и т.д. Коллекторные электродвигатели постоянного тока за счет десятилетиями отработанных методик расчета и проектирования, технологии изготовления, накопленного колоссального опыта по их изготовлению, наличия большого количества готовых конструктивных решений (коллекторов, суппортов, щеткодержателей), а также появления нового программного обеспечения для расчетов и моделирования и работ по совершенствованию щеточно-коллекторного узла имеют значительно (в несколько раз) меньшую стоимость, если используются в тех системах, которые не требуют сложных алгоритмов управления этими электродвигателями. Кроме того дополнительный импульс использованию и разработке новых коллекторных двигателей дает появление мощных постоянных магнитов и новых изоляционных материалов. Совместно с применениями методов автоматизированного проектирования и методов оптимизации это позволяет значительно улучшить массогабаритные и энергетические показатели коллекторных электродвигателей постоянного тока, а используя уже известные их преимущества: высокий пусковой момент и линейность характеристик, получить необходимые по техническому заданию характеристики системы, в которой применяется данный электродвигатель.

Как правило, специальные коллекторные электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами применяются в системах, где они работают в кратковременном или повторно-кратковременном режиме, в течение нескольких минут. При такой работе недостатки коллекторных электродвигателей, свя-

занные с износом щеточно-коллекторного узла нивелируются и на первый план выходят их преимущества: высокий пусковой момент, линейность механической характеристики. Кроме того в качестве преимущества можно отметить возможность работать при очень больших потребляемых токах в несколько сотен Ампер, что в свою очередь позволяет создавать достаточно мощные для специальных систем электродвигателем (до 10 кВт) даже при небольших напряжениях питания (18-27 В). Сравнение с вентильными электродвигателями показывает, что создать их на такие мощности достаточно проблематично в связи с ограничением по допустимому току для транзисторов до 100 А (в случае применения одиночных транзисторов) и до 300 А (в случае применения модулей, состоящих из нескольких транзисторов), если габаритны блока управления вентильным двигателем сильно ограничены и суммарные габариты системы вентильный электродвигатель и блок управления соизмеримы по размеру с коллекторным электродвигателем постоянного тока.

В настоящее время на АО «ЛЕПСЕ» при непосредственном участии автора ведется большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию коллекторных электродвигателей для специальных систем различного назначения в диапазоне мощностей от 1 Вт до 10 кВт и в диапазоне частот вращения от 3000 об/мин до 20000 об/мин, работающими как в продолжительном, так и кратковременном режимах работы.

Наибольший интерес представляют следующие направления разработок:

1. Высокодинамичные нереверсивные коллекторные электродвигатели постоянного тока с высококоэрцитивными постоянными магнитами, изготавливаемые в отдельном корпусе для гидравлических систем.

2. Двухскоростные нереверсивные коллекторные электродвигатели постоянного тока с электромагнитным возбуждением изготавливаемые в отдельном корпусе для гидравлических систем.

3. Реверсивные коллекторные электродвигатели постоянного тока с электромагнитным возбуждением для вращательных и поступательных электроприводов, работающие в режиме «от упора до упора».

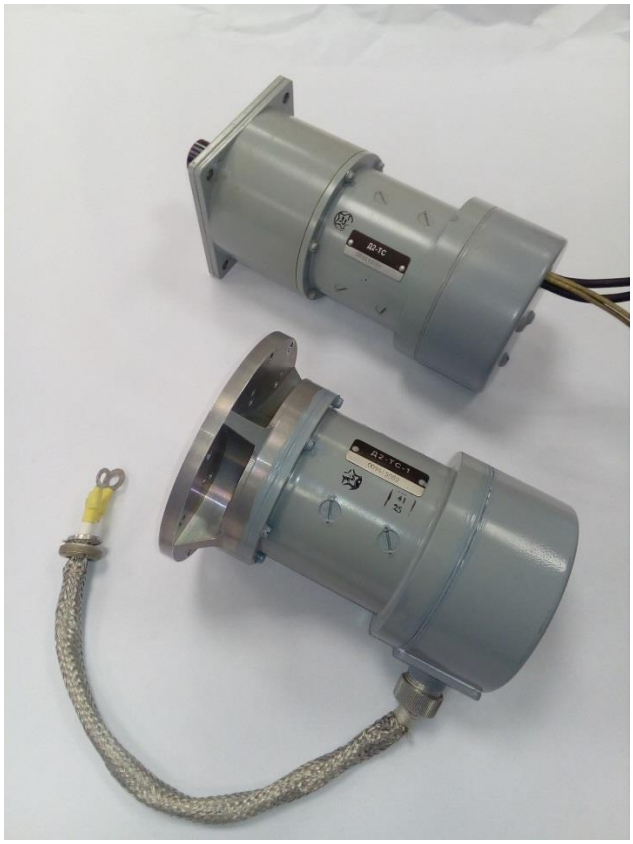


Рисунок 1. Высокодинамичные коллекторные электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами



Рисунок 2. Двухскоростной коллекторный электродвигатель постоянного тока с электромагнитным возбуждением

АО «ЛЕПСЕ» имеет огромный опыт по изготовлению и разработке коллекторных машин как постоянного, так и переменного тока. В последнее время одним из перспективных направления является разработка высокодинамичных электродвигателей для гидравлических систем. На рис. 1 представлены высокодинамичные нереверсивные коллекторные электродвигатели постоянного тока с высококоэрцитивными постоянными магнитами. В табл. 1 представлены основные технические характеристики данных электродвигателей. Наиболее сложной задачей при разработке данных электродвигателей было обеспечение требуемого диапазона частот вращения в диапазоне нагрузочных моментов, а также обеспечение требуемой электромеханической постоянной времени. Данные задачи были успешно решены путем применения методов многокритериальной оптимизации [Аветисян и др.], а также с помощью численного расчета магнитного поля в ANSYS.

Таблица 1

Технические характеристики высокодинамичных коллекторных электродвигателей постоянного тока с постоянными магнитами

Технические характеристики	Д2	Д2-1
Напряжение питания постоянного тока, В	27	65
Номинальная мощность, Вт	2000	5000
Номинальный момент, Н·м	2,4	2,8
Частота вращения номинальная, об/мин	8000	17000
Потребляемый ток, А, не более	50	100
Время работы, с, не более	100	50
Габариты, DxL, мм×мм	100x220	100x180
Масса, кг, не более	6	4
Электромеханическая постоянная, мс	100	

Также большой интерес представляют работы по созданию двухскоростных электродвигателей для гидравлических систем. Две скорости обеспечиваются за счет обмотки возбуждения с дополнительным выводом. На рис. 2 представлен двухскоростной коллекторный электродвигатель постоянного тока с электромагнитным возбуждением. В табл. 2 представлены его основные технические характеристики. Наиболее сложной задачей при разработке данного электродвигателя было обеспечение оптимальных рабочих характеристик в двух разных режимах: при одинаковом нагрузочном моменте частота вращения в режиме 1 и в режиме 2 отличается практически в два раза. Также необходимо обратить внимание, что при таких рабочих характеристиках необходимо было обеспечить возможность работы в продолжительном режиме. Таким образом, по тепловому режиму электродвигатель должен быть рассчитан с запасом как на режим 1, так и на режим 2. Данные задачи были успешно решены путем применения методов многокритериальной оптимизации, а также с помощью междисциплинарного численного расчета магнитного и теплового поля в ANSYS.

Таблица 2

Технические характеристики двухскоростного коллекторного электродвигателя постоянного тока

Технические характеристики	Режим 1	Режим 2
Напряжение питания постоянного тока, В	27	27
Номинальная мощность, Вт	60	120
Номинальный момент, Н·м	0,12	
Частота вращения номинальная, об/мин	4800	9000
Потребляемый ток, А, не более	4	8
Время работы, ч	500	300
Масса, кг, не более	1,5	

Достаточно перспективной является тема разработки реверсивных коллекторных электродвигателей постоянного тока с электромагнитным возбуждением для крановых вращательных и поступательных электроприводов, работающих в режиме «от упора до упора». Актуальность и практическая значимость данной темы обуславливается требованиями со стороны различных отраслей промышленности дешевых крановых электроприводов для повышения автоматизации на различных объектах применения, где эти задачи выполнялись непосредственно с помощью рабочего персонала [Горелов, Болдырев]. Задача разработки дешевых крановых электроприводов может быть решена только за счет применения в этих электроприводах простых, проверенных временем, отработанных десятилетиями технологий. В настоящее время к таковым относиться технология изготовления коллекторных электродвигателей постоянного тока с электромагнитным возбуждением. Применение того или иного типа электродвигателя во многом определяет концепцию построения всего электропривода, а значит и его цену. В связи с этим при разработке данных электродвигателей и электроприводов наиболее сложными задачами были следующие: во-первых, обеспечение требований технического задания по рабочим характеристикам, и, во-вторых, обеспечение требуемых технико-экономических показателей. Эти задачи были успешно решены за счет применения методов много-

критериальной оптимизации [Березовский и др.] в ANSYS. В табл. 3 представлены основные технические характеристики одного из разработанных коллекторных электродвигателей.

Таблица 3

Технические характеристики реверсивного коллекторного электродвигателя постоянного тока с электромагнитным возбуждением

Технические характеристики	Значение
Напряжение питания постоянного тока, В	27
Номинальная мощность, Вт	60
Номинальный момент, Н·м	0,044
Частота вращения номинальная, об/мин	13000
Потребляемый ток, А	5
Габариты, DxL, мм×мм	50×70
Масса, кг, не более	2
Режим работы	Повторно-кратковременный
Долговечность, ч, не менее	50

Таким образом, в настоящее время по-прежнему имеется потребность отечественной промышленности в коллекторных электродвигателях постоянного тока, кроме того требуются электродвигатели с новыми и часто противоречивыми характеристиками, что говорит об актуальности работ в области их расчетов, оптимизации, проектирования, изготовления и испытаний.

Список литературы

1. Физическая модель износа токоведущих щеток. / Изотов А.И. и др. // Общество, наука, инновации (НПК-2014): сб. материалов, Киров, 2013. – с 2028-2031.

2. Аветисян Д.А., Соколов В.С., Хан В.Х. Оптимальное проектирование электрических машин на ЭВМ. М.: «Энергия», 1976. 208 с.

3. Березовский Б.А., Барышников Ю.М., Борзенко В.И., Кепнер Л.М. Многокритериальная оптимизация / Математические аспекты. М.: Наука, 1986. 128 с.

4. Горелов В.А., Болдырев О.Н. ЦКБА. Новое оборудование и перспективные направления в арматуре для военно-морского флота // Трубопроводная арматура и оборудование. – №4 – 2013.

Выявление эффективных генетических вариантов мутаций для точной медицины

Канищев И. С.[a], Ростовцев В.С.[b]
аспирант, кафедра ЭВМ[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: kanishchev.ilya@gmail.com, rostov_kirov@mail.ru

Аннотация: В течение последних нескольких лет было много сказано о том, как точная медицина и, более конкретно, как генетическое тестирование будет способствовать методам лечения заболеваний, таких как рак. Однако продвижение в этой области происходит мелкими шагами из-за огромного объема ручной работы. После секвенирования раковая опухоль может иметь тысячи генетических мутаций. Основная задача состоит в том, чтобы отличить мутации, которые способствуют росту опухоли от нейтральных мутаций. В настоящее время эта интерпретация выполняется вручную. Интеграция и манипулирование различными геномными данными и обширными электронными системами здравоохранения (EHR) на большой инфраструктуре данных может обеспечить эффективный способ выявления возможных генетических вариантов для персонализированных методов лечения и снижения затрат на здравоохранение. Немалую помощь в классификации генетических мутаций может оказать применение современных компьютерных технологий. Автоматизированный подход позволит объединить многолетний опыт работы в этой области.

Ключевые слова: глубокое обучение, точная медицина, наивный байесовский классификатор, генетические мутации, геномные данные.

Высокопроизводительная технология геномики сделала возможной эпоху точной медицины, которая включает в себя интеграцию генетических данных, образа жизни и окружающей среды пациента, а затем сравнение этих данных с аналогичными данными, собранными для тысяч других людей, для прогнозирования болезни и определения наилучшего метода лечения. Точная медицина направлена на то, чтобы адаптировать медицинское обслуживание, используя действующие геномные мутации для руководства профилактическими вмешательствами и принятием клинических решений [Vassy, с.1-3].

За последние 25 лет на генетическом уровне изучалось более 4000 менделевских расстройств [Brunham, с. 603-607]. Более 80 миллионов генетических вариантов были обнаружены в геноме человека [Abecasis, с. 1061–1073]. Исследования клинической фармакологии с использованием электронных систем

здравоохранения (EHR) в последнее время стали осуществимыми, поскольку EHR были реализованы более широко [Abecasis2010, с. 56-65].

В течение последних нескольких лет исследователи мирового уровня в Мемориальном онкологическом центре имени Слоуна-Кеттеринга (MSKCC) работали над созданием базы данных, основанной на аннотированных знаниях онкологов [5]. Онкологический центр имени Слоуна-Кеттеринга в Нью-Йорке – один из старейших и крупнейших центров с подобной медицинской специализацией в мире. Более 100 лет в центре проводятся диагностика и лечения всех видов раковых заболеваний у взрослых и детей.

При предполагаемом клиническом секвенировании опухолей, являющихся основой для лечения рака, существует срочная потребность в вспомогательном инструменте, который переводит последствия, связанные с конкретными событиями мутаций, в стандартизованный и легко интерпретируемый формат. С этой целью была разработана OncoKB [Chakravarty], база данных, основанная на экспертных по онкологии.

OncoKB аннотирует биологические и онкогенные эффекты, а также прогностическую значимость соматических молекулярных изменений. Потенциальные последствия для лечения стратифицированы по уровню доказательств того, что конкретное молекулярное изменение является прогнозирующим ответом на лекарственные средства на основе маркировки пищевых продуктов и лекарственных средств США, национальных рекомендаций по комплексной онкологической сети, рекомендаций групп экспертов, ориентированных на болезни, и научной литературы [Chakravarty].

На сегодняшний день аннотируется около 3 000 уникальных мутаций. Чтобы проверить полезность OncoKB, были аннотировали все геномные события в 5 983 первичных опухолевых образцах в 19 типах рака. Сорок один процент проб содержал по крайней мере одно потенциально изменяемое действие, из которых 7,5% были предсказаны клинической выгодой от стандартной обработки.

OncoKB, всесторонняя и кураторская база знаний по онкологии, предлагает онкологам подробную, основанную на доказательствах информацию о индивидуальных соматических мутациях и структурных изменениях, присутствующих в опухолях пациентов, с целью поддержки оптимальных решений о лечении.

Для решения поставленных задачей необходимо одновременно обработать две базы данных (одну для генерации специализированного словаря, а другую - для извлечения признаков из клинических доказательств, представленных в форме обычного текста). Обе связаны через поле ID (идентификатор строки, используемый для связывания генетических мутаций с клиническими данными).

В результате первоначальной обработки и с помощью общих инструментов визуализации представленных данных были выявлены следующие значимые факторы:

1. В учебном наборе имеется 3321 разных идентификаторов, содержащих 264 разных выражения генов с 2996 различными вариациями. Существует 9 разных классов, обозначенных целыми уровнями.

2. Функции Gene и Variation содержат символьные строки различной длины.

3. На 70% больше тестовых данных, чем данные для обучения. Описание данных говорит нам, что «некоторые из тестовых данных генерируются искусственным путем для предотвращения маркировки вручную».

4. Наиболее часто встречаемые гены в тренировочных и тестовые данные совершенно разные. Кроме того, данные испытаний, по-видимому, содержат значительно более разные гены и меньшее количество высокочастотных генов, чем данные для обучения. В какой-то степени это может быть результатом добавления машинных файлов в тестовые данные (путем добавления множества разных случайных уровней). Таким образом, разница в частоте может отражать истинную долю эффективных тестовых данных по данным для обучения. Напротив, наиболее частые вариации в тренировочных и тестовых данных в

значительной степени идентичны; хотя, соответствующие частоты ниже в тестовых данных (в 5 - 10 раз).

В качестве базовой модели предлагается использовать байесовскую логистическую регрессию [Chen, с133-155]. Байесовский вывод в настоящее время представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в статистике и анализе данных. Одним из его преимуществ для данной задачи является то, что на выходе модели имеются не конкретные значения искомых параметров, а некоторое их распределение, что позволяет более эффективно оценивать неопределенность конечного результата.

Для нахождения апостериорного распределения параметров необходимо задать априорные вероятностные распределения параметров модели и функцию правдоподобия. Апостериорное распределение модели может быть использовано, чтобы сгенерировать новые данные с учетом прошлых наблюдений и также делать предсказания. Это производится путем вычисления правдоподобия для новых данных, усредняя по каждому множеству скрытых переменных в соответствии с апостериорным распределением.

$$p(\theta|Data) = \frac{p(Data|\theta)*p(\theta)}{\int p(Data|\theta)*p(\theta)d\theta}, \text{ где} \qquad 1)$$

$p(\theta|Data)$ – апостериорная вероятность, $p(Data|\theta)$ – функция правдоподобия, $p(\theta)$ – априорная вероятность.

Вторым шагом является Байесовский вывод – нахождение апостериорного распределения параметров, используя наблюдаемые данные. Для этого предлагается использовать алгоритм Метрополиса-Хастинга [Metropolis, с. 1087 - 1092], предварительно произведя оценку апостериорного максимума, чтобы ускорить сходимость к апостериорному распределению и снизить негативный эффект от случайного блуждания.

Для каждого идентификатора (поле ID) в тестовом наборе необходимо предсказать вероятность принадлежности к одному из 9 классов. Алгоритм оценивается с помощью логарифмической функции потерь нескольких классов.

$$logloss = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} y_{ij}\log(p_{ij}),$$ где 2)

N - данные в тестовом наборе, M - идентификаторы, с верно указанным классом. Натуральный логарифм $\log(p_{ij})$ равен 1, если наблюдение состоит в классе j и 0 в противном случае, p_{ij} – предсказанная вероятность, что ID относится к классу j. Предсказанная вероятность должна находиться в диапазоне $[0;1]$.

Результат использование базовой модели и нескольких других алгоритмов для сравнения результатов и времени, потраченного на обработку, представлены на рис. 1.

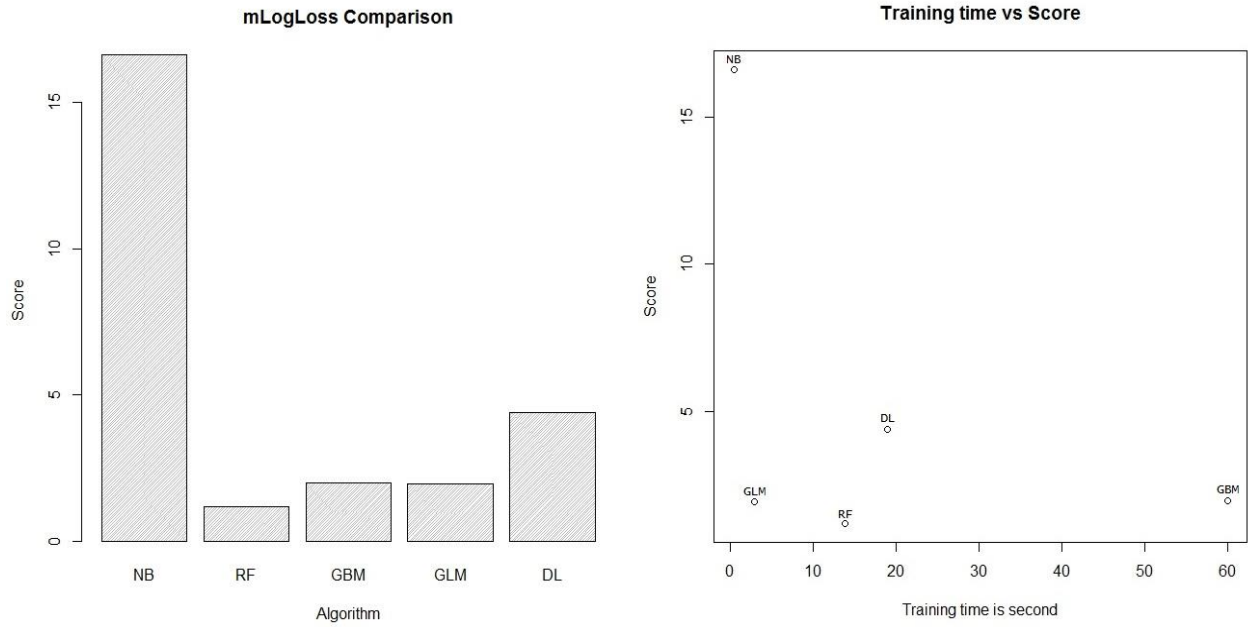


Рисунок 1. Первоначальные результат работы различных алгоритмов

Таким образом, можно сказать, что байесовская логистическая регрессия является наиболее быстрым среди всех представленных алгоритмов. Тем не менее, другие методы, несомненно, также являются привлекательными при более чувствительной настройке.

Список литературы

1. Vassy J. L., Korf B. R., Green R. C. How to know when physicians are ready for genomic medicine. //Science Translational Medicine. 2015. Vol. 7, I. 287. P.1-3. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/14b3/130ac78a4d55a8ae9436a2c4df48b.pdf (date of application 25.01.2018).

2. Brunham L. R., Hayden M. R. Hunting human disease genes: lessons from the past, challenges for the future. //Human Genetics. 2013. Vol. 132. I. 6. P. 603-607. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23504071. (date of application 12.01.2018).

3. A map of human genome variation from population-scale sequencing. /Abecasis G. et al. //Nature. 2010. Vol.467. P.1061–1073.

4. An integrated map of genetic variation from 1,092 human genomes. /Abecasis G. et al. //Nature. 2010. Vol.491. P.56–65.

5. OncoKB: A Precision Oncology Knowledge Base. / Chakravarty D. et al. // JCO Precision Oncology. 2017. Nov. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov /pubmed/28890946 (date of application 25.01.2018).

6. Chen, M.-H., Dey, D. K. Bayesian analysis for correlated ordinal data models. //In Generalized Linear Models: A Bayesian Perspective. New York: Marcel Dekker. 2000. P.133-155.

7. Equations of stafe Colculations by fast computing machines. / Metropolis N. et al. //Phys. Vol. 21. 1953. P. 1087-1092.

Разработка мобильного приложения «Активный студент» под ОС Android

Караваева О.В[a]., Бухмиллер А.В.[b]
старший преподаватель кафедры ЭВМ[a]
студент кафедры ЭВМ[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: kov_kirov@mail.ru[a], albukhmiller@yandex.ru[b]

Аннотация: В рамках данной статьи рассматривается проблема разработки клиент-серверного приложения «Активный студент» для операционной системы «Android», направленное на повышение комфорта проживания студентов в общежитиях университета через установление гибкого взаимодействия студентов и администрации студгородка. Данное приложение позволяет студенту оперативно сообщить о возникшей проблеме. Выбранная тема является актуальной, так как состояние общежитий является важным аспектом при выборе высшего учебного заведения для иногородних абитуриентов. Поставленная цель достигается путем разработки серверной и клиентской части приложения. В статье предложен механизм пересылки в сообщении фотографии и способ ее хранения. Кроме того, описан механизм распределения ответственности в случае ненадлежащего рассмотрения заявки. В будущем данное приложение можно масштабировать на весь университет.

Ключевые слова: клиент-серверная архитектура, мобильное приложение рассмотрение заявки, распределение ответственности.

В связи с развитием вычислительной техники, в частности с появлением Интернета, стало возможным удаленное предоставление услуг в различных сферах деятельности человека [1]. В настоящее время приложения для интернет-покупок или оплаты различных платежей имеют большое влияние на жизнь человека, позволяя экономить его ресурсы, например, время.

Перед разработкой приложения необходимо провести анализ предметной области и рассмотреть существующие аналоги. В сфере взаимодействия населения и органов власти различных уровней наблюдается тенденция перевода бумажных писем с обращениями в электронный формат [2]. Человек при необходимости может обратиться в конкретный орган власти, не выходя из дома, по пути на работу, или находясь в путешествии, через приложение, тем самым не тратя время на дорогу и ожидание в очереди. В настоящее время разработано большое количество программ, направленных на решение данной проблемы. Основное назначение данных приложений – устранение нарушений в различ-

ных сферах городского хозяйства. Некоторые программы предусматривают функционал для проведения голосования за предлагаемые инициативы [3].

Такой метод построения взаимодействия применяется и в сфере образования. В последние годы активно разрабатываются приложения для обеспечения контакта между студентами, абитуриентами и высшим учебным заведением. Благодаря этому, студенты имеют возможность более активного участия в образовательном процессе через прохождение разного рода анкетирования и предложение своих инициатив для повышения качества и комфорта обучения. Абитуриенты, находящиеся в другом городе, могут получить информацию об интересующем его высшем учебном заведении и выбрать специальность. Администрация в свою очередь на основе результатов анкет и предложений студентов могут корректировать образовательный процесс для повышения уровня удовлетворенности учащихся.

Одной из основных составляющих при выборе высшего учебного заведения для иногородних студентов является наличие и состояние общежитий. Для постоянного улучшения качества проживания общежития было предложено разработать приложение, направленное на установление более гибкого взаимодействия между студентами и администрацией студгородка.

В данной статье предлагается решение проблемы повышения комфорта проживания студентов в общежитиях университета с помощью разработки клиент-серверного приложения «Активный студент» для операционной системы Android. Для достижения поставленной цели необходимо решить две глобальные задачи – это реализация серверной и клиентской части приложения. Сервер реализует интерфейс работы с базой данных, а также взаимодействует с облачным хранилищем для работы с файлами. В базе данных должна храниться информация о студенте, рабочем персонале студгородка, а также все сообщения о нарушениях от студентов. Клиентская часть отвечает за реализацию пользовательского интерфейса для работы с данными, находящимися на сервере.

Основными задачами при реализации серверной части – это выбор системы управления базой данных (СУБД) и реализация CRUD-интерфейса при ра-

боте с данными. Поскольку база данных обладает небольшим количеством связей, для решения задачи хорошо подойдет документоориентированная СУБД, обладающая более лучшей масштабируемостью, высоким быстродействием и удобством в применении [Долженкова, с.15-19].

Основная проблема при реализации механизма работы с данными на стороне сервера заключается в том, что в сообщении студент может прикрепить одну или более фотографий. Таким образом, возникает вопрос о том в каком формате и где хранить изображения. Было рассмотрено два варианта решения:

1) сохранение изображения в базе данных в закодированном виде;
2) сохранение фотографии в облачном хранилище.

Недостатком первого способа является то, что при сохранении одного изображения в базу данных сильно увеличивается размерность одной записи, а фотографий может быть несколько. Таким образом, выбран способ сохранения фотографии в облачном хранилище, а в базе данных предлагается хранить лишь ссылку на соответствующую фотографию. Такой способ не увеличивает размерность записи, кроме того, данные, пересылаемые от сервера клиенту, имеют небольшой размер. Для наглядного отображения перемещения данных и их обработки в разрабатываемой системе построена DFD (Data Flow Diagram). Кроме того, DFD позволяет выявить ошибки организации бизнес-процессов на этапе проектирования. Диаграмма потоков данных представлена на Рис. 1.

При реализации клиентской части основной задачей является разработка интерфейса взаимодействия с данными, расположенными на сервере, с разделением ролей. Всего имеется две роли – студент и рабочий персонал.

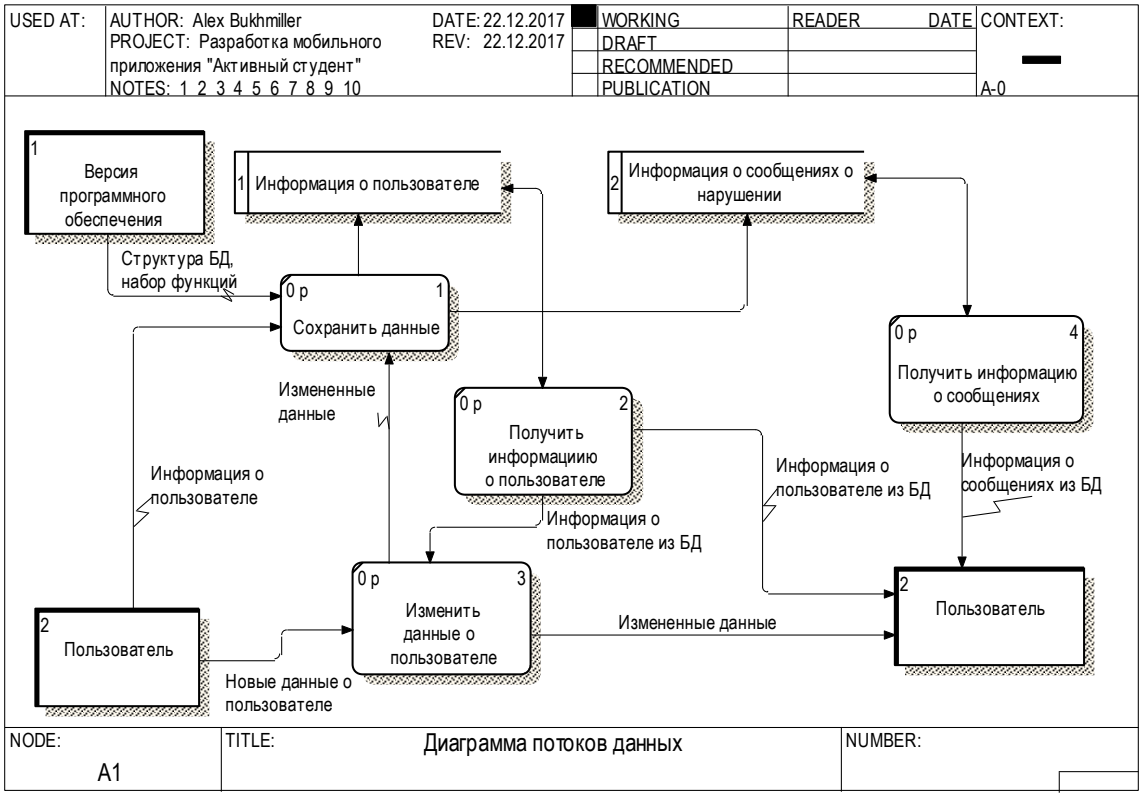


Рисунок 1. Диаграмма потоков данных

Сообщение о нарушении должно включать имя отправителя, время поступления и выполнения, подробное описание нарушения (может быть выбрано из списка категорий, либо проблема может быть описана вручную), место нарушения, а также предусматривается возможность добавления одной или более фотографий для конкретизации.

Функционал для студента должен включать механизм отправки сообщения о нарушении и отслеживания статуса заявки. Также необходимо предусмотреть возможность изменения статуса выполненной заявки на «обрабатывается» в случае, если студент недоволен качеством устранения нарушения. Аутентификация студента производится через личный кабинет университета.

Для рабочего персонала необходимо разработать функционал для получения заявки с сервера, а также изменения статуса заявки на сервере «выполнено». Стоит отметить, что необходимо отображать только те заявки, которые находятся в компетенции конкретного специалиста. Аутентификация работни-

ков будет производиться так же, как и для студентов, через личный кабинет университета.

Основной проблемой при разработке является вопрос о том, как обеспечить обязательное рассмотрение и выполнение всех заявок от студентов. Первоначально необходимо внести в должностную инструкцию обязанность обязательного рассмотрения поступающих заявок. На рассмотрение сообщения отводится пять дней. Предполагается, что за это время нарушение будет устранено. В случае, если специалист изменил состояние заявки на «выполнено», а студент не согласен с результатом, то он может изменить состояние на «обрабатывается» для повторного вызова специалиста. Если же после повторных работ результат вновь не удовлетворил заявителя, или рассмотрение заявки рассматривается больше отведенного времени, то сообщение пересылается директору студгородка. Кроме того, аутентификация через личный кабинет университета позволяет определять как отправителя сообщения, так и работника.

Для поддержания высокого качества разрабатываемого программного обеспечения необходимо выполнять его тестирование [Strabykin, с.203]. В данном приложении можно выделить следующие крупные этапы проектирования, на которых необходимо провести верификацию:

1) тестирование удобства навигации;
2) тестирование пересылки данных;
3) тестирование защиты данных;
4) тестирование орфографии и пунктуации.

Выявленные в ходе тестирования ошибки подлежать обязательному исправлению. Диаграмма в нотации IDEF3 для наглядного описания данного процесса представлена на Рис. 2.

Таким образом, данное приложение позволяет повысить уровень комфорта для студентов, проживающих в общежитиях университета, за счет гибкого взаимодействия между учащимися и рабочим персоналом студгородка.

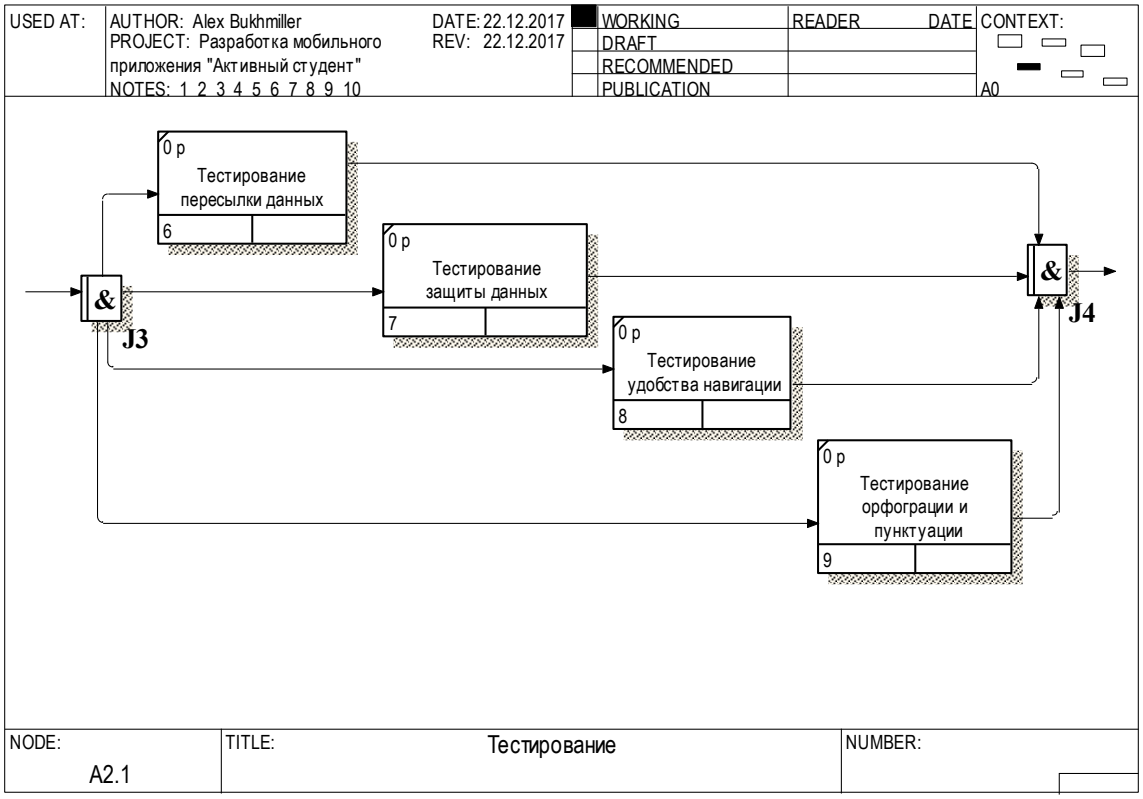


Рисунок 2. Тестирование приложения

Такой метод позволяет студенту сообщить о проблеме более оперативно, так как студент может сделать заявку, находясь в общежитии, в дороге или на учебе. Механизм распределения ответственности гарантирует быстрое рассмотрение и ликвидацию нарушения. За счет повышения уровня благоустройства общежитий улучшается и имидж университета в целом.

Список литературы

1. Кировская область — портал обратной связи Киров [Электронный ресурс] – Режим доступа: *http://vmestekirov.ru*, свободный. – Загл. с экрана.

2. Наш Санкт-Петербург [Электронный ресурс] – Режим доступа: *http://gorod.gov.spb.ru*, свободный. – Загл. с экрана.

3. Активный гражданин [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://ag.mos.ru*, свободный. – Загл. с экрана.

4. Долженкова, М.Л. Использование CASE-средств для проектирования информационных систем: Учебное пособие/ М.Л. Долженкова, О.В. Караваева. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2007. – 73 с.

5. Strabykin D., Meltsov V., Dolzhenkova M., Chistyakov G., Kuvaev A. Formal verification and accelerated inference//Advances in Intelligent Systems and Computing. -2016. -T. 464. -C. 203-211.

Разработка программной имитационной модели системы передачи данных

Караваева О.В.[a], Курдюмов В.Ю.[b],
старший преподаватель кафедры ЭВМ[a]
студент кафедры ЭВМ[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: kov_kirov@mail.ru[a], snumrik_i380@mail.ru[b]

Аннотация: Программная имитация и моделирование систем передачи данных, является темой, обобщающей несколько разделов из области телекоммуникаций, таких как аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, криптография, помехоустойчивое кодирование информации, модулирование и демодулирование сигнала. В то же время данная тема демонстрирует приложение к этой области метода математического моделирования, который является универсальным методом представления реальности в виде, удобном для изучения конкретных явлений, законов и свойств предметов, изучение которых методом эксперимента было бы затруднительно либо невозможно вовсе. Актуальность выбранной темы состоит в том, что при проектировании системы связи возникает задача обеспечения передачи информации по каналу связи за заданное время с достоверностью, не хуже заданной. Одна из основных проблем, возникающих при решении этой задачи, состоит в неидеальности любого канала связи и среды передачи: в каналах действуют помехи различной физической природы, в результате чего происходит искажение сигнала. Для решения задачи повышения помехоустойчивости используются различные алгоритмы помехоустойчивого кодирования. Кроме того, различные способы модуляции обладают различной степенью защищенности от воздействия помех. Поэтому важно обоснованно выбрать способ модуляции и помехоустойчивого кодирования уже на этапе проектирования системы. Для этих целей широко используются методы математического (компьютерного) моделирования.

Ключевые слова: передача данных, помехоустойчивое кодирование, помехи в канале связи, моделирование.

Программное моделирование систем передачи данных, является темой, обобщающей несколько разделов из области телекоммуникаций, таких как аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, криптография, помехоустойчивое кодирование информации, модулирование и демодулирование сигнала [1]. Главная задача данного этапа исследований состоит в создании программы, которая обеспечивала бы имитацию процессов обработки цифровых данных на передающей стороне, имитацию помеховой обстановки в канале связи и имитацию действий, направленных на восстановление сообщения на при-

емной стороне [Васильев, с.56-68]. Причем, учитывая, что разработка систем связи в настоящий момент, как правило, осуществляется с применением Unix-подобных ОС, решено было разрабатывать программу на языке C++ с использованием кроссплатформенного фреймворка Qt с открытым исходным кодом [3], позволяющего собрать исполняемый модуль под большинство современных ОС [Шлее, с.56-64].

В рамках данного этапа решено было ограничиться следующим набором разрабатываемых и реализуемых алгоритмов и методов [Блейхут, с.12-65]:

– шифрование методом гаммирования (опционально);

– помехоустойчивое кодирование с использованием циклического избыточного кода;

– амплитудная, частотная и фазовая модуляция.

В качестве модели помех в канале связи рассматривались такие типы помех как белый шум и помеха вслед.

Под гаммированием понимают процесс наложения по определенному закону последовательности двоичных чисел (гаммы) на открытые данные [Сергиенко, с.126]. Гамма – это псевдослучайная последовательность (ПСП), выработанная по заданному алгоритму для шифрования открытых и дешифрации зашифрованных данных. Для генерации гаммы используется ключ, состоящий из двух компонент – это первые n элементов ПСП, и последовательность из n элементов, используемая для дальнейшей генерации последовательности.

Если период гаммы превышает длину всего шифруемого текста и злоумышленнику неизвестна никакая часть исходного текста, то такой шифр можно раскрыть только прямым перебором всех вариантов ключа. В этом случае криптостойкость шифра определяется длиной ключа.

Помехоустойчивое кодирование производилось с помощью циклического избыточного кода (англ. Cyclic redundancy check, CRC) — алгоритма вычисления контрольной суммы, предназначенного для проверки целостности передаваемых данных. Алгоритм CRC обнаруживает все одиночные ошибки, двойные ошибки и ошибки в нечетном числе битов [7].

Поскольку параметры разрабатываемой системы передачи данных являются конфиденциальной информацией, принадлежащей разработчику, хранение их в открытом виде недопустимо [8]. Поэтому для хранения параметров модуляции и канала связи было решено использовать базу данных. Используемая СУБД должна была удовлетворять общему требованию о кроссплатформенности приложения, то есть поддерживать большинство ОС, под которые может быть скомпилирована программа. Кроме того, взаимодействие с этой СУБД не должно было сильно усложнять и замедлять программу, так как хранение и работа с данными не входит в основной функционал разрабатываемого продукта.

Под эти требования хорошо подошла СУБД SQLite – компактная кроссплатформенная встраиваемая реляционная СУБД с открытым исходным кодом [9]. SQLite не использует парадигму клиент-сервер, а представляет собой библиотеку, с которой компонуется программа. Такой подход уменьшает накладные расходы, время отклика и упрощает программу.

Пользовательский интерфейс состоит помимо основной формы, еще из двух форм: формы настроек параметров модуляции и канала связи и формы настроек интерфейса. Кроме того, предоставляется справка к программе, написанная на языке html. Обрабатывается изменение размера окна, предусмотрено перераспределение рабочего пространства внутри окна с помощью элемента «сплиттер». График сигнала является масштабируемым. Возможна настройка цвета и толщины линии графика, цвета фона.

Также настраиваются цвет фона и шрифт текстового поля. Все настройки сохраняются при выходе из программы. Содержимое текстового поля может быть сохранено в файл. Пример работы программы при запуске под управлением ОС Windows 7 представлен на Рис. 1.

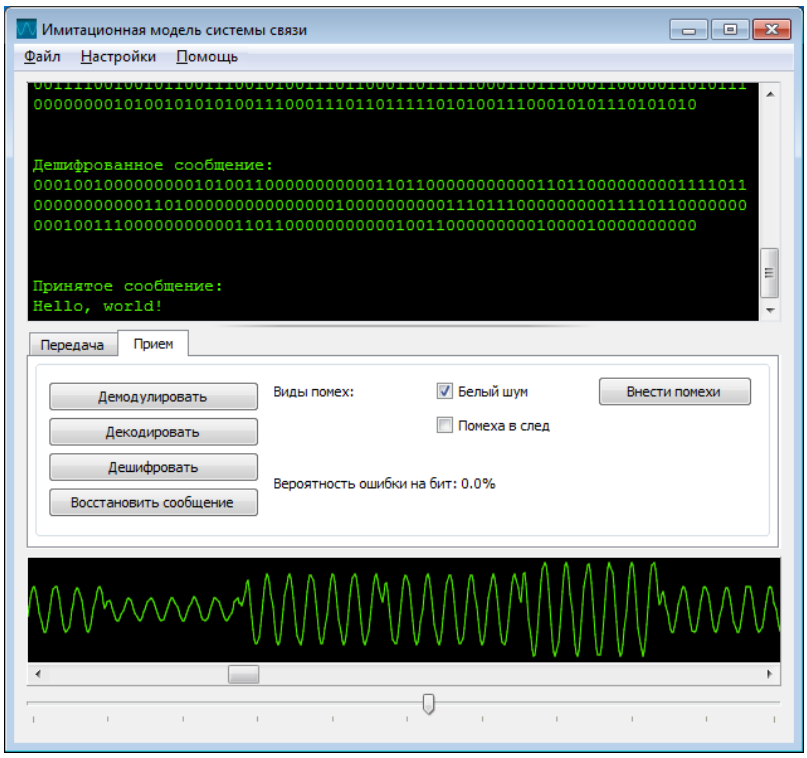


Рисунок 1. Пример работы программы под управлением ОС Windows

Пример работы программы при запуске под управлением ОС Ubuntu 14.04 представлен на Рис. 2.

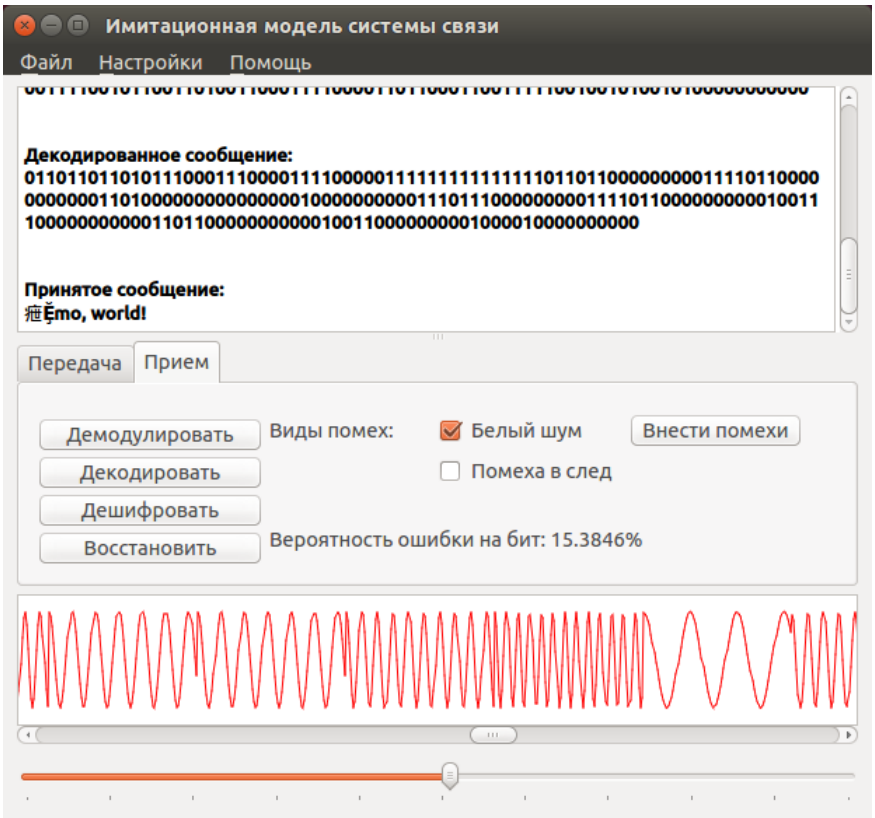


Рисунок 2. Пример работы программы под управлением ОС Ubuntu

Моделирование процесса модуляции и демодуляции сигнала в программе производится с использованием быстрого вычисления отсчетов гармонического сигнала, сигнал выводится на экран в графическом виде. При демодуляции вектор полученного сигнала сравнивается с векторами эталонных сигналов либо по модулю (если производилась амплитудная модуляция), либо сравнивается угол между векторами (если производилась частотная или фазовая модуляция). Путем увеличения количества реализуемых способов шифрации, кодирования, модуляции, а также моделей помех в канале связи проект может расширяться, становясь все более универсальным.

Список литературы

1. Алгоритмы и методы. URL: http://algolist.manual.ru/ (дата обращения 23.12.2017).
2. Васильев К. К., Служивый М. Н. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие. 2-изд., перераб. и доп. Ульяновск : УлГТУ, 2010. 170с.
3. Cross-platform software development for embedded & desktop. URL: https://www.qt.io/ (date of application 23.01.2018).
4. Шлее М. Qt. Профессиональное программирование на C++. СПб. : БВХ-Петербург, 2005. 544 с.
5. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М. : Мир, 1989. 448 с.
6. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб. : Питер, 2002. 608 с.
7. On-line CRC calculation and free library. URL: https://www.lammertbies.nl/comm/info/crc-calculation.html (date of application 25.01.2018).
8. Communications System Toolbox. URL: https://www.mathworks.com/products/communications.html (date of application 24.10.2017).
9. About SQLite. URL: http://www.sqlite.org/about.html (date of application 25.12.2017).

Применение системы 1С:Предприятие при разработке программного обеспечения для автоматизации деятельности предприятия

Кашина Е.В.
старший преподаватель кафедры прикладной информатики
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
usr11729@vyatsu.ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы применения системы 1С:Предприятие при разработке программного обеспечения для автоматизации деятельности предприятия. Современный развивающийся мир с каждым днём предъявляет всё новые требования к автоматизации деятельности предприятий. Ещё недавно реализация автоматизированного ведения бухгалтерского и оперативного учёта считалась высоким уровнем внедрения новых технологий на предприятии. Сдача отчётности фирмами велась на бумажных носителях, большинство организаций в любой сфере вели свою деятельность с минимальным применением вычислительной техники, а персональные компьютеры использовались в качестве печатающих машинок. Сфера информационных технологий и систем не стоит на месте, и в наше время деятельность практически любой организации немыслима без внедрения систем высокого уровня автоматизированного ведения учёта. При желании автоматизации какого-либо из бизнес-процессов предприятия, перед его сотрудниками встаёт вопрос о поиске и выборе готовой информационной системы или разработке новой с учётом своих задач и требований. Рассмотрим решение этого вопроса в случае, когда в организации уже применяется система 1С:Предприятие для ведения, например, только бухгалтерского учёта.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, конфигурация, платформа, метаданные.

Современный развивающийся мир с каждым днём предъявляет всё новые требования к автоматизации деятельности предприятий. Ещё недавно реализация автоматизированного ведения бухгалтерского и оперативного учёта считалась высоким уровнем внедрения новых технологий на предприятии. Сдача отчётности фирмами велась на бумажных носителях, большинство организаций в любой сфере вели свою деятельность с минимальным применением вычислительной техники, а персональные компьютеры использовались в качестве печатающих машинок. Сфера информационных технологий и систем не стоит на месте, и в наше время деятельность практически любой организации немыслима без внедрения систем высокого уровня автоматизированного ведения учёта.

При желании автоматизации какого-либо из бизнес-процессов предприятия, перед его сотрудниками встаёт вопрос о поиске и выборе готовой информационной системы или разработке новой с учётом своих задач и требований. Рассмотрим решение этого вопроса в случае, когда в организации уже применяется система 1С:Предприятие для ведения, например, только бухгалтерского учёта.

Разработку автоматизированной информационной системы для такой организации лучше проводить в уже применяемой в бухгалтерии системе 1С:Предприятие, с целью дальнейших обменов необходимой информацией между базами данных бухгалтерии и автоматизируемого отдела предприятия. При таком подходе, разработка новой системы будут обеспечивать связь с базой данных бухгалтерии с наименьшими финансовыми и трудовыми затратами, а так же отвечать необходимым актуальным требованиям организации.

Система программ 1С:Предприятие – это многофункциональное средство автоматизации любых видов учёта на предприятиях полного перечня сфер и типов собственности.

Система программ 1С:Предприятие включает в себя:

1) платформу, например, 1С:Предприятие 8, 1С:Предприятие 7.7;

2) прикладные решения (конфигурации), например, 1С:Бухгалтерия; 1С:Управление торговлей.

Платформа – это не самостоятельная программа для применения рядовыми сотрудниками организаций. Пользователи выполняют действия в прикладных решениях или конфигурациях, созданных на базе этой платформы. Прикладных решений много. Данный приём даёт возможность автоматизировать всевозможные виды деятельности, применяя общую технологическую платформу. Технологическая платформа – это сердце программы – она устраивает интерфейс пользователя, позволяет организовать ввод, хранение и отображение данных, платформа является элементом системы, которая координирует функционированием прикладной программы и гарантирует её работу.

Конфигурация предназначена для решения конкретных учётных задач. Это конкретная прикладная программа, созданная на основе платформы и ориентированная на автоматизацию определённой сферы экономической деятельности.

Всякое прикладное решение это есть массив констант, справочников, документов и журналов для работы с ними, отчётов и обработок, иных объектов. Данные объекты применяются для внесения и переработки данных, нужных работнику.

Конфигурируемость – это одно из основных свойств системы 1С:Предприятие. Конфигурируемость позволяет на одной платформе разрабатывать отличное друг от друга программное обеспечение.

Для создания и изменения конфигураций используются средства конфигурирования. Программа может содержать или не содержать их. Если программа содержит такие средства, пользователь может изменять конфигурацию, настраивая продукт на особенности учёта конкретной организации – сам или с помощью организаций, специализирующихся на внедрении и поддержке программ фирмы «1С».

Гибкость платформы даёт возможность использовать 1С:Предприятие во всевозможных сферах.

Существуют конфигурации, которые ориентированы на все области применения. Такие конфигурации называются комплексными (т.е. в них одновременно можно вести бухгалтерский, оперативный учёт, расчёт зарплаты, управление персоналом и пр.).

Таблица 1

Примеры конфигураций (программ) системы 1С:Предприятие

Название конфигурации	Область применения		
	Бухгалтерский учёт	Оперативный учёт	Расчёт
Типовые конфигурации	1С:Бухгалтерия7.7, 1С:Бухгалтерия предприятия 8, 1С:Бухгалтерия для бюджетных организаций, 1С:Бухгалтерия. УСН, и др	1С:Торговля и склад7.7, 1С:Управление торговлей 8, 1С:Предприниматель, 1С:Школьная библиотека и др.	1С: Зарплата и кадры7.7, 1С:Зарплата и управление персоналом 8, 1С:Налогоплптельщик и др.
Комплексные конфигурации	1С:Предприятие7.7. Комплексная поставка (ведётся всё в 1 базе, в 1 программе), 1С:Управление производственным предприятием 8, 1С:Предприятие7.7. Набор для небольшой фирмы (3 разные базы, 3 разные программы), 1С:Предприятие7.7. Набор для бухгалтерии образовательного учреждения и др.		
Не типовые конфигурации (созданные другими фирмами на основе типовых конфигураций при помощи конфигурирования)	Софт-Портал: Управление сбытом тепловой энергии и др.	Альфа-Авто: Автосалон+Автосервис и др.	Север: Расчёт квартплаты и др.

Система 1С:Предприятие объединяет в себе механизмы манипулирования всевозможными типами объектов метаданных предметной области.

Объект метаданных – это «формальное описание неких сущностей предметной области автоматизации со сходными свойствами и одинаковым назначением» [Харитонов, с. 12].

Для описания модели предметной области бухгалтерского учета используются следующие виды объектов метаданных:

1) константы;
2) справочники;
3) перечисления;
4) документы;
5) списки документов, журналы документов;
6) планы видов характеристик;

7) планы счетов;

8) регистры накопления;

9) регистры сведений;

10) регистры расчёта;

11) регистры бухгалтерии;

12) отчеты;

13) обработки.

Любой объект метаданных имеет неповторимый комплект свойств.

Основное свойство всякого объекта метаданных – это его имя или идентификатор – краткое наименование. Например, БанковскиеСчета (пишется без пробела), КлассификаторЕдиницИзмерения и т.д. На встроенном языке системы именно по идентификатору осуществляется обращение к объекту конфигурации.

Есть и иные свойства общего назначения – это «Синоним», «Комментарий» и «Подсистемы».

Синоним имени и комментарий определяют объект в интерфейсах пользователя. Значение свойства «Подсистема» показывает, в каких подсистемах данных объект может применяться (см. Рисунок 1).

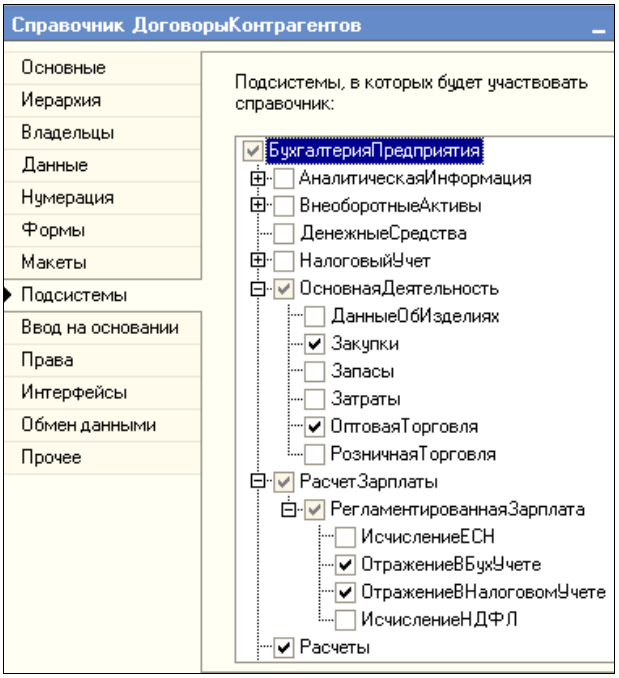


Рисунок 1. Пример подсистем объекта «ДоговорыКонтрагентов»

Прочие свойства обуславливаются видом объекта метаданных. К примеру, к дополнительным свойствам констант относятся тип данных, справочников – вид справочника (линейный или иерархический), хранимые данные, очередь нумерации элементов и прочее.

При конфигурировании происходит настройка системы на переработку информации предметной области. Данный процесс состоит из следующих этапов:

1) проектирование модели предметной области,

2) создание интерфейсов,

3) настройку прав для отдельных групп пользователей.

Результатом процесса конфигурирования является конфигурация.

Конфигурация в системе 1С:Предприятие определяется как объединение трёх взаимозависимых составляющих:

1) структуры метаданных;
2) набора пользовательских интерфейсов;
3) набора прав.

Рассмотрим эти составные части подробнее.

1. Модель предметной области или структура метаданных – это объединение взаимозависимых объектов метаданных, необходимых для хранения и переработки некой информации. В частности, в конфигурации «Бухгалтерия предприятия» реализована модель для автоматизированного ведения бухгалтерского и налогового учёта коммерческих организаций (см. Рисунок 2).

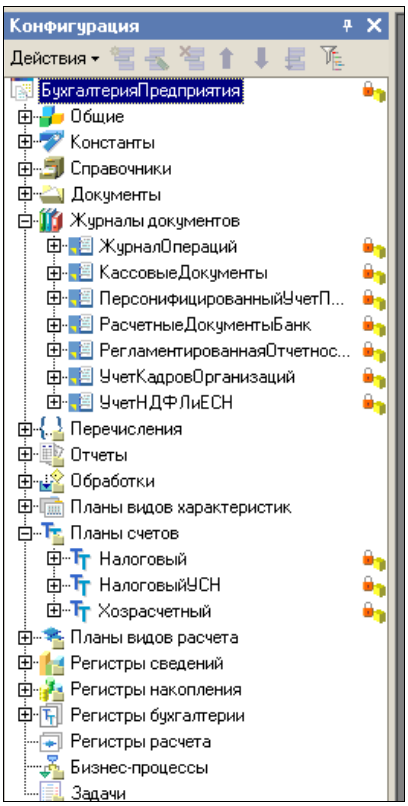


Рисунок 2. Фрагмент структуры метаданных конфигурации

2. Пользовательским интерфейсом называется совокупность команд главного меню и панелей инструментов, настроенных на работу с конкретными объектами данных – документами, справочниками, журналами и т. д. (см. Рисунок 3)

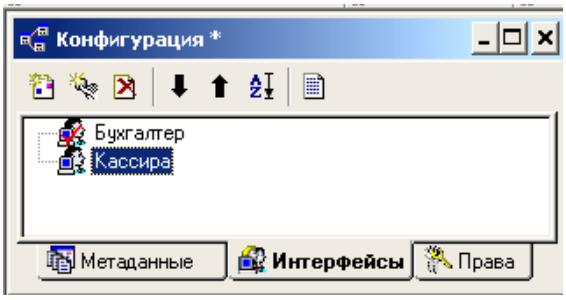


Рисунок 3. Пользовательские интерфейсы конфигурации

3. Права определяют полномочия пользователей на работу с информацией, которая обрабатывается в системе. Процедура назначения прав пользователю решает две задачи: с одной стороны, обеспечивается конфиденциальность информации, с другой – снижается риск потери информации от несанкционированных действий. Права задаются через роли, которые присваиваются пользователям. (см. Рисунок 4)

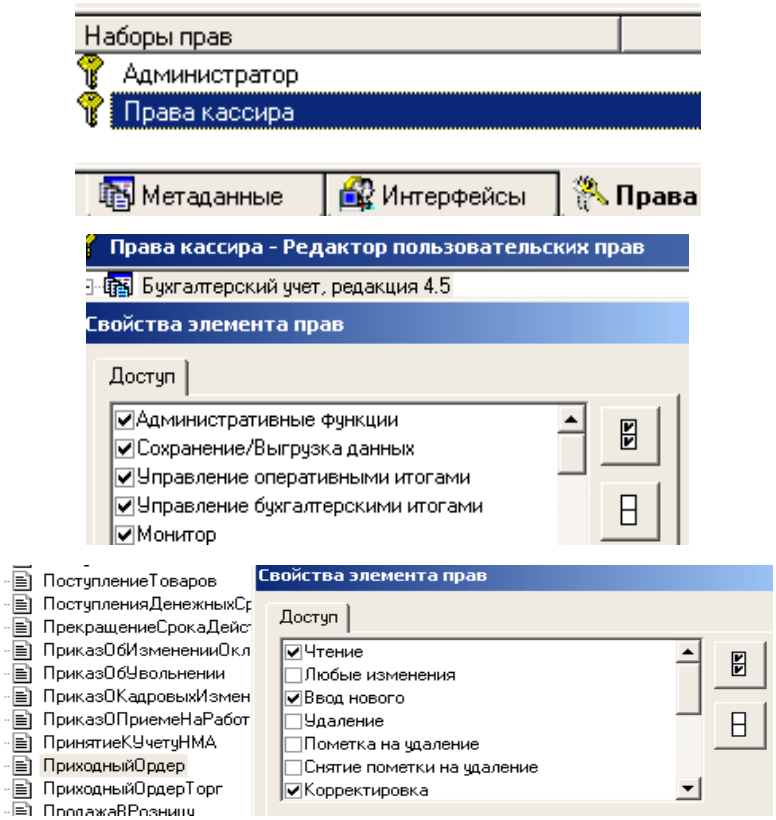


Рисунок 4. Пример настройки прав пользователя в конфигурации

Для просмотра составных частей конфигурации необходимо:

1) Запустить конфигурацию в режиме конфигуратора.
2) Выбрать меню Конфигурация – Открыть конфигурацию.
3) Просмотреть вкладки: метаданные, интерфейсы, права.

По желанию клиента при создании новой конфигурации или для усовершенствования имеющейся в организации может быть разработан или дополнен любой объект метаданных. Например, часто пользователям системы 1С:Предприятие для нужд организации необходимо бывает создание отчётов или обработок, могут быть изменены свойства любого объекта, добавлены кнопки, элементы меню, документы, таблицы в документах, необходимые столбцы отчёта и прочее – это всё возможно выполнить при помощи конфигурирования на базе имеющейся программы. При желании клиента, по его запросам, на базе платформы 1С:Предприятие, может быть создана полностью новая конфигурация.

Опишем особенности, которые необходимо учитывать при внедрении программ фирмы 1С.

Перед началом разработки необходимо определить соотношение между типовыми имеющимися программными средствами для стандартных задач и уникальными решениями, нужными для специфических задач. Практика показывает, что не всегда удается четко разделить эти два вида задач.

Вначале клиент определяет, типовое или адаптированное решение хочет применять. Чтобы это понять, необходимо выяснить, подходит функционал типовой разработки к бизнес-процессам предприятия и используемым методам учёта.

Типовые программы 1С универсальны, и большая часть моделей бизнеса и принципов работы предприятий в них уже учтена. Помимо этого, их отличает гибкость, они доступны пользователю и нет необходимости в привлечении it-специалистов. Однако, при внедрении типовой системы бизнес клиента будет типовым – без конкурентных преимуществ.

Серьезной отдачи от типовой конфигурации можно ждать только при хорошем обучении сотрудников и подгонке работы системы под имеющиеся на предприятии бизнес-процессы.

Положительные моменты при применении 1С:Предприятия можно указать следующие: все бизнес-процессы задокументированы, описаны и автоматизированы, система находится в актуальном состоянии, автоматизирован документооборот.

Таким образом, в статье были рассмотрены вопросы применения системы 1С:Предприятие при разработке программного обеспечения для автоматизации деятельности предприятия.

Список литературы

1. Харитонов, С.А. Компьютерная бухгалтерия 7.7 – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2005. – 414 с.

Разработка модуля по учёту, хранению и созданию макетов печатной продукции для ИС в области полиграфических услуг

Копанев В.В.
студент кафедры прикладной информатики
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: kopanev.vlad@yandex.ru

Аннотация: Данная статья знакомит с разработкой модуля, который позволит быстро создать макет печатной страницы на основе имеющихся данных. Сейчас существует множество программ, позволяющих вести учёт клиентов, заказов, контролировать их выполнение и оплату, но не способных оперативно отображать макеты печатных страниц с заполненной информацией. На данный момент единственным программным обеспечением, дающим такую возможность, является «1С:Управление рекламой», но данная возможность предоставляется лишь при приобретении всего решения. Таким образом целью данной работы является повышение эффективности работы за счёт увеличения качества и скорости работы с использованием разработанного модуля. При разработке модуля использовался сравнительный анализ уже имеющегося ПО, который позволяет оценить экономическую целесообразность создания нового решения. Результат данной работы – необходимость использования данного модуля для издательских компаний, поскольку на данный момент готовые решения для крупных фирм, имеющие свои разработки, экономически не выгодны. Основная область применения разрабатываемого модуля – это СМИ.

Ключевые слова: СМИ, сравнение, автоматизация, программа, эффективность.

Полиграфическое производство в двадцать первом веке продолжает функционировать и развиваться. Для удержания лидирующих позиций каждое предприятие стремится повысить эффективность своей работы. Одним из таких способов является автоматизация различных процессов. Современные технологии позволяют максимально сократить количество типовых операций, переложив усилия с человека на компьютер.

В полиграфическом производстве допечатный процесс имеет строгие сроки и ограничения. Зачастую, чтобы в них уложится, верстальщику приходится обрабатывать несколько материалов одновременно, потому что журналисты часто не успевают сдать материал заранее. Для того, чтобы упростить процесс получения текста, его размещение на странице с изображениями, согласо-

вание с другими участниками процесса необходима хорошая система, которая позволяла решить данную проблему, ускорив работу по выпуску печатного макета. На текущий момент имеется очень мало программных продуктов, которые могли бы контролировать процесс от создания объявления до его выхода в номер, а также выдавать различную статистику по работе предприятия в целом на основе внесённых данных. В связи с этим разработка модуля по созданию, хранению и учёту макетов имеет особую актуальность.

Большинство программных продуктов принято решать проблему калькуляции заказа, а также ведение различной отчётности. Таких программ достаточно много. А.А.Пьянкова [Пьянкова, с.126] в своей научной статье «Автоматизированные системы управления полиграфическим предприятием», рассматривает некоторые из них, сравнивает их стоимость, сроки внедрения и окупаемость.

Алексей Попов в журнале «КомпьюАрт» в своей статье «Особенности автоматизации редакции ежедневной газеты» [Попов, с.2] уделяет достаточное внимание решению проблемы верстки. При этом он описывает преимущества SoftCare K4 Publishing System. Но поскольку данный продукт зарубежного производства, то он не имеет русской локализации, что приведёт к большим сложностям и при его эксплуатации, и при его поддержке.

Таким образом целью является повышение эффективности за счёт увеличения качества и скорости работы в разрабатываемом модуле.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Найти аналоги программ;
2. Сравнить их функционал и стоимость;
3. Сформулировать функциональные требования к разрабатываемому модулю;
4. Выделить преимущества разработки перед аналогами

Для вёрстки макетов страниц используется Adobe InDesign или Quark Xpress. Обе программы имеют достаточно мощный инструментарий по внеш-

нему оформлению страниц. Данные программы идеально подходят для оформления конечного вида страницы, формирования единого стиля, но для быстрого отображения текущей ситуации потребуется много времени, чтобы внести всю имеющуюся в них информацию. Также программы не ведут статистики, выполняя тем самым роль графического редактора. Стоимость лицензии на Quark Xpress составляет $849 в год [Quark Software Inc, с.1], что в переводе на рубли составляет 849*58.63=48078.87 руб, Adobe InDesign 54120 руб. в год [ООО «ИОНСРМ», с.1].

Программа Принтофис24 лишена возможностей графического просмотра макета будущей страницы. Основным её предназначением является расчёт стоимости объявления на основе заданных параметров, ведение базы клиентов, аналитические отчёты. Для работы с данной системой необходимо интернет соединение, поскольку все данные хранятся на серверах разработчика, работа в программе осуществляется через браузер. Стоимость за год для 30 пользователей составит 100680 руб[ООО «1С», с.1].

Программный продукт от Компании 1С «Управление рекламой» сочетает в себе и возможность как вести аналитический учёт, так и видеть заполненность страницы (макет страницы с размещённым материалом). Достаточно большой функционал программы даёт возможность оперативно получать всё необходимую информацию. Но за такой избыточный функционал нужно платить. Стоимость данного продукта фирма не сообщает, ссылаясь на то, что его стоимость сильно варьируется в зависимости от многих факторов (количества лицензий, имеющейся платформы 1С и серверного ПО). Если брать среднюю стоимость лицензии на 20 рабочих = 97600 руб + лицензию на сервер в 86400 руб, то получится 184000 в год [6]. Результаты сравнения стоимости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение стоимости аналогичных продуктов

Название программного продукта	**Стоимость покупки лицензии на 1 год, руб.**
Adobe InDesign	48078.87
Quark Xpress	54120
Принтофис24	100680
1С «Управление рекламой»	184000

Но зачастую у владельцев компаний уже имеется программное обеспечение, которое позволяет вести аналитический учёт. Им достаточно будет модуля, обеспечивающего возможность видеть макет будущей страницы, его заполненность. А покупать модуль, в стоимость которого уже включен функционал, имеющийся в распоряжении фирмы – нерационально. К тому же при достаточно больших размерах фирмы, когда её сеть выходит за рамки одного региона, покупать большое количество лицензий становится также не выгодно. Разрабатываемый модуль позволяет решить эту проблему за счёт того, что его стоимость будет намного ниже представленных выше программных продуктов, а лицензия будет выдаваться не на рабочие места, а одному предприятию.

Разрабатываемый модуль должен иметь возможность получать данные в различных форматах (растровые изображения, табличных данных, текстовых данных), разносить макеты по полосам, задавать блоки редакционных материалов, сохранять макеты в форматы, которые смогут открыть программы Adobe InDesign или Quark Xpress, что позволит сократить время специалисту по вёрстке на ввод и размещение материала на страницы.

Таким образом, в ходе работы были найдены аналоги разрабатываемого модуля такие как Adobe InDesign, Quark Xpress а также Принтофис24 и 1С «Управление рекламой». Проанализировав их возможности, был найден самый близкий по требованиям программный продукт - 1С «Управление рекламой». Проведён сравнительный анализ стоимости каждого программного обеспечения. На основании проведённого исследования были сформулированы требования к разрабатываемому модулю. При его разработке учитывались факторы, которые позволяют выгодно отличить его от аналогов: стоимость, которая ни-

же, а также возможность видеть макет заполненной страницы ещё до его вёрстки на основе имеющихся данных.

Список литературы

1. Пьянкова А.А. Автоматизированные системы управления полиграфическим предприятием // Вестник Московского государственного университета печати. 2011. №4. С. 125-130.
2. Попов А. Особенности автоматизации редакции ежедневной газеты // КомпьюАрт. 2004. №8. С. 90-97.
3. QuarkXPress 2017 | The fully-integrated graphic design and layout software for professional print and digital production. URL: http://www.quark.com/Products/QuarkXPress/ (дата обращения 15.01.2018).
4. Adobe Россия: решения для творчества, маркетинга и работы с документами. URL: https://www.adobe.com/ru/ (дата обращения 15.01.2018).
5. ПринтОфис24 - Система учета заказов для рекламных агентств и типографий полного цикла. URL: https://printoffice24.com/tarifs (дата обращения 18.01.2018).
6. Цены и порядок поставки продуктов от 1С. URL: http://v8.1c.ru/price/ (дата обращения 18.01.2018).

Проектирование спортивных комплексов

Копосова М.А.[a], Пешнина И.В.[b]
магистрант 2 курса факультета строительства и архитектуры[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры СКМ[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: maryakoposova@yandex.ru[a], ptb43@bk.ru[b]

Аннотация: В данной статье рассмотрены пути развития и популяризации спорта в России, связанные со строительством уникальных спортивных сооружений для проведения соревнований мирового уровня и многофункциональных спортивных центров в рамках государственной программы в области спорта, в частности в Кировской области. Рассмотрен вопрос о совершенствовании проектов зданий спортивного назначения для повторного применения. Произведен анализ объемно-планировочных и конструктивных решений проектов, рекомендованных для повторного применения Министерством спорта, построенных в рамках государственных программ. Выявлены основные особенности применяемых конструктивных решений зданий многофункциональных спортивных центров. Установлено, что применяется каркасная конструктивная схема с железобетонными и стальными конструкциями, преимущественно со стальными каркасами. Выявлены основные достоинства и недостатки применяемых конструктивных решений.

Ключевые слова: многофункциональные спортивные центры, проекты массового применения, государственные программы развития спорта.

Государственной программой Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта», разработанной Министерством спорта РФ определены основные цели, задачи и пути развития спорта в нашей стране.

Строительство уникальных спортивных зданий и сооружений для проведения спортивных мероприятий мирового уровня и многофункциональных спортивных центров в городах России для развития инфраструктуры физической культуры и спорта и создания условий, обеспечивающих возможность гражданам систематически заниматься спортом, реконструкция спортивных объектов шаговой доступности способствует развитию спорта и популяризации физической культуры, здорового образа жизни, а также повышению эффективности подготовки спортсменов в спорте высших достижений.

Уникальные спортивные сооружения были построены к проведению Универсиады 2013 в Казани: футбольный стадион «Казань Арена» на 45 000

мест, Дворец водных видов спорта, Академия тенниса, Дворец единоборств «Ак Барс», Центр волейбола «Санкт-Петербург», Центр бокса и настольного тенниса, Центр гимнастики, Гребной канал на озере Средний Кабан.

В Сочи к Олимпиаде 2014 года были построены такие спортивные сооружения, как Олимпийский стадион «Фишт» — Футбольный Стадион на 47 000 зрителей, Большой (ледовый дворец) — Спортивный и Концертный Комплекс на 12000 зрителей, Шайба (ледовая арена) — Всероссийский Детский Спортивно-Оздоровительный Центр на 7000 зрителей, Адлер-Арена — Экспоцентр на 8000 зрителей; Айсберг — Ледовый дворец спорта на 12000 зрителей, Ледяной куб — Спортивно-Развлекательный Центр (Российский тренировочный центр по Кёрлингу) на 3000 зрителей, Тренировочная арена для хоккея — хоккейная площадка на 500 зрителей.

Заканчивается строительство и подготовка объектов к проведению Чемпионата Мира по футболу 2018 года. Новые спортивные здания и сооружения дают возможность их использовать как современные тренировочные площадки для спортсменов.

В рамках Государственной программы «Развитие физической культуры и спорта», в том числе подпрограммы «Федеральной целевой программы "Развитие физической культуры и спорта в Российской Федерации на 2016 - 2020 годы" повсеместно ведется строительство многофункциональных спортивных центров в нашей стране.

Строительство многофункциональных спортивных центров еще больше способствует развитию массового спорта, давая возможность открывать на базе таких центров детские спортивные школы для занятий спортом по всей России, как в крупных, так и в небольших городах и населенных пунктах.

В Кировской области действует Государственная программа Кировской области "Развитие физической культуры и спорта", утвержденная постановлением Правительства Кировской области от 17.12.2012 № 186/768.

В настоящее время в сфере физической культуры и спорта Кировской области наблюдается недостаточная обеспеченность спортивными объектами.

По оценкам специалистов управления по физической культуре и спорту Кировской области, до 90% спортивных сооружений на сегодняшний день значительно изношены и не соответствуют современным требованиям к оснащенности объектов спортивным инвентарем и проведению соревнований.

Для решения данных проблем в рамках Программы предусмотрено строительство и ремонт 22 спортивных объектов.

С целью содействия в разработке стратегии развития сети спортивных сооружений в Российской Федерации и реализации программ развития физической культуры и развитию спорта в июле 2005 года создана общероссийская физкультурно-спортивная общественная организация «Российская ассоциация спортивных сооружений».

Деятельность Ассоциации осуществляется в тесном взаимодействии с органами государственной власти и органами местного самоуправления, спортивными федерациями и другими заинтересованными организациями. РАСС объединяет профессионалов в области проектирования, строительства, оснащения и управления спортивных и оздоровительных объектов.

Специалисты Ассоциации участвовали в разработке Федеральной целевой программы «Развитие физической культуры и спорта в Российской Федерации на 2006—2015 годы», а также являются консультантами в разработке региональных и отраслевых программ по строительству спортивных сооружений.

С целью снижения расходов на проектирование и строительство спортивных зданий и сооружений, РАСС предлагает каталог проектов, разработанный ведущими проектными институтами России и рекомендованных для повторного применения.

Министерство спорта ежегодно объявляет конкурс и публикует список проектов, рекомендованных для повторного применения.

По программе "Развитие физической культуры и спорта" в Кировской области уже построены физкультурно-оздоровительные комплексы в г. Советске, пгт. Демьяново и некоторые другие.



Рисунок 1. Физкультурно-оздоровительный комплекс в г. Советске



Рисунок 2. Физкультурно-оздоровительный комплекс в пгт. Демьяново

Анализ опыта проектирования и строительства многофункциональных спортивных комплексов произведем на примере рекомендованных Министерством спорта для повторного применения физкультурно-оздоровительных комплексов (далее – ФОК).

Таблица 1

Анализ опыта проектирования и строительства ФОК

Наименование объекта	Площадь здания, м2	Конструктивная схема здания	Материал несущих конструкций	Габариты зала	Сетка колонн, мхм	Этаж
ФОК Кабардино – Балкарской республики	1972,0	Каркас	Железобетон	18х30м	6х6	1-2
Спортивный центр Вологодской области	2250,4	Каркас	Железобетон	27х42м	6х6	1-2
ФОК в г. Ессентуки	2877,73	Каркас	Металл	27х42м	6х6	1-2
ФОК в г. Ставрополь	2732,88	Каркас	Металл	24х42м	6х6	1-2
ФОК в Курганской области	1508,4	Каркас	Металл	36х18м	6х6	1-2
ФОК «Витязь» в г. Вологда	2091,9	Каркас	Металл	27х42	6х6	1
ФОК в Кировская область	1368,4	Каркас	Металл	24х36	6х6	1-2
ФОК в г. Ульяновск	1993,31	Каркас	Металл	27х42м	6х6	1-2

Проанализировав некоторые проекты из числа рекомендованных Министерством спорта в качестве проектов массового применения, можно сказать, что большая часть из них – это многофункциональные спортивные комплексы с двухэтажной административной частью с универсальными игровыми залами.

Здания имеют ряд преимуществ, так как физкультурно-оздоровительные комплексы со спортивными залами, имеющими универсальные габариты, позволяют заниматься различными видами спорта в одном помещении.

Конструктивное решение всех объектов - с каркасными конструктивными схемами, в 25% рассмотренных проектов материал основных несущих конструкций железобетон, в 75% проектов - металл. Каркасная конструктивная схема дает возможность свободы планировочных решений.

Преимуществами строительства зданий с металлическими каркасами являются: возможность устройства облегченного фундамента за счет малого веса конструкций; индустриальный способ изготовления объекта строительства, по-

скольку конструктивные элементы имеют максимальную заводскую готовность; долговечность и надежность; возможность строительства спортивных сооружений различных архитектурных форм, размеров и конфигураций.

При этом следует отметить, что необходимо проведение мероприятий по обеспечению необходимой огнестойкости конструкций и защите конструкций от коррозии.

Таким образом, в РФ, в том числе и Кировской области, ведется активная политика в области спорта, которая включает в себя строительство новых спортивных многофункциональных (включающих в себя и бассейны, и спортивные залы, и открытые площадки) комплексов, реконструкцию и ремонт существующих зданий.

Совершенствование объемно-планировочных и конструктивных решений зданий многофункциональных спортивных комплексов, в том числе с оптимизацией стальных каркасов, вызвана необходимостью минимизации затрат на строительство и последующую эксплуатацию спортивных объектов.

Принятие более рациональных конструктивных схем и конструкций, соответствующих современным технологическим требованиям и обеспечивающих надежность, позволят более полно использовать прочностные характеристики материала, снижая в целом материалоемкость.

Разработка проектов многофункциональных спортивных комплексов массового применения позволит не только уменьшить материальные затраты, но и максимально ускорить процесс строительства.

Список литературы

1. Олимпийский парк (Сочи): [Электронный ресурс] // Википедия. Сборная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Олимпийский_парк_(Сочи). (Дата обращения: 10.02.2012).

2. Летняя Универсиада 2013: [Электронный ресурс] // Википедия. Сборная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Летняя_Универсиада_2013#Объекты. (Дата обращения: 10.02.2012).

3. Российская ассоциация спортивных сооружений: [Электронный ресурс]. СПб. URL: https://www.rasf.ru/about/dejatelnost.php. (Дата обращения: 10.02.2012).

4. Проекты, рекомендованные для повторного применения: [Электронный ресурс] // Министерство спорта Российской Федерация, М., 2008-2018. URL: http://www.minsport.gov.ru/opendata/razdel324/23473/. (Дата обращения: 10.02.2012).

Опасность поражения человека электрическим током в зоне падения провода распределительной сети напряжением 6-35 кВ при разряде собственных частичных емкостей фаз

Косолапов Е.В.[1], Агалакова Л.М.[2], Козлов А.Л.[3]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[1]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[2]
зав. лаб. кафедры электротехники и электроники[3]
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федарация[1,2,3]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[1,2,3]

Аннотация: В воздушной распределительной сети напряжением 6 - 35 кВ при однофазном замыкании на землю в зоне контакта проводника с землей часто возникает электрическая дуга. Дуга, играя роль своеобразного коммутатора, периодически закорачивает емкость поврежденной фазы относительно земли, что приводит к кратковременным, но значительным броскам тока в месте замыкания. Цель работы заключается в оценке степени опасности нахождения человека в зоне падения на землю провода распределительной сети напряжением 6 - 35 кВ в момент разряда собственных частичных емкостей фаз. Для достижения поставленной цели авторами статьи была разработана цифровая модель электропоражения человека током разряда емкостей фаз. Анализ выходных данных разработанной цифровой модели выявил, что разряд емкостей фаз распределительной сети напряжением 6 - 35 кВ может оказаться смертельным для человека, находящегося в зоне растекания тока замыкания. Статья предназначена специалистам-энергетикам, научным сотрудникам, преподавателям и студентам вузов энергетической направленности и заинтересованным читателям.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, воздушные линии электропередачи, переходные процессы, напряжение прикосновения, напряжение шага.

Введение. В месте падения на землю провода воздушной линии (ВЛ) распределительной сети напряжением 6 - 35 кВ возникает и длительно существует зона растекания тока однофазного замыкания [Красных, с.18]. В отличие от утечки газа или пожара эта зона не имеет видимых признаков присутствия опасности вызывающих чувство беспокойства. Люди и животные безбоязненно приближаются к лежащему на земле проводу воздушной линии (ВЛ) и поражаются электрическим током.

Постановка цели и задач исследования. Тяжесть электротравм полученных человеком в зоне растекания тока замыкания, зависит от многих факторов и процессов, протекающих в распределительной сети [Долин, с.15].

Значение тока замыкания на землю в момент разряда емкостей фаз [Бухтояров, с.14] распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ кратковременно, но значительно возрастает [Демирчян, с.30] и может оказаться смертельно опасным для жизни человека.

Цель работы – оценка опасности нахождения человека в зоне падения провода распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ в момент разряда емкостей фаз. Достижение поставленной цели возможно путем разработки цифровой модели электропоражения человека.

Ведущий подход. Используя физико-математический пакет «Mathcad» и описанную в [Козлов, с.1645] методику расчета параметров электробезопасности, авторами была разработана цифровая модель электропоражения человека в зоне падения провода распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ при разряде собственных частичных емкостей фаз.

Исследования степени опасности электопоражения проводилось при наиболее опасном сочетании влияющих факторов:

- напряжение поврежденной фазы в момент замыкания достигло амплитудного значения фазного напряжения;
- длина лежащего на земле провода минимальна (равна одному метру);
- диаметр провода наименьший из применяемых в распределительных сетях напряжением 6 – 35 кВ (6,4 мм);
- удельное сопротивление грунта соответствует наиболее распространённому в Кировской области грунту – суглинку и принято равным $\rho = 70$ *Ом·м*;
- сопротивление тела человека равно 850 Ом;
- человек относительно оси провода располагается перпендикулярно;
- сопротивление основания, на котором находиться человек, пренебрежительно мало;
- емкость распределительной сети относительно земли максимальна.

Максимально возможное значение емкости распределительной сети относительно земли определено исходя из максимально допустимого тока замыкания I_{MAX} [РД 34.20.179, с. 3], который измеряется при «металлическом» замыкании одной из фаз сети на землю, то есть, обусловлен емкостью двух «здоровых» фаз:

$$I_{MAX} = {U_Ф}\Big/{\frac{1}{\omega \cdot C_Ф}} \quad . \tag{1}$$

Тогда, максимальное возможное значение емкости распределительной сети относительно земли равно:

$$C = 3 \cdot C_Ф = \frac{3 \cdot I_{MAX} \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \omega \cdot U_Л}, \tag{2}$$

где I_{MAX} – максимальный ток замыкания, А; ω – циклическая частота, $с^{-1}$; $U_Л$ – линейное напряжение, В; $C_Ф$ – емкость одной фазы распределительной сети, Ф.

Результаты исследований, их обсуждение. Выходными данными разработанной цифровой модели являются: мгновенные значения напряжения прикосновения (рис. 1) и мгновенные значения напряжения шага (рис. 2 – 4), представленные в виде осциллограмм.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов в аварийном режиме работы распределительных сетей напряжением 6 – 35 кВ для интервалов времени менее 0,01 с. не заданы [ГОСТ 12.1.038-82, с.3]. Поэтому опасность электропоражения оценим исходя из количества электричества $Q_Н$, полученного человеком [Пичуев, с.27]:

$$Q_Н = I_h \cdot \Delta t, \tag{3}$$

где I_h - действующее значение тока, протекающего через тело человека, мА; Δt – интервал времени, в течение которого через тело человека протекает ток, с.

Допустимый уровень количества электричества $Q_{ДОП}$, полученного человеком, равен 50 мА·с.

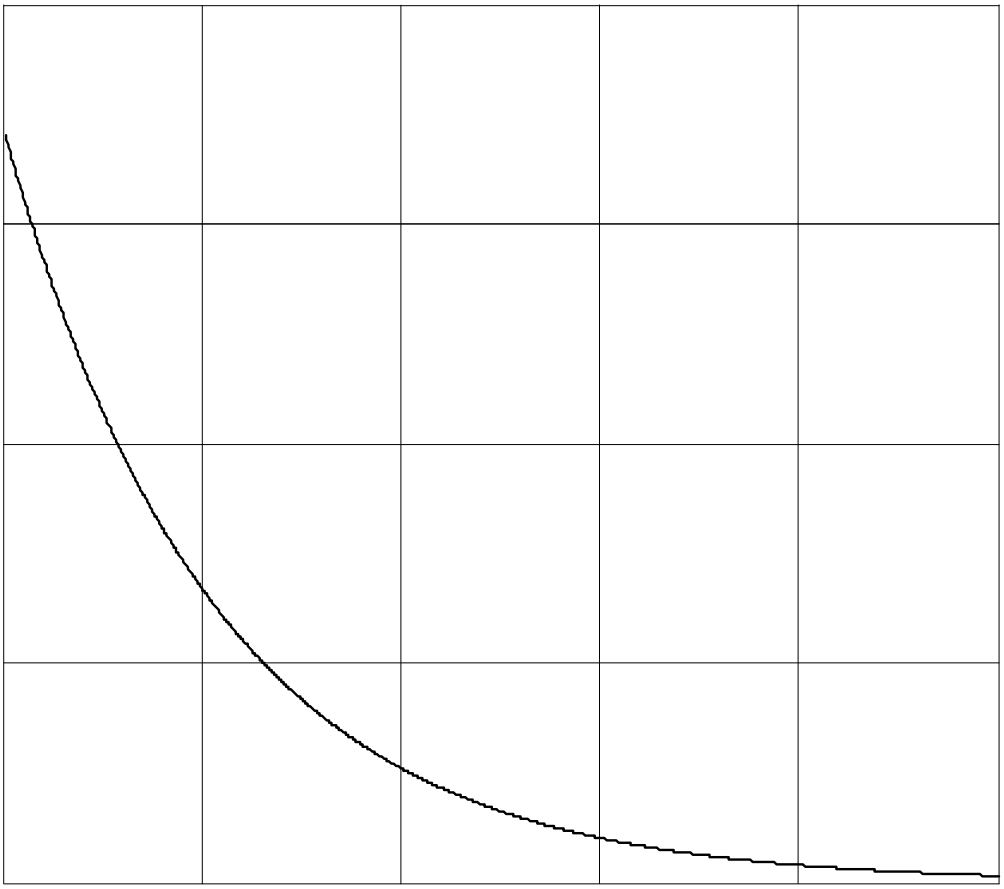


Рисунок 1. Осциллограмма напряжения прикосновения

M_U =1:2000 В/дел, M_T =1:2 мс/дел, Um=6670 В

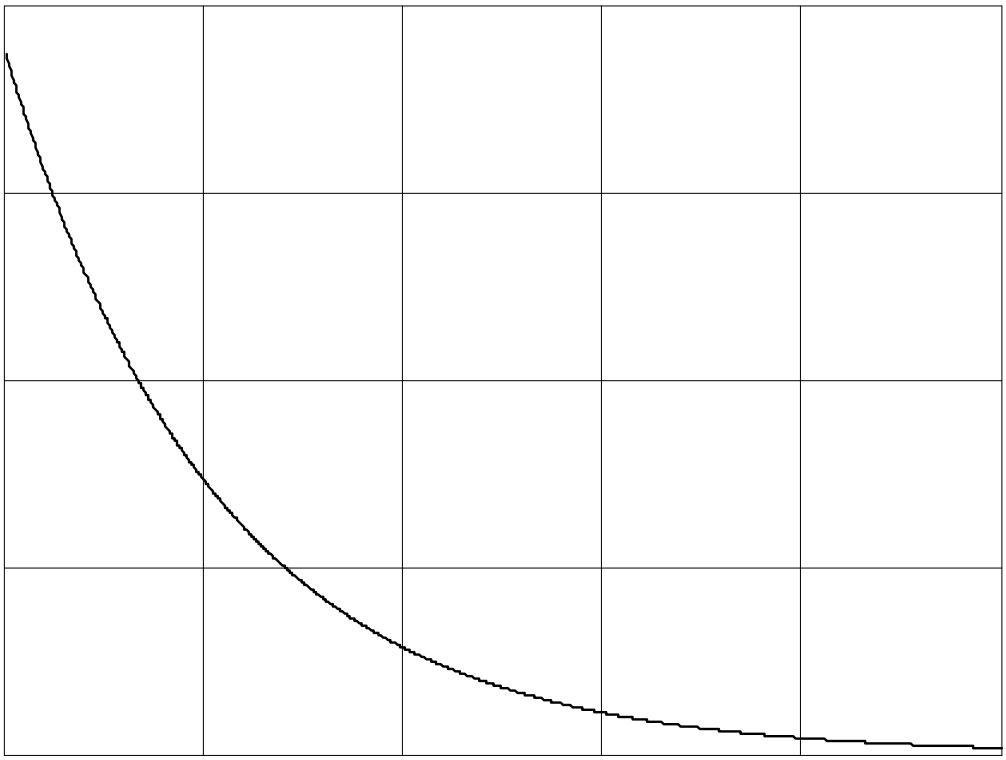


Рисунок 2. Осциллограмма напряжения на первом шаге от провода

M_U =1:2000 В/дел, M_T =1:2 мс/дел, Um=7538 В

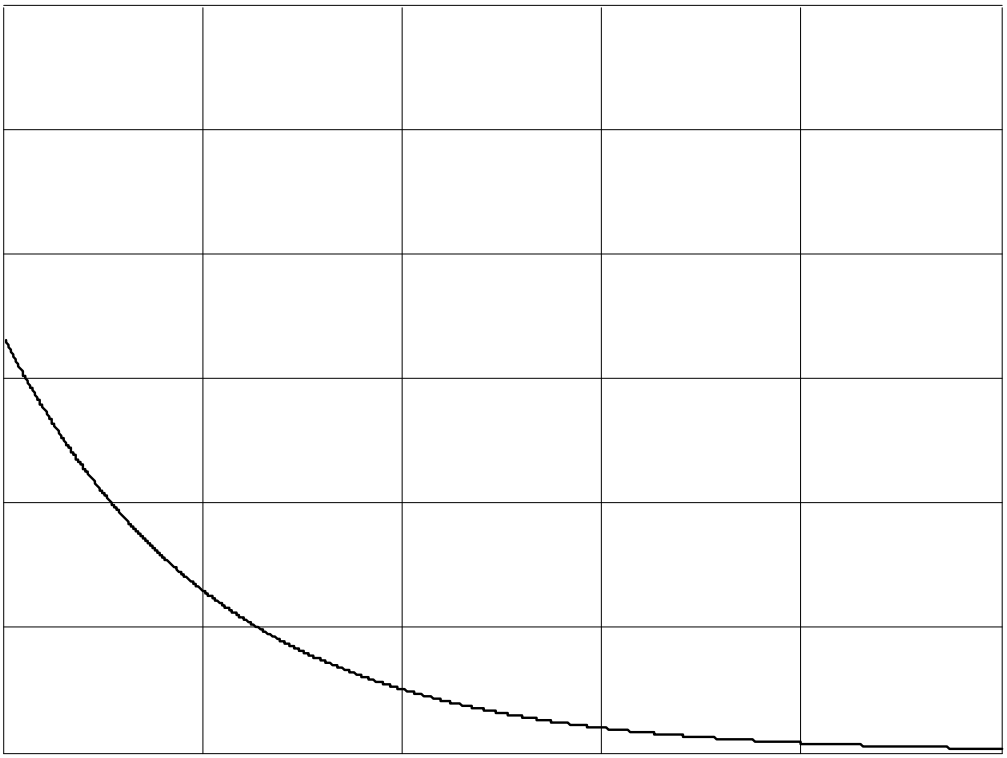


Рисунок 3. Осциллограмма напряжения на втором шаге от провода

M_U =1:100 В/дел, M_T =1:2 мс/дел, Um=335 В

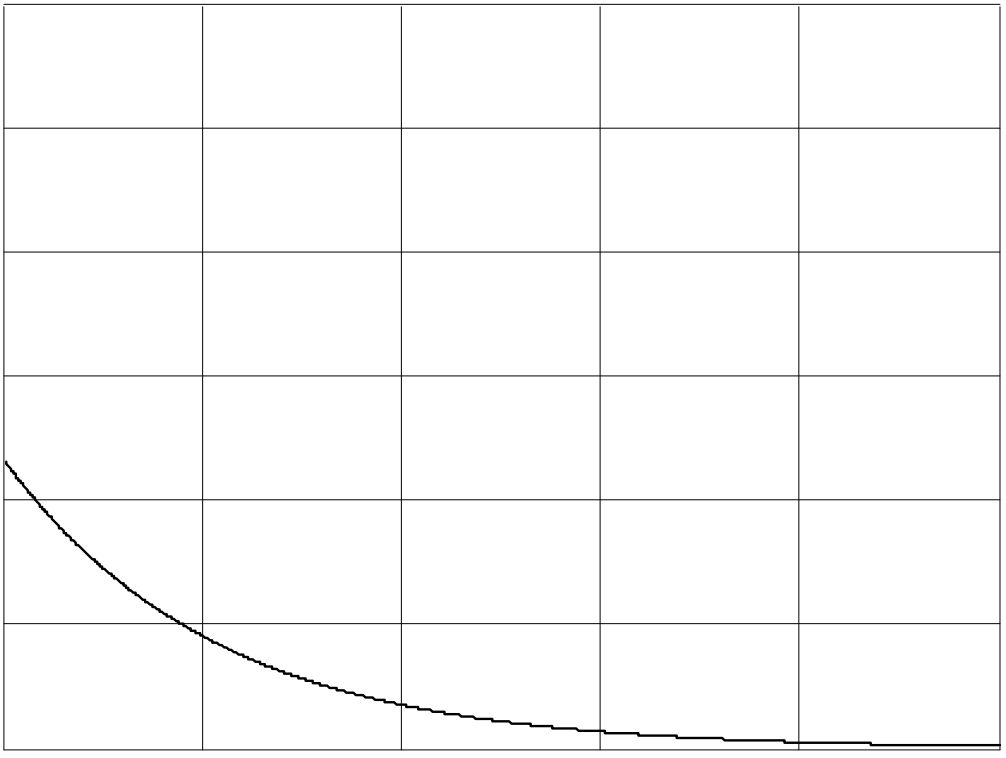


Рисунок 4. Осциллограмма напряжения на третьем шаге от провода

M_U =1:50 В/дел, M_T =1:2 мс/дел, Um=118 В

Действующее значение тока I_h, протекающего через тело человека, определим из выходных данных цифровой модели (рис. 1…4), считая сопротивление тела человека равным 850 Ом. Интервал времени Δt при проведении расчетов примем равным половине периода промышленной частоты – 0,1 с. [Лихачев, с. 14] . Результаты расчетов сведены в табл. 1

Таблица 1

Количество электричества $Q_н$, полученного человеком в зоне падения провода ВЛ в момент разряда собственных частичных емкостей фаз распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ

Линейное напряжение, кВ	Максимально возможная емкость распределительной сети относительно земли, мкФ	Количество электричества $Q_н$, полученного человеком мА·с			
		прикосновение к лежащему на земле проводу	первый шаг от провода	второй шаг от провода	третий шаг от провода
6 кВ	41,4	245	269	12	4
10 кВ	16,5	262	287	13	4
35 кВ	2,36	352	385	17	6

Заключение. Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод о том, что прикосновение человека рукой или ногой к лежащему на земле проводу распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ в момент разряда емкостей фаз недопустимо. Опасная зона растекания тока замыкания ограничена одним шагом.

Список литературы

1. А.А. Красных, И.Л. Кривошеин, А.Л. Козлов. Переносные приборы для определения места однофазного замыкания на землю // Энергетик. 2015 г. №11. с. 18-20.

2. Электробезопасность, теория и практика / П.А. Долин и др. М.: МЭИ, 2012. с. 284.

3. В.Ф. Бухтояров, А.М. Маврицын Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров. М.: Недра, 1986. с. 184.

4. Теоретические основы электротехники. Том 2. / К.С. Демирчян и др. СПб.: Питер, 2003. с. 576.

5. Расчет параметров электробезопасности в зоне падения провода распределительной сети напряжением 10 кВ / Козлов А.Л. и др. // материалы Всероссийской научно-практической конф. «Общество, наука, инновации», 18-29 апреля 2016 г. Киров, 2016. с. 1643-1650.

6. РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87). Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ

7. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Переизд. янв. 1996 с изм. Введ. 30.06.82. М.: Изд-во стандартов, 1996. с. 237- 243.

8. Влияние нестационарных режимов на электробезопасность при эксплуатации электрооборудования горных предприятий / А.В. Пичуев и др. М.: Горная книга, 2011. с. 323.

9. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. с. 152.

Формирование словосочетаний из отзывов для разных предметных областей

Котельникова А.В.[a], Котельников Е.В.[b]
кандидат педагогических наук[a]
кандидат технических наук[b]
доцент кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[a,b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: kotelnikov.ev@gmail.com[a], kotelnikova.av@gmail.com[b]

Аннотация: В статье описан алгоритм формирования списка словосочетаний из двух и трех слов для коллекции отзывов по десяти темам из трех предметных областей: произведения искусства (книги, фильмы, музыкальные произведения), организации (отели, банки, рестораны) и товары (бытовая и кухонная техника, компьютеры и комплектующие, автомобили, телефоны). Списки формируются с целью дальнейшего использования для создания словарей оценочной лексики. Для получения списков словосочетаний разработана программа на языке Python. Проведен анализ полученных списков до и после удаления стоп-слов. На основе релевантной частоты вычислены веса словосочетаний для позитивной и негативной тональностей.

Ключевые слова: анализ тональности, выделение n-грамм, коллекции отзывов, стоп-слова, релевантная частота.

В современной компьютерной лингвистике одной из самых актуальных задач является анализ тональности мнений (sentiment analysis) [Taboada], то есть определение эмоционально окрашенной оценки, выраженной в тексте, по отношению к некоторому объекту или вопросу. Анализ тональности может иметь большое значение при проведении маркетинговых, политологических, социологических и других видов исследований. В настоящее время на веб-ресурсах, содержащих отзывы пользователей, находится большое количество эмоционально окрашенных текстов. При этом объекты оценки пользователей можно разделить на три основных класса: товары, организации и произведения искусства. Текстовые коллекции, которые можно сформировать на основе подобных отзывов, являются важным лингвистическим ресурсом для дальнейших исследований.

Имеется много работ, посвященных созданию словарей оценочной лексики. В частности, в работе [Kotelnikov et al.] описано создание словаря оценочной лексики из отдельных слов.

Однако современные словари оценочной лексики содержат как правило только отдельные слова, а не словосочетания. При этом часто именно словосочетания определяют тональность мнения, причем такие словосочетания могут не содержать оценочные слова, например, «деньги на ветер». В связи с этим, целью данной работы является составление списка из эмоционально-окрашенных словосочетаний, который впоследствии мог бы обрабатываться экспертами вручную.

В работе [Котельникова, Котельников, Разова] описаны технология и особенности сбора отзывов с веб-сайтов. В статье [Котельникова, Котельников] приводятся результаты анализа созданных коллекций.

В настоящей статье описан алгоритм формирования списка словосочетаний из собранной коллекции отзывов, а также приведен анализ полученного списка.

В ходе исследования была собрана коллекция отзывов по десяти темам из трех предметных областей: произведения искусства (книги, фильмы, музыкальные произведения), организации (отели, банки, рестораны) и товары (бытовая и кухонная техника, компьютеры и комплектующие, автомобили, телефоны). Для всех отзывов был выполнен морфологический анализ с использованием парсера mystem [mystem], в результате которого найдены нормальные формы слов. Таким образом, для каждого отзыва хранятся отдельно списки лемм текста отзыва, его достоинств и недостатков. Суммарная длина этих трех списков для каждого отзыва больше нуля. Данные о количестве отзывов по каждой теме, среднем количестве слов в отзывах по каждой теме, а также объемы получившихся в итоге словарей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики коллекций отзывов

Предметная область	Тема	Кол-во отзывов	Среднее кол-во слов	Объем словаря
Произведения искусства	Книги	216 358	209	84 519
	Фильмы	103 668	356	63 847
	Музыка	2 322	60	7 832
Организации	Отели	109 999	331	55 066
	Банки	45 189	198	33 707
	Рестораны	20 832	33	15 720
Товары	Бытовая техника	106 862	86	34 806
	Компьютеры	83 773	85	31 460
	Автомобили	61 808	157	40 096
	Телефоны	17 677	96	19 342

Полученные словари послужили основой для создания списков словосочетаний из двух и трех слов. Для обозначения таких словосочетаний используется также термин биграммы и триграммы (в общем случае, n-грамма – последовательность из *n* элементов, в нашем случае, слов). Программа формирования словосочетаний написана на языке программирования Python. Далее описан алгоритм формирования списка биграмм, выполняемый отдельно для каждой темы.

1. Каждому отзыву присваивается уникальный ID.
2. Создается три хэш-таблицы (отдельно для текста отзыва, достоинств и недостатков). Ключом в такой хэш-таблице является пара слов (словосочетание), значением – список ID тех отзывов, в которых хотя бы один раз встречается это словосочетание.
3. Осуществляется проход по всем отзывам рассматриваемой темы коллекции. Для каждого отзыва последовательно просматриваются все слова (отдельно для текста отзыва, достоинств и недостатков). Для каждого встречающегося словосочетания, которого еще не было в рассматриваемом отзыве, ID отзыва добавляется в соответствующую хэш-таблицу.

Таким образом, формируется три хэш-таблицы (отдельно для текста отзыва, достоинств и недостатков), ключ в которых – биграмма, значение – список ID всех отзывов, в которых встречается это словосочетание.

3. Далее получившиеся хэш-таблицы необходимо объединить в единую хэш-таблицу. Для этого создается список, каждый элемент которого – это пара: первый элемент – это словосочетание, а второе – хэш-таблица. Эта вложенная хэш-таблица имеет три возможных значений ключа, определяющих, в какой части отзыва встречается данное словосочетание – в тексте, достоинствах или недостатках. Значением во вложенной хэш-таблице является список ID всех отзывов, в соответствующей части которого встретилось словосочетание.

4. Следующим этапом получившаяся объединенная хэш-таблица последовательно просматривается, и в итоговую хэш-таблицу с той же структурой заносятся только те словосочетания, который встретились в отзывах более одного раза.

5. После этого итоговая хэш-таблица сортируется по суммарному количеству ID, перечисленных в трех списках (для текста отзыва, достоинств и недостатков), т.е. по частоте попадания данной биграммы в отзывы данной темы собранной коллекции.

Поиск триграмм выполняется по аналогичному алгоритму, только вместо пар слов рассматриваются тройки.

Количество собранных словосочетаний из двух и трех слов из имеющейся коллекции отзывов, представлено в табл. 2. Соотношение количества биграмм и количества триграмм для разных тем отличается. Наибольшее различие для темы «Отели» (31.3% – биграммы, 68.7% – триграммы, разрыв – 37.5%). Наименьшее различие для темы «Телефоны» (50.2% – биграммы, 49.8% – триграммы, разрыв – 0.4%). Для трех тем перевес в сторону биграмм, для семи тем – перевес в сторону триграмм.

Таблица 2

Количество словосочетаний по темам

Тема	2 слова	3 слова
Книги	2 340 865	3 823 618
Фильмы	1 939 956	3 219 926
Музыка	14 870	8 783
Отели	1 533 479	3 371 876
Банки	485 497	841 216
Рестораны	63 712	49 376
Бытовая техника	641 451	925 383
Компьютеры	512 054	665 885
Автомобили	646 368	896 881
Телефоны	149 925	148 709

На следующем этапе исследования был составлен список из 257 стоп-слов, к которым были отнесены, в частности некоторые предлоги, союзы, однобуквенные слова и слова, явно не имеющие эмоциональной окраски. Эти слова были удалены из собранной коллекции отзывов. Количество слов в отзывах по темам до и после удаления представлено в табл. 3. Было удалено от 30.6% общего количества слов (для темы «Книги») до 47.8% слов (для темы «Рестораны»).

Таблица 3

Удаление стоп-слов

Тема	Слов до удаления стоп-слов	Слов после удаления стоп-слов
Книги	29 558 578	15 715 790
Фильмы	24 666 792	12 273 993
Музыка	94 675	45 732
Отели	24 688 271	11 698 561
Банки	5 900 257	3 024 505
Рестораны	508 431	179 458
Бытовая техника	6 639 380	2 526 319
Компьютеры	5 058 544	2 047 849
Автомобили	6 794 387	2 886 286
Телефоны	1 204 651	499 829

Далее алгоритм поиска биграмм и триграмм был запущен заново на полученной коллекции. Количество собранных словосочетаний из двух и трех слов

из имеющейся коллекции отзывов после удаления стоп-слов, представлено в табл. 4.

Таблица 4

Количество словосочетаний по темам после удаления стоп-слов

Тема	2 слова	3 слова
Книги	2 464 255	1 890 080
Фильмы	2 045 411	1 708 483
Музыка	9 339	3 885
Отели	1 646 118	2 197 428
Банки	488 737	463 033
Рестораны	49 502	25 043
Бытовая техника	625 262	561 636
Компьютеры	493 469	355 474
Автомобили	628 940	489 257
Телефоны	126 324	75 924

Соотношение количества биграмм и количества триграмм для разных тем различно. Наибольшее различие для темы «Музыка» (70.6% – биграммы, 29.4% – триграммы, разрыв – 41.2%). Наименьшее различие для темы «Банки» (51.4% – биграммы, 48.6% – триграммы, разрыв – 2.7%). Для девяти тем перевес в сторону биграмм, только для темы «Отели» перевес в сторону триграмм (на 14.3%).

Удаление стоп-слов в большинстве случаев привело к значительному уменьшению формируемых списков словосочетаний из двух и трех слов. Для триграмм везде наблюдается уменьшение: от 34.8% для темы «Отели» до 55.8% для темы «Музыка». Для биграмм же значительное уменьшение имеется лишь для тем «Музыка» (37.2%), «Рестораны» (22.3%) и «Телефоны» (15.7%). Для всех остальных тем количество получаемых словосочетаний их двух слов после удаления стоп-слов либо незначительно уменьшается (темы «Бытовая техника», «Компьютеры», «Автомобили» – от 2.5% до 3.6%), либо даже увеличивается. Для темы «Банки» количество биграмм увеличивается на 0.7%, для темы «Книги» – на 5.3%, для темы «Фильмы» – на 5.4%, для темы «Отели» – на 7.3%.

Анализ полученных словосочетаний до и после удаления стоп-слов показал, что после их удаления выделяемые словосочетания стали более осмысленными. Например, до удаления стоп-слов в нескольких темах в десятку наиболее

часто встречающихся словосочетаний входили такие фразы, как «то что», «в этот», «у я», «о то что» и т.п. (слова в нормальной форме), не имеющие значения для дальнейшего исследования. Таким образом, списки словосочетаний, полученные до удаления стоп-слов, далее не использовались, а в дальнейшем исследовании применялись только списки, сформированные после удаления стоп-слов.

На следующем этапе для полученных списков словосочетаний было выполнено вычисление релевантной частоты *rf* (Relevance Frequency) [Lan et al.] для каждой темы отдельно для биграмм и триграмм. Для этого использовалась формула:

$$rf = \log\left(2 + \frac{a}{\max(1, c)}\right), \qquad 1)$$

где *a* – количество вхождений объекта в один класс, *c* – количество вхождений объекта во второй класс. Таким образом при вычислении глобального веса словосочетания используется информация о распределении этого словосочетания по отзывам с учетом принадлежности отзыва к позитивным или негативным.

Поскольку в каждой теме количество позитивных и негативных отзывов не совпадает, а имеется значительное преобладание отзывов той или иной тональности [Котельникова, Котельников, Разова], для уравновешивания этой диспропорции стандартная формула (1) была доработана. Для этого вычислялось количество отзывов с позитивной и негативной оценками. Далее высчитывалась величина *proportion* – отношение количества позитивных отзывов к количеству негативных (в целом по теме). Стандартная формула вычисления *rf* модифицировалась следующим образом:

$$rf_{pos} = \log\left(2 + \frac{pos\_count \cdot \frac{1}{proportion}}{\max(1, neg\_count)}\right) \qquad 2)$$

$$rf_{neg} = \log\left(2 + \frac{neg\_count \cdot proportion}{\max(1, pos\_count)}\right) \qquad 3)$$

где pos_count – количество отзывов с позитивной оценкой, в которые входит рассматриваемое словосочетание, neg_count – количество отзывов с негативной оценкой, в которые входит рассматриваемое словосочетание.

В табл. 5 приведен список из пяти би- и триграмм в каждой теме, имеющие наибольшие значения rf_{pos} и rf_{neg}. Напомним, что слова представлены в нормальной форме.

Таблица 5

Словосочетания с наибольшими значениями релевантной частоты

	2 слова		3 слова	
Тема	позитивные	негативные	позитивные	негативные
Книги	"обязательно продолжать", "немного наивный", "добрый история", "хотеться расставаться", "смочь отрываться"	"абсолютно плоский", "бездарно потратить", "тупой диалог", "претензия философия", "жанр эзотерика"	"целое книга понравиться", "узнавать много новый", "очень интересно наблюдать", "не хотеться расставаться", "не давать заскучать"	"очень жаль потратить", "плохой книга прочитывать", "плохой книга читать", "большой книжный разочарование", "не советовать тратить"
Фильмы	"уолтер уайт", "джон нэш", "очень жизненный", "оставлять никто", "просмотр обязательный"	"единственный интересный", "единственный приятный", "отвратительный актерский", "сценарий ужасный", "крайне разочарованный"	"советовать все посмотреть", "не оставлять никто", "фильм получаться отличный", "захватывать первый минута", "заставлять многое задумываться"	"единственный плюс фильм", "единственный понравиться так", "отвратительный игра актер", "разочарование не предел", "мочь спасать фильм"
Музыка	"очень нравиться", "очень хороший", "хороший песня", "песня очень", "хороший музыка"	"не советовать", "самый ужасный", "нет смысл", "мат мат", "можно только"	"советовать все послушать", "альбом очень понравиться", "очень нравиться песня", "все советовать послушать", "но все равный"	"вообще не понимать", "никогда не нравиться", "никогда не понимать", "не понимать всеобщий", "ставить палец вверх"

	2 слова		3 слова	
Тема	позитивные	негативные	позитивные	негативные
Отели	"питание отличный", "спасибо персонал", "уютный чистый", "отель спокойный", "просторный чистый"	"персонал отвратительный", "отвратительный отдых", "кошмарный отель", "столовая грязь", "грязный бар"	"персонал очень вежливый", "спасибо персонал отель", "но очень уютный", "небольшой но очень", "персонал очень приветливый"	"пожалуй единственный плюс", "отель отдых испортить", "хотеть испортить отпуск", "очень старый грязный", "номер очень грязно"
Банки	"особый благодарность", "свой благодарность", "благодарность менеджер", "единственный минус", "хотеться поблагодарить"	"грубый форма", "продлять день", "жалоба цб", "обращаться суд", "дополнительный время"	"огромный благодарность сотрудник", "хотеться выражать благодарность", "выражать свой благодарность", "выражать огромный благодарность", "очень довольный работа"	"никто не советовать", "просить разбираться данный", "срок рассмотрение обращение", "горячий линия сбербанк", "разбираться данный ситуация"
Рестораны	"ничто особенный", "неплохой место", "остальное все", "действительно вкусный", "кухня неплохой"	"ни нога", "больше никогда", "отвратительный обслуживание", "ужасный место", "нет плюс"	"большой выбор вино", "не очень удобный", "хороший кухня приятный", "очень понравиться салат", "очень много народ"	"никто не советовать", "кухня обслуживание высокий", "больше туда ни", "очень рад выбирать", "интерьер высокий уровень"
Бытовая техника	"все рекомендовать", "покупка довольный", "полностью оправдывать", "довольный рекомендовать", "отличный машинка"	"сплошной недостаток", "очень разочаровывать", "сплошной разочарование", "полный разочарование", "советовать никто"	"покупка очень довольный", "раз не пожалеть", "брать не пожалеть", "раз не подводить", "оставаться очень довольный"	"никто не рекомендовать", "не выполнять свой", "никто не советовать", "не рекомендовать покупка", "покупать не советовать"

	2 слова		3 слова	
Тема	позитивные	негативные	позитивные	негативные
Компьютеры	"полностью оправдывать", "оставаться довольный", "очень достойный", "большой плюс", "отличный вариант"	"сплошной недостаток", "самый ужасный", "нет достоинство", "выбрасывать ветер", "постоянно пропадать"	"брать не пожалеть", "покупка очень довольный", "очень довольный покупка", "раз не пожалеть", "недостаток не обнаруживать"	"не рекомендовать покупка", "никто не советовать", "крайне не рекомендовать", "не брать ни", "никто не рекомендовать"
Автомобили	"средний расход", "не уставать", "все устраивать", "машина довольный", "только положительный"	"никакой достоинство", "компания ооо", "ужасный сервис", "городской суд", "суд замена"	"машина очень довольный", "тьфу тьфу тьфу", "дорога держать отлично", "раз не пожалеть", "высоко всякий похвала"	"ооо юг моторс", "таганрогский городской суд", "ул российский м", "компания ооо юг", "бракованный опасный окружающий"
Телефоны	"не подводить", "минус нет", "единственный минус", "ик порт", "удобный клавиатура"	"сплошной недостаток", "ужасный телефон", "независимый экспертиза", "отвратительно работать", "вызов вообще"	"не очень удобный", "телефон очень хороший", "раз не подводить", "брать не пожалеть", "телефон очень удобный"	"никто не советовать", "первый впечатление хороший", "не реагировать не", "сервисный центр после", "никогда не взять"

Полученный список словосочетаний в дальнейших исследованиях будет применяться для создания словарей оценочной лексики и при разработке систем анализа тональности. Кроме того, в дальнейшем планируется осуществить сбор словосочетаний из четырех и пяти слов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, государственное задание ВятГУ № 34.2092.2017/4.6.

Список литературы

1. Taboada M. Sentiment Analysis: An Overview from Linguistics // Annual Review of Linguistics. 2016. No. 2. P. 325–347.

2. Manually Created Sentiment Lexicons: Research and Development / Kotelnikov E.V. et al. // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Pa-

pers from the Annual International Conference “Dialogue”, 01–04 June 2016. Issue 15 (22). P. 281–295.

3. Котельникова А. В., Котельников Е. В., Разова Е. В. Технология сбора и анализа отзывов пользователей с веб-сайтов // V Международная научно-практическая конференция «Проблемы эффективности функционирования технических и информационных систем» (Санкт-Петербург, 20 ноября 2017 г.). Санкт-Петербург, 2017. С. 71–76.

4. Котельникова А. В., Котельников Е. В. Анализ отзывов интернет-пользователей для разных предметных областей // XVIII Международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии» (IPMT-2018), Воронеж, 8–9 февраля 2018 г.

5. Морфологический парсер mystem. URL: https://tech.yandex.ru/mystem (дата обращения 09.02.2018).

6. Supervised and traditional term weighting. Methods for automatic text categorization / Lan M. et al. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 31, No. 4, April 2009. P. 721–735.

Накопление электромагнитной энергии в длинной линии

Красиков М.И.[a], Куклин В.В.[b], Фуфачев А.С.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b]
преподаватель кафедры автоматики и телемеханики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
e-mail: mikras@mail.ru[a], kvval1@yandex.ru[b], ant.fufachev@gmail.com[c]

Аннотация: В статье с единых позиций рассмотрены вопросы о накоплении и о распределении энергии электромагнитного поля в идеальной длинной линии без потерь, а также о распределении реактивной мощности по ее длине в установившемся режиме при произвольном характере нагрузки в режимах бегущих, стоячих и смешанных волн. Выведены формулы для определения количества полной, активной и реактивной энергий в линии, а также для вычисления её нагруженной добротности. Рассмотрена упрощенная рекурсивная модель расчёта переходного процесса накопления реактивной энергии в длинной линии. Изложенный материал является достаточным для выполнения расчета энергетического баланса идеальной длинной линии в любом режиме её работы при любом характере нагрузки.

Ключевые слова: электротехника, радиотехника, стоячие волны, реактивная энергия, коэффициент отражения, переходный процесс.

Введение

Статья содержит три части, в которых с общих позиций рассматриваются вопросы накопления и распределения активной, реактивной и полной энергий электромагнитного поля по длине идеальной длинной линии. Примененный подход теоретических исследований основан на методах классической электротехники и опирается на известные исходные данные о законах распределения напряжения и тока по длине линии.

Обозначим предмет исследования и его основные свойства. **Длинная линия** передачи электромагнитной энергии представляет собой распределенную радиотехническую систему линейного вида, состоящую из комбинации проводников и диэлектрика, имеющую следующие первичные удельные физические параметры: L_1 – погонная индуктивность, Гн/м, C_1 – погонная емкость, Ф/м, R_1 – погонное сопротивление, Ом/м, G_1 – погонная проводимость, См/м. В рассматриваемой нами идеальной линии без потерь величины R_1 и G_1 равны нулю. Дальний от источника конец линии нагружен.

Волновое сопротивление $Z_в$, Ом и фазовая скорость распространения волны в линии $V_ф$, м/с являются вторичными параметрами [Баскаков, с. 12], они связаны с первичными параметрами идеальной линии следующим образом, где β – коэффициент фазы, λ – длина волны, м, ω – угловая частота, рад/с:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{L_1 / C_1}\,, \quad V_{\text{ф}} = 1/\sqrt{L_1 C_1} = \omega/\beta\,, \quad \beta = 2\pi/\lambda\,, \quad C_1 = 1/(V_ф Z_{\text{в}})\,, \quad L_1 = Z_{\text{в}} / V_ф\,.$$

1. Распределение энергии в линии в установившемся режиме

Рассмотрим распределение в линии электромагнитной энергии по окончании переходного процесса её накопления при гармоническом входном сигнале. Длинная линия может работать в режимах бегущей и стоячей волн в любых соотношениях между ними, которые определяются характером нагрузки (активная, реактивная, комплексная) на конце линии и величиной ее комплексного сопротивления. Для любого режима работы идеальной длинной линии известны законы распределения действующих значений напряжения и тока по её длине [Баскаков, с. 39]:

$$U(z) = U_{\text{п}} \sqrt{1 + 2\,\rho Cos(2\beta z - \varphi) + \rho^2} = U_{\text{п}}\,\widetilde{U}(z),$$

$$I(z) = I_{\text{п}}\,\sqrt{1 - 2\rho Cos(2\beta z - \varphi) + \rho^2} = I_{\text{п}}\,\widetilde{I}(z), \qquad (1)$$

где $U_{\text{п}}$ и $I_{\text{п}}$ – действующие значения напряжения и тока прямой волны линии, ρ и φ – модуль и фаза комплексного коэффициента отражения от нагрузки падающей на неё волны, z – продольная координата вдоль линии, отсчитываемая в обратном направлении от нагрузки. Максимумы и минимумы указанных в (1) выражений чередуются с интервалом в четверть длины волны в линии, при этом подкоренные выражения переходят друг в друга.

Найдём полную энергию в линии на участке её длины между произвольными сечениями z_1 и z_2, исходя из того, что она есть сумма усредненных за период энергий электрического и магнитного полей, проинтегрированных по длине линии на данном участке. Подставив в подынтегральные выражения соответствующие формулы $U(z)$ и $I(z)$ из (1) и перейдя от первичных параметров линии к вторичным параметрам, получим выражение для полной энергии $W_{\text{п}}$ в линии в среднем за период:

$$W_{\text{п}} = \overline{W_{\text{эл.}}} + \overline{W_{\text{маг.}}} = \frac{C_1}{2}\int_{z1}^{z2} U^2(z)\,dz \;+\; \frac{L_1}{2}\int_{z1}^{z2} I^2(z)\,dz \;=$$

$$= \frac{1}{2V_{\text{ф}}}\,\frac{U_{\text{п}}^2}{Z_{\text{в}}}\int_{z1}^{z2}\widetilde{U}^2(z)\,dz \;+\; \frac{1}{2V_{\text{ф}}}\,Z_{\text{в}}\,I_{\text{п}}^2\int_{z1}^{z2}\widetilde{I}^{\,2}(z)\,dz =$$

$$= \frac{1}{2V_{\text{ф}}}\,\text{P}_{\text{п}}\int_{z1}^{z2}\{\widetilde{U}^2(z) + \widetilde{I}^{\,2}(z)\}\,dz = \frac{1}{2V_{\text{ф}}}\,P_{\text{п}}\int_{z1}^{z2}(2+2\rho^2)\,dz \;=$$

$$= \frac{z_2 - z_1}{V_{\text{ф}}}\,P_{\text{п}}\;(1+\rho^2) \;=\; P_{\text{п}}\;(1+\rho^2)\,T \;=\; (P_{\text{п}} + P_{\text{о}})\,T\,, \qquad (2)$$

где $P_{\text{п}} = U_{\text{п}}^2 / Z_{\text{в}} = I_{\text{п}}^2\,Z_{\text{в}}$ – мощность прямой (падающей на нагрузку) волны, $P_{\text{о}} = P_{\text{п}}\,\rho^2$ – мощность обратной (отраженной от нагрузки) волны, $T = (z_2 - z_1)/\,V_{\text{ф}}$ – время пробега волны вдоль участка линии в один конец. При этом мощность в нагрузке равна разности мощностей прямой и обратной волн: $P_{\text{н}} = P_{\text{п}} - P_{\text{о}}$.

Из полученного в (2) результата мы видим, что в установившемся режиме усредненная за период энергия электромагнитного поля распределена по длине линии равномерно при любом характере нагрузки независимо от выбранного участка. При наличии в линии отраженной волны эта энергия перераспределяется по-разному в разных сечениях линии между электрической и магнитной компонентами в соответствии с неравномерными распределениями напряжения и тока (1), но в сумме оставаясь константой.

Количество накопленной реактивной энергии W_p в линии можно найти по правилу треугольника, зная количество полной $W_{\text{п}}$ и активной $W_{\text{а}} = (P_{\text{п}} - P_{\text{о}})\,T$ энергии в линии. Нагруженная добротность $Q_{\text{н}}$ вычисляется через отношение накопленной в линии реактивной энергии к активной энергии, потраченной в нагрузке за время пробега волны вдоль линии *T*:

$$Q_{\text{н}} = \frac{W_p}{W_{\text{а}}} = \frac{2\rho}{1-\rho^2}\,, \qquad W_p = \sqrt{W_{\text{п}}^{\,2} - W_{\text{а}}^{\,2}} = 2\rho\,P_{\text{п}}\,T\,. \qquad (3)$$

2. Распределение реактивной мощности в установившемся режиме

При условии существования в линии обратной волны, отраженной от нагрузки, в линии накапливается реактивная энергия, которая концентрируется

на участках между узлами (нулями) реактивной мощности и в установившемся режиме работы линии через границы участков не перемещается. Расстояние между двумя соседними узлами реактивной мощности равно четверти длины волны в линии. Расстояние от конца линии до ближайшего узла зависит от характера нагрузки – активная она или комплексная.

Найдем закон распределения реактивной мощности в сечениях линии на интервале между двумя соседними узлами. Известно следующее выражение локального баланса реактивной мощности *Q(z)* в двух произвольных сечениях линии z_1 и z_2, полученное из телеграфных уравнений [Баскаков, с. 24]:

$$Q(z_2) - Q(z_1) = 2\omega(\overline{W_{эл.}} - \overline{W_{маг.}}) = \omega C_1 \int_{z1}^{z2} U^2(z)\,dz - \omega L_1 \int_{z1}^{z2} I^2(z)\,dz. \qquad (4)$$

Положим начало отсчета вспомогательной координаты z' в точке узла реактивной мощности z_1 с граничными условиями в этой точке $z_1 = 0$, $Q(z_1) = 0$, $\varphi = 0$. Подставим в формулу (4) выражения для действующих значений *U(z)* и *I(z)* из формул (1) при выбранных граничных условиях:

$$Q(z') = \omega C_1 \int_0^{z'} U^2(z)\,dz - \omega L_1 \int_0^{z'} I^2(z)\,dz = \frac{\omega}{V_ф} P_п \int_0^{z'} \{\widetilde{U}^2(z) - \widetilde{I}^2(z)\}\,dz =$$

$$= \beta P_п 4\rho \int_0^{z'} Cos(2\beta z)\,dz = \frac{\beta}{2\beta} P_п 4\rho Sin(2\beta z') = 2\rho P_п Sin(2\beta z'). \qquad (5)$$

Таким образом, реактивная мощность на интервале между узлами при изменении координаты z' от *0* до $\lambda/4$ изменяется по закону (4) и принимает максимальное значение $Q_{макс} = 2\rho P_п$ в центральном сечении участка на расстоянии $z' = \lambda/8$ от обоих узлов (при этом $\beta z' = \pi/4$).

3. Расчет переходного процесса накопления реактивной энергии

При рассогласовании линии с нагрузкой, то есть при наличии в линии отраженной от нагрузки обратной волны, после включения источника может наблюдаться переходный процесс накопления реактивной энергии в линии с постепенным переходом самой линии и источника в стационарный установившийся режим. Процесс накопления энергии в линии связан с эффектом отраже-

ния обратной волны от начала линии (от источника) и с предельно-экспоненциальным увеличением с течением времени действующих значений напряжений и токов как прямой, так и обратной волны [Шимони, с 525]. Точные методы расчета достаточно сложны и могут быть связаны с вычислением не берущихся интегралов. Рассмотрим упрощенную модель расчета процесса накопления энергии в длинной линии при наличии в ней обратной волны.

Начнем с самого простейшего случая работы идеальной линии без потерь от идеального источника постоянного напряжения с нулевым внутренним сопротивлением. Источник подключается к началу линии в момент времени $t = 0$. Рассмотрим режимы холостого хода, короткого замыкания и произвольной активной нагрузки на конце линии. Примем следующие обозначения: E – напряжение источника, T – время пробега прямой или обратной волны вдоль линии в одну сторону, F (или F_{-1}) – напряжение прямой волны в линии после прохождения ее фронта в течение текущего (или предыдущего) интервалов пробега, R (или R_{-1}) – напряжение обратной волны в линии после прохождения ее фронта в течение текущего (или предыдущего) интервалов пробега, $U_н$ и $U_к$ – напряжения в сечениях начала и конца линии в течение текущего интервала пробега, Г – коэффициент отражения прямой волны от нагрузки, зависящий от отношения ее сопротивления к волновому сопротивлению линии. Коэффициент отражения он начала линии принят равным минус единице. Он установлен из условия нулевого внутреннего сопротивления источника и учтен в расчетной формуле для напряжения прямой волны F.

Учитывая отражение энергии волн от обоих концов линии, получим следующие рекурсивные формулы для расчета переходного процесса в линии:

$$F = E - R_{-1}, \qquad R = \Gamma\, F_{-1}, \qquad U_{н} = F + R_{-1}, \qquad U_{к} = F_{-1} + R. \tag{6}$$

Результаты расчёта переходного процесса по формулам (6) приведены в табл. 1. Рассмотрим результаты расчета.

В режиме холостого хода переходный процесс накопления энергии в линии полностью завершается к моменту времени $2T$, далее в разомкнутой линии устанавливается стационарный колебательный режим, при котором на выходе

линии наблюдается меандр амплитудой *2E* и периодом *4T*. В этом режиме энергия от источника не потребляется и в нагрузке не расходуется (ее сопротивление равно бесконечности). Во внутренних сечениях линии наблюдается интерференционный периодический процесс взаимодействия прямой и обратной волны, в результате которого напряжение в линии последовательно ступенчато принимает значения *0, E, 2E, E, 0, E* и т.д.

Таблица 1

Результаты расчета переходного процесса в длинной линии

Интервал T пробега волны	Режим ХХ Г = +1				Режим КЗ Г = -1				Режим нагруженной линии на активное сопротивление $R_н$			
	F	**R**	**$U_н$**	**$U_к$**	**F**	**R**	**$U_н$**	**$U_к$**	**F**	**R**	**$U_н$**	**$U_к$**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 – 1	E	0	E	0	E	0	E	0	E	0	E	0
1 – 2	E	E	E	2E	E	-E	E	0	E	Г E	E	(1+Г) E
2 – 3	0	E	E	2E	2E	-E	E	0	(1–Г) E	Г E	E	(1+Г) E
3 – 4	0	0	E	0	2E	-2E	E	0	(1–Г) E	($Г–Г^2$) E	E	($1–Г^2$) E
4 – 5	E	0	E	0	3E	-2E	E	0	($1–Г+Г^2$) E	($Г–Г^2$) E	E	($1–Г^2$) E
5 – 6	E	E	E	2E	3E	-3E	E	0	($1–Г+Г^2$) E	($Г–Г^2+Г^3$) E	E	($1+Г^3$) E
6 – 7	0	E	E	2E	4E	-3E	E	0	($1–Г+Г^2–Г^3$) E	($Г–Г^2+Г^3$) E	E	($1+Г^3$) E

В режиме короткого замыкания переходный процесс накопления энергии не заканчивается никогда, при этом напряжения прямой и обратной волны ступенчато с интервалом времени *2T* возрастают до бесконечных значений. По такому же закону возрастает и ток в короткозамкнутой нагрузке.

В режиме нагруженной на активное сопротивление линии наблюдается ступенчато-экспоненциальное изменение напряжений прямой и обратной волны, а также тока и мощности в нагрузке. При этом линия постепенно выходит на установившийся режим, в котором рассеиваемая в нагрузке мощность определяется только ее сопротивлением и напряжением источника и не зависит от волнового сопротивления линии.

Если вместо постоянного напряжения в момент времени $t = 0$ на вход линии подать **гармонический сигнал** от реального источника с ненулевым вы-

ходным сопротивлением, то сущность происходящих процессов накопления энергии в линии, работающей на произвольную рассогласованную нагрузку (в том числе и комплексную), принципиально не меняется. При условии согласования внутреннего сопротивления источника с входным импедансом линии (который имеется в установившемся режиме) переходный процесс остается таким же ступенчато-экспоненциальным. При этом в течение времени от *0* до *2T* источник работает в самом неоптимальном режиме на волновое сопротивление линии, так как нагрузку линии он еще не «видит». В течение последующих «ступенек» накопления энергии в линии ее входной импеданс ступенчато-экспоненциально приближается к оптимальному расчетному. При этом источник так же постепенно выходит на оптимальный согласованный режим отдачи в линию (и соответственно, в нагрузку линии) максимально возможной активной мощности, которая от волнового сопротивления линии не зависит.

В реальной линии передачи с активными потерями энергии и с дисперсионными искажениями описанные выше процессы усложняются. Колебательные и ступенчатые процессы с течением времени затухают и вырождаются, а сами ступеньки напряжений и токов с каждым проходом фронта волны вдоль линии сглаживаются.

Заключение

Изложенный в статье материал является достаточным для выполнения расчета баланса энергий идеальной длинной линии в любом режиме её работы при любом характере нагрузки.

Список литературы

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами – М.: Высшая школа, 1980. 152 с.
2. Шимони К. Теоретическая электротехника – М.: Мир, 1964. 773 с.
3. Красиков М.И., Куклин В.В. Распределение электромагнитной энергии в длинной линии. Сб. статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Секция 10: Современные проблемы физики, Барнаул, 14-17 ноября 2017 г. – Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2017. С. 957-958.

Определение оптимального места размещения на опоре индикатора короткого замыкания при вертикальном расположении проводов

Красных А.А.[a], Гаврилов Г.Г.[b], Деветьярова Э.Х.[c]
доктор технических наук, заведующий кафедрой электротехники и электроники[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[b]
старший преподаватель кафедры электротехники и электроники[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[a,b,c]

Аннотация: Рассмотрены причины, приводящие к значительному числу аварий в воздушных линиях электропередачи на деревянных опорах, в том числе, сопровождаемых короткими замыканиями. Обоснована необходимость скорейшего нахождения места повреждения. Одним из средств, позволяющих ускорить поиск, являются индикаторы короткого замыкания, стационарно устанавливаемые на опоры линий.

В статье представлены результаты исследований магнитных полей линий с вертикальным расположением проводов в режиме короткого замыкания, выявлены их особенности, что необходимо знать для создания качественного индикатора, способного надежно фиксировать факт протекания аварийного тока.

По результатам анализа полей определена оптимальная зона для размещения индикатора на опоре, а также установлены возможные варианты ориентировки в пространстве датчика магнитного поля. Установлена возможность создания универсального индикатора короткого замыкания, способного успешно работать как при смешанном, так и при вертикальном расположении проводов.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, распределительные сети 6-10 кВ, деревянные опоры, магнитное поле, ориентировка датчика.

В связи с поставленной перед НПЦ «Электробезопасность» ВятГУ задачей создания индикатора короткого замыкания (ИКЗ) нового типа на кафедре электротехники и электроники ведутся комплексные исследования, направленные на ее решение. На первых этапах проведен информационно-патентный поиск, проанализированы конструкции ИКЗ, предлагаемые на рынке РФ, варианты их установки. Опрос специалистов-энергетиков позволил определить зону расположения ИКЗ по высоте опоры, наиболее приемлемую с точки зрения монтажа, обслуживания, визуального распознавания светодиодной индикации, а также их сохранности. Проведены исследования магнитных полей воздушных линий электропередачи (ВЛ) в режиме короткого замыкания (КЗ) в плане опти-

мизации расположения ИКЗ относительно проводов при смешанном их расположении (треугольником), характерном для железобетонных опор.

В данной статье представлены материалы исследований магнитных полей при КЗ для ВЛ напряжением 6-10 кВ на деревянных опорах, которым свойственно вертикальное расположение проводов (рис. 1).

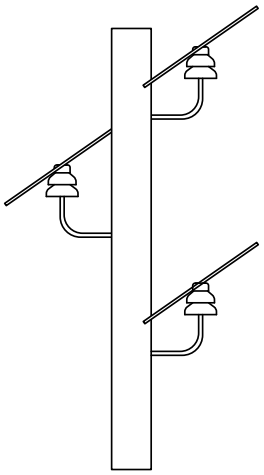


Рисунок 1. Вертикальное расположение проводов.

По результатам исследований планировалось определить место для ИКЗ по высоте опоры и наилучший вариант ориентировки датчика магнитного поля внутри ИКЗ. Итоговым в этой части исследований будет сопоставление оптимальных зон для ИКЗ и ориентировки магнитного датчика для вертикального и смешанного расположения проводов с целью выявления возможности создания универсального ИКЗ, способного хорошо работать на опорах разных видов.

Деревянные опоры преобладают в электрических сетях на ВЛ напряжением до 10 кВ. Так, например, в Кировской области 72% ВЛ 6-10 кВ установлены на деревянных опорах, из них более 90% – на деревянных опорах, смонтированных на железобетонных приставках (пасынках) [Красных, с. 11].

В последние годы в связи со снижением объемов работ по реконструкции, техническому перевооружению и замене конструктивных элементов ВЛ, наметилась тенденция прогрессирующего старения линий. Анализ технического состояния распределительных сетей 6-10 кВ показал то, что значительная часть ВЛ и оборудования подстанций несовершенны по конструкции, морально и физически устарели, не отвечают современным требованиям. Большая часть

электрооборудования подстанций и линий электропередачи давно отслужила свой нормативный срок.

Провода ВЛ при этом эксплуатируются в сложных условиях. Они находятся под напряжением, по ним протекает ток. Провода подвергаются воздействию резких колебаний температуры, ветра, гололеда, снега, грозовых разрядов. Существует опасность падения деревьев из примыкающего лесного массива, а также набросов, производимых посторонними лицами и т.п.

Вышеперечисленные причины объясняют большое число аварий в сетях. В Кировской области, например, число повреждений в год на 100 км длины ВЛ 6-10 кВ в среднем равно семи [Красных, с. 12]. Треть повреждений сопровождается межфазным замыканием, при котором линия автоматикой отключается.

В результате аварии выходит из строя дорогостоящее оборудование, нарушается электроснабжение потребителей, что ведет к большим штрафам, увеличивается недоотпуск электроэнергии. Ускорить нахождение места повреждения помогают стационарные ИКЗ, фиксирующие факт протекания тока КЗ на участках ВЛ, где они установлены. При использовании таких устройств достаточно обследовать только участок поврежденной линии между последним сработавшим ИКЗ и следующим за ним несработавшим.

Далее в статье представлены результаты исследований магнитных полей трехпроводной ВЛ с вертикальным расположением проводов (рис. 1), находящейся в режиме КЗ для всех трех случаев двойного (межфазного) замыкания. Методика расчета полей основана на законе полного тока и принципе суперпозиции [2]. Ток в замкнутых проводах был принят равным 200 А, то есть таким же, как и при расчетах линий на железобетонных опорах. При расчете использован типовой вариант размеров между проводами. Диапазон исследования точек по высоте опоры – от точки на уровне нижнего провода вниз до точки, находящейся на два метра ниже. На первом этапе рассчитывались вертикальные проекции векторов индукции (т.е. для вертикально расположенного датчика). Расчеты велись по оси опоры и параллельно ей, в ту сторону от опоры, где провод один, со смещением на 15 см и 35 см. Затем были проведены расчеты по

этим же линиям, но для датчика, повернутого в пространстве по часовой стрелке на угол 30°.

На рис. 2 показана схема для расчета вертикальной проекции вектора магнитной индукции в точке на оси опоры, находящейся на один метр ниже ближнего к земле провода для случая КЗ между фазами 1 и 2.

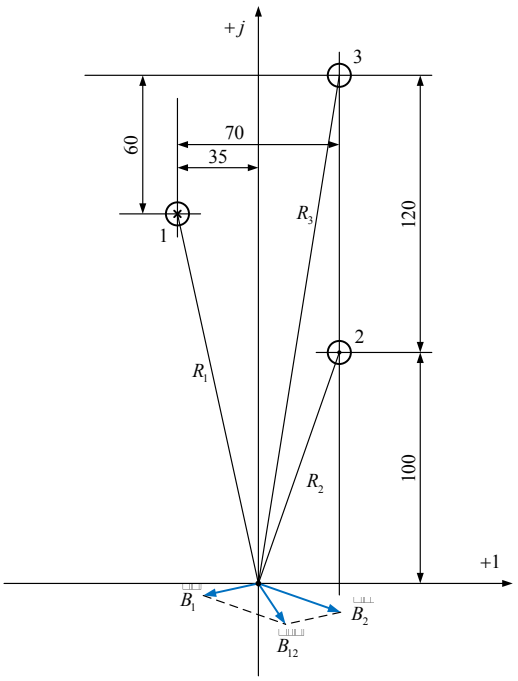


Рисунок 2. К расчету магнитной индукции

В табл. 1-2 приведены, для примера, результаты части расчетов проекций магнитной индукции, воспринимаемых датчиком магнитного поля, векторов $\dot{B}_{12}$, $\dot{B}_{13}$ и $\dot{B}_{23}$ при разных его положениях. Приведенные в таблицах значения магнитной индукции следует умножать на 10^{-7}.

На рис. 3-4 показаны построенные по данным из таблиц зависимости *B(l)*.

В таблицы добавлены коэффициенты, показывающие соотношения между максимальным и минимальным из трех значениями проекций $\dot{B}$ на ось датчика для каждой точки. Чем меньше это соотношение, тем проще установить оптимальную чувствительность датчика по току.

На рис. 3-4 показаны зависимости проекций $\dot{B}$ в функции расстояния *l* до уровня нижнего провода для двух случаев (датчик – вертикально, на рис. 3 для

точек на оси опоры – табл. 1, на рис. 4 – для точек на вертикальной линии, смещенной относительно оси на 35 см – табл. 4).

Таблица 1

Зависимость *B(l)* – датчик вертикально, точки на оси опоры

l	0	20	40	60	80	100	120	140
$\vec{B}_{12}$	1433	1045	620	380	251	177	131	101
$\vec{B}_{13}$	380	251	177	131	101	80	65	54
$\vec{B}_{23}$	1053	794	443	249	150	97	66	47
B_{max}/B_{min}	3,77	4,17	3,51	2,89	2,48	2,20	2,01	2,16

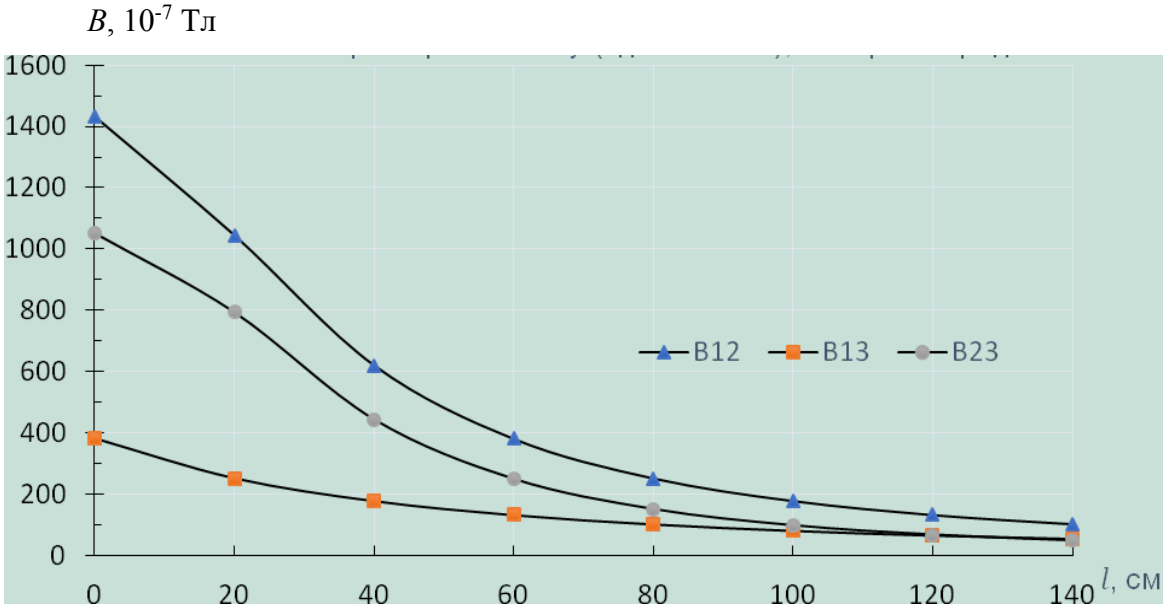


Рисунок 3. Зависимость $B(l)$ по данным табл. 1.

Таблица 2

Зависимость *B(l)* – датчик вертикально; точки по вертикальной линии, параллельной оси, со смещением на 35 см

l	0	20	40	60	80	100	120	140
$\vec{B}_{12}$	571	528	431	329	248	188	145	114
$\vec{B}_{13}$	145	114	92	75	62	53	45	39
$\vec{B}_{23}$	426	414	339	254	185	135	100	76
B_{max}/B_{min}	3,94	4,62	4,69	4,39	3,97	3,58	3,24	2,96

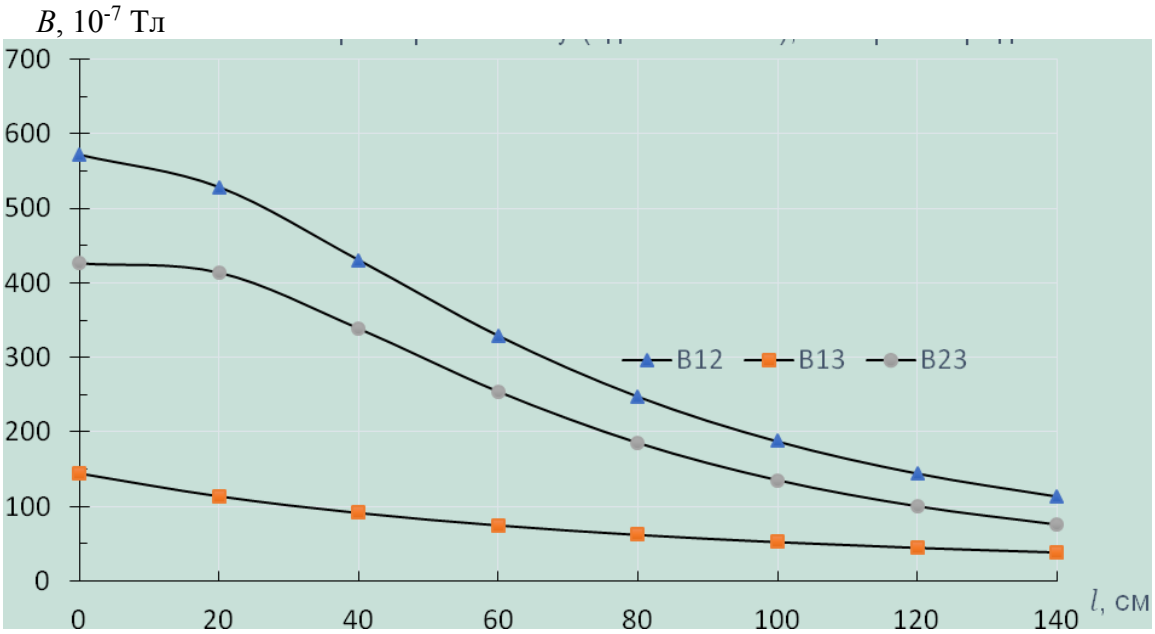


Рисунок 4. Зависимость $B(l)$ по данным табл. 2.

Аналогично для всех случаев были рассчитаны зависимости индукции $\vec{B}$ и ее проекций от расстояния для горизонтального расположения датчика магнитного поля.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы по поиску зоны оптимального расположения ИКЗ по высоте опоры и ориентировке в пространстве датчика магнитного поля:

1. На оптимальном для монтажа, эксплуатации и обеспечения сохранности расстоянии в (1…1,5) м ниже ближнего к земле провода при вертикальном расположении датчика магнитного поля соотношение наибольшей и наименьшей вертикальных проекций вектора индукции для всех трех вариантов КЗ самое малое. Это позволит во всех вариантах КЗ использовать один датчик, без подстройки чувствительности.

2. При вертикальном расположении проводов для обеспечения распознаваемости индикации издали (например, на участке ВЛ, проходящем по лесной просеке) возможен поворот до 90° ИКЗ на удерживающем его кронштейне в сторону, с которой расположен один провод.

3. При вертикальном расположении проводов возможна не только вертикальная, но и горизонтальная установка датчика магнитного поля.

4. При сравнении результатов представленных в статье расчетов для вертикального расположения проводов с ранее полученными данными для их смешанного расположения, где приемлем только вариант вертикальной ориентировки датчика магнитного поля, можно сделать вывод, что если стремиться изготовить универсальный ИКЗ, подходящий для различных конструкций ВЛ напряжение 6-35 кВ, то датчик магнитного поля в нем должен быть расположен вертикально. Практически одинаковый уровень вертикальных проекций векторов $\vec{B}$ будет в случае, если при вертикальном расположении проводов (деревянная опора) установить ИКЗ на опоре на 1 м ниже ближнего к земле провода, а при смешанном расположении проводов (железобетонная опора) – ниже ближних к земле проводов на 1,5 м.

С использованием данных, полученных в ходе исследований, разработана конструкция ИКЗ, изготовлена для полевых испытаний на ВЛ 10 кВ опытная партия индикаторов.

Список литературы

1. Красных А.А. Электрозащитные средства и устройства контроля для воздушных линий электропередачи. Киров, 2004. 235 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учеб./ Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2001. 317 с.

Контроль замыканий в воздушных линиях электропередачи с изолированной нейтралью

Красных А.А.[a], Кривошеин И.Л.[b], Газиев А.С.[c]
доктор технических наук, заведующий кафедрой электротехники и электроники[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[b]
аспирант кафедры электротехники и электроники[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[a,b,c]

Аннотация: в связи с поставленной энергетиками задачей создания нового типа индикаторов короткого замыкания в НПЦ «Электробезопасность» ВятГУ ведутся исследования, направленные на решение этой задачи. Оснащение линий электропередачи такими устройствами весьма актуально, так как они позволяют уменьшить время определения места повреждения, локализуя зону поиска, то есть помогают быстрее восстановить электроснабжение потребителей.

Применение таких индикаторов до настоящего до настоящего времени весьма ограничено, вследствие присущих известным на рынке РФ видам индикаторов недостатков, а также их высокой цены.

В статье представлена информация о существующих индикаторах короткого замыкания как отечественного, так и зарубежного производства, даны объяснения их устройства, принципов применения, описан метод проверки работоспособности, обозначены направления исследований, нацеленные на выявление причин и устранение имеющихся недостатков, существенное снижение себестоимости индикаторов короткого замыкания.

Ключевые слова: индикаторы короткого замыкания, распределительные сети, время поиска места повреждения, системы индикации.

В связи с тем, что на научно-техническом совете МРСК Центра и Приволжья в конце 2016 г. НПЦ «Электробезопасность» при кафедре электротехники и электроники была поставлена задача создания нового вида стационарного устанавливаемого на опоры воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 6-10 кВ индикатора короткого замыкания (ИКЗ), на кафедре начаты системные исследования, направленные на ее решение.

Распределительные сети напряжением 6-10 кВ – самые распространенные. Их суммарная протяженность в стране – более 2 млн. км, в Кировской области – более 20 тысяч км. В то же время среди линий напряжением выше 1000 В они наиболее изношенные, большая часть их находится в эксплуатации

гораздо дольше нормативных сроков. Возможности капитального ремонта и замены таких линий из-за недостаточного финансирования ограничены.

По этой причине и вследствие сложных климатических условий (обледенение и т.п.) число аварий на ВЛ 6-10 кВ велико. Наиболее часто аварии в таких сетях, являющихся сетями с изолированной нейтралью, сопровождается однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ) – более 65 % аварий. На ВЛ с ОЗЗ, если не произошло обрыва провода, допускается работа в аварийном режиме. Питание потребителей при этом сохраняется, но изоляция двух фаз находится по повышенным относительно земли напряжением, вследствие чего велика возможность перехода ОЗЗ в межфазное замыкание. В НПЦ «Электробезопасность» разработан и передан в промышленное производство цифровой переносной прибор [Красных; патент 2563340 РФ], который позволяет значительно снизить время поиска места повреждения в такой линии, показывая с помощью поворачивающейся стрелки на дисплее направления движения к нему.

Короткими замыканиями (КЗ) являются замыкания двух или трех фаз между собой. Количество замыканий двух фаз (через металлические части, упавшую на провода ветку, через землю и т.п.) составляет более 30 % замыканий. Довольно часто ОЗЗ переходят в межфазные КЗ. Трехфазные замыкания происходят редко.

В отличие от ОЗЗ при межфазных замыканиях релейная защита линию отключает. Поиск места КЗ на отключенной линии необходимо провести в кратчайшие сроки. Единственная возможность ускорить этот процесс – использовать информацию, передаваемую тем или иным способом стационарно установленными на проводах или опорах ВЛ ИКЗ, фиксирующими факт протекания тока КЗ на данном участке линии. Сопоставление показаний таких индикаторов позволяет выявить участок ВЛ, на котором произошло замыкание, т.е. сократить зону поиска.

Применяются ИКЗ в настоящее время весьма ограниченно вследствие некоторых эксплуатационных недостатков и высокой стоимости. Фактор цены очень важен, так как для оснащения ВЛ требуется большое число ИКЗ (при-

мерно 40-50 штук на 100 км ВЛ). Известные факты несрабатывания ИКЗ при межфазных замыканиях ставят в первую очередь вопросы о правильности сориентированности в пространстве находящихся внутри датчиков магнитного поля и об их чувствительности.

В статье представлены материалы проведенных на первом этапе исследований информационно-патентного поиска и анализа функциональных возможностей и конструкций существующих видов ИКЗ.

Итак, существует три варианта установки ИКЗ:

- на опору;

- на фазные провода;

- совмещенный (датчики тока – на проводах, а блок сбора и передачи информации – на опоре).

По способу передачи информации о наличии повреждений различают две группы ИКЗ:

1. С беспроводной передачей информации (световая индикация, радиоканал, GSM/GPS связь, самоорганизующиеся сети).

2. С проводной передачей информации (кабельный канал или высокочастотный канал ВЛ).

Сопоставление состояния ИКЗ, установленных в различных точках ВЛ, позволяет быстрее выявить повреждённый участок. Системы индикации разделяются на локальную и удаленную. Под локальной индикацией понимается такая, при которой контроль срабатывания осуществляется на близком (локальном) расстоянии порядка 100-300 м от ИКЗ. В данном случае используется визуальный контроль либо радиоканал. Под удаленной индикацией понимается то, что контроль срабатывания может осуществляться на большом расстоянии. То есть информация о наличии повреждения тем или иным способом передается в диспетчерский пункт, что позволяет максимально снизить время поиска аварии.

ИКЗ устанавливаются в стратегических точках линии, на ответвлениях или после секционирующих устройств (Рис. 1). Рекомендуется устанавливать

индикаторы на тех ответвлениях, суммарная протяжённость которых превышает 2 км. При возникновении замыкания начинают сигнализировать все ИКЗ между питающей подстанцией и местом повреждения. Индикаторы за местом повреждения и на исправных ответвлениях находятся в ждущем режиме.

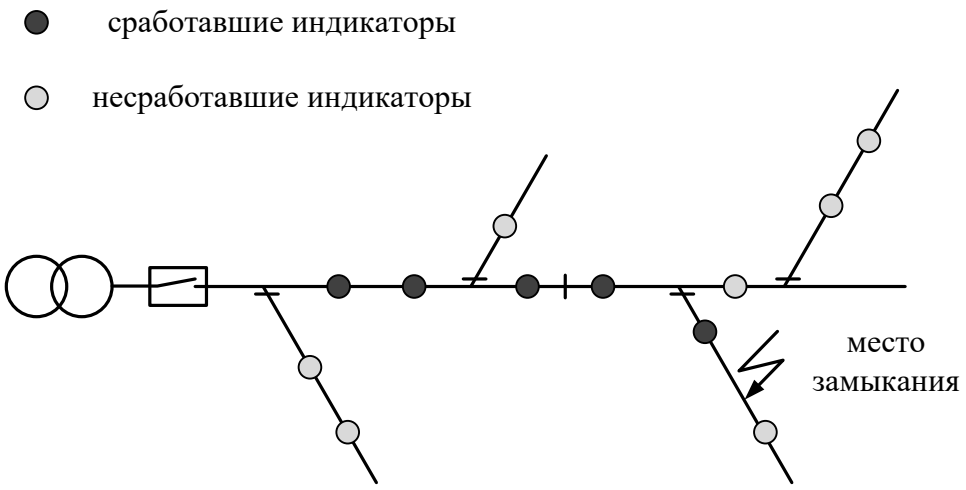


Рисунок 1. Схема установки ИКЗ и их работа при аварийной ситуации.

Индикаторы, монтируемые на фазный провод, могут использоваться в самых разных конфигурациях опор и сетей. ИКЗ, монтируемые на опоры, имеют некоторые ограничения на место установки. Нельзя ставить ИКЗ на ВЛ, находящейся вблизи с другой линией, на ответвительных опорах, на опорах с двухцепными линиями или если провод заземления располагается между индикатором и тремя фазами, так как это может негативно повлиять на работу ИКЗ.

Работа ИКЗ основана на анализе электромагнитного поля проводов. Протекающий по проводам ток создает электромагнитное поле (ЭМП), которое постоянно измеряется ИКЗ. Результаты измерения ЭМП подаются на детектор производной магнитной индукции dB/dt. Этот детектор автоматически подстраивается под нормальные условия в линии. Медленные изменения тока нагрузки на него не действуют. Ток короткого замыкания вызывает быстрое возрастание магнитного поля. Детектор в индикаторе обнаруживает это возрастание и реагирует.

Общая последовательность срабатывания ИКЗ следующая:

1. В течение некоторого периода времени линия должна быть под напряжением – около 5 секунд (блокировка от бросков пускового тока).

2. Ток в линии должен быстро увеличиться сверх установленного пользователем значения (уставка).

3. Линия должна обесточиться (критерий может быть отключен, он программируется пользователем).

Средство индикации может быть выполнено в виде блока магнитных флажков яркого цвета (Рис. 2). При резком броске тока появляется магнитная сила, которая поворачивает флажки. Поворот флажков яркой стороной наружу говорит о том, что было зафиксировано повреждение на ВЛ.



Рисунок 2. Блок магнитных флажков.

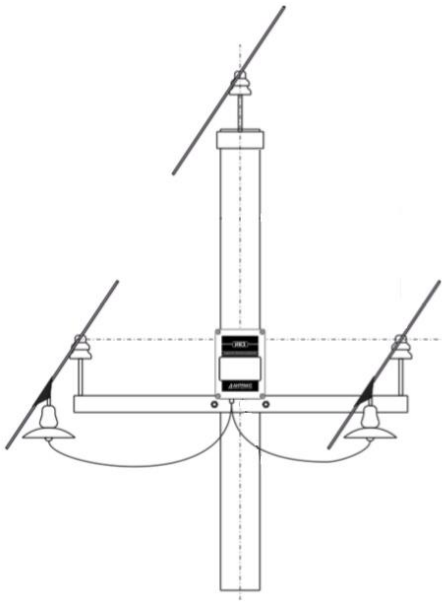


Рисунок 3. Расположение ИКЗ-В1.

В настоящее время на российском рынке представлены ИКЗ как зарубежного, так и отечественного производства. Российская компания «Антракс» производит ИКЗ [патент 126144 РФ] различных модификаций. (ИКЗ-1, 2, 3 серии). ИКЗ-В1 устанавливается на опору ВЛ (Рис. 3). Датчики магнитного и электрического поля располагаются в одном корпусе. Питание устройства осуществляется с помощью отбора емкостного тока линии от двух фаз, через дополнительные изоляторы. ИКЗ-В2 также устанавливается на опору (Рис.

4а). Питание индикатора осуществляется при помощи литиевой батареи. Датчики ИКЗ-В3 устанавливаются непосредственно на фазные провода, а устройство по сбору информации отсутствует (Рис. 4б), либо закрепляется на опоре (Рис. 5).



а) б)

Рисунок 4. Способы установки ИКЗ

а) ИКЗ-В2, б) ИКЗ-В3



Рисунок 5. ИКЗ-В3 (на проводах) с блоком сбора и передачи информации (на опоре).

ОКБ «АСТРОН» выпускает ИКЗ ВЛЭП АСТРОН-7080(8080), устанавливаемые на фазные провода. По конструкции они аналогичны ИКЗ-В3. Головное устройство отсутствует.

Зарубежная компания «Nortroll As» выпускает несколько видов ИКЗ, устанавливаемых как на фазные провода (Рис. 6а), так и на опору. Nortroll LineTroll 111K крепится на опору, ниже фазных проводов (Рис. 6б). Датчики магнитного и электрического поля этого ИКЗ, устройство по сбору, усилению и обработке информации располагаются в едином корпусе.



Рисунок 6а. ИКЗ Nortroll 110E.



Рисунок 6б. ИКЗ Nortroll 111K.

Большинство ИКЗ обладает возможностью проверки работоспособности без их демонтажа. На корпусе устройства находится метка, к которой нужно поднести источник магнитного поля (Рис. 7). Обычно в качестве источника используется постоянный магнит, закрепленный на оперативной штанге. Появление индикации говорит о том, что ИКЗ исправен. Одновременно, при этом возможна проверка состояния элемента питания



Рисунок 7. Место поднесения магнита.

Питание ИКЗ осуществляется от автономных источников электроэнергии, а именно – от литиевых батарей. Возможно также использование емкостных токов ВЛ, но при напряжении 6-35 кВ они малы для питания ИКЗ, к тому же усложняется его конструкция. Энергии такого тока достаточно лишь для возвращения флажков-индикаторов в исходное положение. Существуют также варианты ИКЗ с дополнительным источником питания, выполненным в виде солнечных батарей. Но это удорожает конструкцию и неприменимо в районах с малым количеством солнечных дней в году. Современные литиевые батареи рассчитаны на непрерывную работу прибора сроком не менее 10 лет (в режиме ожидания), поэтому нет большой необходимости в использовании дополнительных источников электроэнергии, а некоторые модели способны проработать в ждущем режиме до 20 лет.

Опрос специалистов отрасли подтвердил высокую потребность в оснащении ВЛ индикаторами короткого замыкания. Наиболее очевидным недостатком всех существующих на рынке РФ ИКЗ является их высокая стоимость. Поэтому практически актуальным считают разработку и организацию производства в России ИКЗ существенно меньшей стоимости и как минимум, без снижения их эксплуатационных характеристик.

Список литературы

1. Красных А. А., Кривошеин И. Л., Козлов А. Л. Переносные приборы для определения места однофазного замыкания на землю: Энергетик. 2015 №11. – С. 18 – 20.

2. Патент 2563340 РФ. Способ определения места однофазного замыкания на землю в разветвленной воздушной ЛЭП с изолированной нейтралью. / Красных А. А., Кривошеин И. Л., Козлов А. Л., Литвинов Д. Г., Машковцев И. И. – Опубл. 20.09.2015. Бюл. №26.

3. Патент 126144 РФ. Устройство для определения местоположения и вида повреждений воздушной линии электропередачи (Варианты). / Кучерявенков А. А., Карташев А. С. – Опубл. 20.03.2013. Бюл. №8.

Исследование и формализация методических указаний по внедрению идеологии Lean в процесс разработки ИС управления тренировочным процессом

Кротких И.А. [a], Петров И.Е[b].
Студент кафедры Прикладной информатики[a]
Кандидат технических наук, Заведующий кафедрой Прикладной информатики[b]
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация[ab]
E-mail: IlyaKrotkikh@yandex.ru[a], soft.rosko@mail.ru[b]

Аннотация: существуют разные подходы к менеджменту качества, однако большинство из таких систем рассматривают управление качеством как отдельную, обособленную от других процессов систему. В бережливом производстве, менеджмент качества, напротив, является частью целой системой с процессом производства на предприятии. Методики и инструменты, разработанные учеными для улучшения качества, в бережливом производстве адаптируются и эффективно применяются для улучшения остальных параметров процесса: техническую безопасность, время цикла, затраты на процесс, моральный климат для персонала. В статье производится анализ принципов применения бережливого производства в области разработки программного обеспечения, а также возможные методы и рекомендации приемлемые для внедрения в процесс разработки информационной системы управления тренировочным процессом.

Ключевые слова: бережливое производство, принципы lean, развитие проекта, качество проекта.

По мере развития проекта разработки программного обеспечения возникает множество проблем, которые могут стать причиной провала проекта разработки. Такая ситуация заставляет большинство менеджеров проектов вводить жесткие процессы контроля в проекте. Подобный подход позволяет в какой-то мере обезопасить проект от некоторых рисков, однако в значительной мере усложняет и замедляет работу остальных процессов.

Следует выделить основные риски при разработке программного обеспечения [Thomas A., с.1]: *Сложности планирования работ; Постоянно меняющиеся и увеличивающиеся требования к программному проекту от заказчика; Несогласованность или нарушение спецификации продукта; Низкая производительность команды разработки.*

Каждая из перечисленных проблем достаточно существенно влияет на проект разработки. В соответствии с этим, целесообразно на начальной стадии

развития проекта разработки обратиться к одной из существующих, успешных методик организации процесса. Одним из таких решений является внедрение и использование подходов бережливого производства. Данные принципы представляются как цельная и неделимая идеология по организации процесса создания ценности позволяющая разрешить наиболее частые и важные проблемы в области управления процессами.

Научная значимость данного исследования обуславливается результирующими методическими указаниями, которые будут внедряться в процесс разработки информационной системы управления тренировочным процессом, тем самым повышая качество и клиентоориентированность конечного продукта. Так же данные рекомендации возможно применять для организации менеджмента подобных проектов разработки программного продукта.

Объектом исследования данной работы является процесс разработки и развития информационной системы управления тренировочным процессом.

Предметом исследования будут являться методы и принципы применения бережливого производства в разработке программного продукта.

Цель работы заключается в формировании и закреплении: навыков применения инструментов бережливого производства к программным продуктам и процессам работы с ними.

Для достижения поставленных целей были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и анализ информации о принципах бережливого производства в разработке программного продукта.
2. Проанализировать и выделить основные проблемы процессе разработки ИС, подлежащие к дальнейшему решению.
3. Разработать и формализовать практики по решению выделенных проблем с учётом применения бережливого производства.

Для достижения поставленных целей будут использованы теоретические и общелогические методы, такие как анализ, синтез, гипотетико-дедуктивный метод и другие методы научного исследования.

Lean в разработке программного обеспечения

Концепции бережливого производства в разработке программного обеспечения основывались на концепциях бережливого производства в производстве, однако в связи, со специфичностью предметной области некоторые концепции и подходы перенесли некоторые изменения. В отличие от процессов по созданию физической продукции, обслуживания или снабжения, разработка программного обеспечения подразумевает формализацию идей и требований в конечный продукт, являющийся как самостоятельной единицей или одним из компонентов другого продукта.

Для правильного понимания принципов бережливого производства следует обратиться к определению «разработка» с точки зрения Lean. Мэри и Том Поппендик в книге «Бережливое производство программного обеспечения» дают следующие определения данному понятию:

Разработка – это процесс трансформирования идей в продукты. Авторы выделяют два метода данной трансформации «детерминистский» и «эмпирический» [Поппендик, с.42]. Отличаются данные подходы организацией реализации конечного продукта. При использовании детерминистского подхода требования продукта формируются в самом начале, а далее происходит его реализация. Эмпирический же подход подразумевает создание концепции будущего продукта, не заостряясь на конкретных деталях, после чего формируются процессы, посвященные разработке и созданию конкретной ценности в конечном продукте. Таким образом, исходя из двух данных методов, можно выделить, что бережливая разработка программного обеспечения возможно только при использовании эмпирического метода в котором. В соответствии с требованиями заказчика постепенно наращивается необходимый функциональный массив конечного программного продукта.

Необходимо понимать, что программный продукт может являться составной частью какого-либо продукта, поэтому, как на прямую, так и косвенно взаимодействовать с потребителем продукта. Поэтому стоить правильно опре-

делить всех клиентов программного продукта, которые будут взаимодействовать с ним.

Принципы Lean, определение проблемных моментов в разработке ИС и формализация практик по их разрешению.

В разработке программного обеспечения Мэри и Том Поппендик выделяют 7 принципов бережливой разработки программного обеспечения.

1. Ликвидация потерь

Данный принцип подразумевает полное избавление от непроизводственных затрат и минимизация затрат, связанных с производством. Для выполнения данного принципа необходимо определить, что значит ценность для клиента и построить цепочку производства ценности.

Переходя к разработке информационной системы управления тренировочным процессом, клиентами для производимой ценности будут пользователи информационной системы и в зависимости от их требований будет формироваться конечный продукт. Однако, создаваемая ценность будет не на столько очевидна, как кажется. С одной стороны, можно сказать, что ценностью может оказаться сама ИС, но данное предположение будет так же неверно, так как пользователи, которые будут взаимодействовать с системой будут пользоваться разными функциями в зависимости от их роли в данной информационной системе, таким образом, создавая полезность для одного пользователя, данная функция не будет нести совершенно никакой пользы для другого. Тогда, можно сказать, что ценностью для клиента будут функции, реализованные в данной ИС, тем не менее, такое предположение тоже окажется недостаточно истинным, так как подобное решение в ИС как комплекс обособленных блоков, предоставляющих определенный набор необходимых функций, подрывает целесообразность создания единой ИС вместо комплекса отдельных. Таким образом, можно сказать, что ценностью для пользователя в ИС можно назвать *комплекс интегрированных между собой функций*, необходимых для пользователя системы. Каждая функциональная возможность программы должна нести поль-

зу для пользователя системы, если не прямым, то косвенным способом – воздействуя на функции, используемые пользователем.

Бережливое производство выделяет 6 видов потерь [Вэйдер, с.16]. В разработке ПО перепроизводство и лишние запасы являются одними из основных видов потерь. Так как в процессе создания ценности происходит работа над программным продуктом, то следует понимать, что лишние запасы и перепроизводство в программном продукте являются излишним функционалом и неиспользованным программным кодом соответственно.

В ходе исследования программного кода ИС были выявлены некоторые неиспользуемые элементы программного кода. Таким образом для дальнейшего успешного развития проекта разработки ИС следует изъять все неиспользованные куски программного кода и убрать неиспользуемые функции.

2. Встраивание качества

Данный принцип заключается в производстве заранее качественного продукта, вопреки тестированию и проверке продукта на дефекты после стадии его производства. В производстве программных продуктов данный принцип предполагает внедрять «соответствующий уровень дисциплины» при разработке программного продукта.

Для реализации контроля качества программного кода можно обратиться к одному из правил «Экстремального» программирования – «Писать тесты программного кода до реализации данного кода» [Ауэр, с.115]. В соответствии с данным правилом программист должен продумать безошибочное поведение программного кода заранее до написания данного кода, тем самым достигая наилучшего качества производимого программного кода.

3. Создавать знание

В бережливом производстве процесс создания конечного продукта непрерывно связан с процессом создания знаний. Тем самым вырабатывая и формируя базу данных как успешных, так и не очень практик. Данный принцип подталкивает на создание процесса производства таким образом, чтобы этот

процесс был максимально отзывчивым на обратную связь от клиента данного процесса.

Текущая практика разработки информационной системы предполагает передачу знаний только при возникновении в этом потребности, что совершенно противоречит принципам Lean. Как выход из подобной ситуации возможно рассмотреть внедрение внутреннего портала на движке Wiki или подобном (для примера DokuWiki), для организации и хранения знаний и практик в разработке данного продукта, а также организации обратной связи [Gohr, с.1].

4. Откладывать необратимые решения

Суть принципа заключается в понимании того, что откладывание необратимых решений до последнего момента не является нерациональным поведением, а наоборот, позволяет избежать ошибок на основе поспешно принятых решений.

К числу таких решений можно отнести решения о переходе на более новую версию платформы, на которой основана ИС. Для избежание непредвиденных нежелательных последствий в следствии выполнения данного процесса, следует максимально поработать все изменения, которые произошли с платформой и подготовить программную базу к переходу. Во избежание потерь, связанных с такими решениями следует разработать алгоритм их проработки с дальнейшим его документированием.

5. Быстрая доставка

Принцип призывает сокращать время, прошедшее с момента потребности в продукте у клиента и получение клиентом готового продукта. Таким образом максимально быстро удовлетворив потребность клиента в продукте достигается наибольшая ценность данного продукта. При этом недопустимо увеличение скорости производства путем жертвования качеством, а наоборот, внедряя принципы встраиваемого качества достигать увеличения скорости производства.

На данный момент в процессе разработки ИС нет каких-либо регламентированных алгоритмов, позволяющих целенаправленно и последовательно

управлять задачами проекта. Для регулирования данного недостатка следует воспользоваться одним из инструментов бережливого производства – «Канбан». Так как в разработка проекта происходит при помощи ИС управления репозиториями. Для реализации системы «Канбан» подойдет продукт «GitLab Kanban Board», так как позволяет тесно интегрировать процесс прохождения задачи с ИС GitLab. Используя данный инструмент следует контролировать поток выполнения задач таким образом, чтобы начатая задача была завершена, при этом не допустимо откладывание данной задачи «на потом».

6. Уважать людей

Данный принцип плотно связан с процессом постоянного совершенствования и оптимизации функционирования процессов. Организовывая обратную связь непосредственно с участниками данного процесса можно получить наиболее актуальную информацию о проблемах данного процесса и принять соответствующие меры по усовершенствованию его.

7. Оптимизация целого

Концепция бережливого производства сконцентрирована на процессе создания ценности от его начала и до конца. Соответственно проводить оптимизацию требуется для всего потока, не допуская концентрации на чем-то конкретном. При этом требуется правильно выстроить поток создания ценности в самом процессе оптимизации, так как от этого зависит качество работы всей организации, недопустимо, чтобы метриками работы процесса оптимизации были сами устраненные потери.

Заключение

В соответствии с принципами бережливого производства в разработке программного обеспечения был проведен анализ процесса производства информационной системы управления тренировочным процессом, в ходе анализа, в соответствии с 7-ю принципами lean были выделены проблемные места в создании ценности, такие как: «перепроизводство» в виде запрограммированных, но неиспользуемых функций системы, также было выявлена необходимость

внедрения методик, которые призваны повысить качество программного кода, а следовательно повысить скорость создания ценности. Оказать помощь в достижении требуемых результатов должны такие инструменты как введение системы «Канбан» и портала-базы знаний, предназначенной для создания и передачи практик и правил при разработке информационной системы, а также ведения обратной связи.

Список литературы

1. 5 главных рисков при заказной разработке ПО // habrahabr.ru: URL: https://habrahabr.ru/company/edison/blog/271937/ (дата обращения: 20.12.2017).

2. Поппендик Мэри, Поппендик Том. Бережливое производство программного обеспечения От идеи до прибыли. - М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. - 256 с.

3. М. Вэйдер Инструменты бережливого производства. - УДК 65.011 изд. - Москва: ООО "Центр Оргпром", 2005.

4. Методики и принципы экстремального программирования // habrahabr.ru: URL: https://habrahabr.ru/post/197760/ (дата обращения: 23.01.2018).

5. DokuWiki // dokuwiki.org URL: https://www.dokuwiki.org/dokuwiki# / (дата обращения: 23.01.2018).

Нейронная сеть радиально-базисных функций в системе прогнозирования спортивных результатов

Крутиков А.К.[a], Клюкин В.Л.[b], Подковырин В.Д.[c]
магистрант кафедры электронных вычислительных машин[a]
старший преподаватель кафедры электронных вычислительных машин[b]
старший преподаватель кафедры физического воспитания[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: yadrodisk@yandex.ru[a], meltsov69@mail.ru[b], klyukin@vyatsu.ru[c] yasen201@yandex.ru[d]

Аннотация: Спортивное прогнозирование предполагает предугадывание результатов предстоящих спортивных событий, например, футбольных, хоккейных или баскетбольных матчей. Математические модели для прогнозирования результатов спортивных событий конечно существуют, но для прогнозирования индивидуальных показателей спортсменов с помощью практически не используется. В этом случае наиболее предпочтительны математические модели на основе методов многокритериального долгосрочного прогнозирования, применяемые в экономике и анализе телекоммуникационных сетей. В статье рассмотрены примеры использования радиально базисных сетей для прогнозирования результатов в индивидуальных видах спорта. Представлены экспериментальные данные с использованием тестовой обучающей выборки. Кратко рассмотрена модель системы для прогнозирования спортивных результатов на основе нейронных сетей. Приведено описание работы сети радиально-базисных функций. Составлена обучающая выборка, проведен ряд экспериментов с сетью радиально-базисных функций, произведен краткий анализ полученных экспериментальных данных, а также представлены графики, характеризирующие результаты, полученные в ходе эксперимента. Рассмотрены дальнейшие варианты и перспективы работы над системой прогнозирования.

Ключевые слова: спортивное прогнозирование, искусственная нейронная сеть, радиально-базисная сеть, обучающая выборка.

Спортивное прогнозирование предполагает предугадывание результатов предстоящих спортивных событий или контрольных тренировок спортсмена. В этой статье речь пойдет об индивидуальном спортивном прогнозировании, не затрагивая вероятностное. Спортивное прогнозирование - это популярное занятие в среде букмекеров, при этом в большинстве случаев все автоматизированные средства спортивного прогнозирования используют вероятностные математические модели, определяя при этом только вероятностный исход [1]. Математические модели для прогнозирования индивидуальных показателей спортсменов существуют, но практически не используется в автоматизирован-

ных средствах прогнозирования, а в случае индивидуального прогнозирования наиболее предпочтительны математические модели на основе методов многокритериального долгосрочного прогнозирования, применяемые в экономике и анализе телекоммуникационных сетей [Усков, с.44-46]. При прогнозе индивидуальных результатов учитывается достаточно большой набор факторов, параметров, промежуточных тестовых показателей, погодных условий и даже информацию о фармакологических средствах, используемых спортсменом и тренером в процессе подготовки. Выбор средств прогнозирования для электронных вычислительных машин сейчас крайне разнообразен. ИТ-сфера дает возможность использовать многообразие средств, одним из которых являются системы прогнозирования на основе логического вывода [Страбыкин, с.87-92], временные ряды, корреляционный анализ и системы на основе нейронных сетей (НС). Такое средство прогнозирования как нейронные сети позволяет решить сложную задачу прогнозирования результата, основываясь на наборе факторов. Прогнозирование с помощью нейронных сетей достаточно распространённый метод, так как способность нейронной сети к прогнозированию напрямую следует из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. Кроме того НС решает проблему кластеризации больших объемов данных, используемых при прогнозировании.

В рамках работы проводимой в ВятГУ, проектируется система предполагающая содержание нескольких нейронных сетей, каждая из которых прогнозирует группу видов спорта, либо отдельные виды спорта [Крутиков, с.44-52]. Структура данной системы представлена на Рис. 1.

Первые экспериментальные результаты получены на трех нейронных сетях – сети прямого распространения, радиально-базисной сети (РБФ) и обобщенно-регрессионной сети (ОРС) [Крутиков А.К., Мельцов В.Ю., с.163].

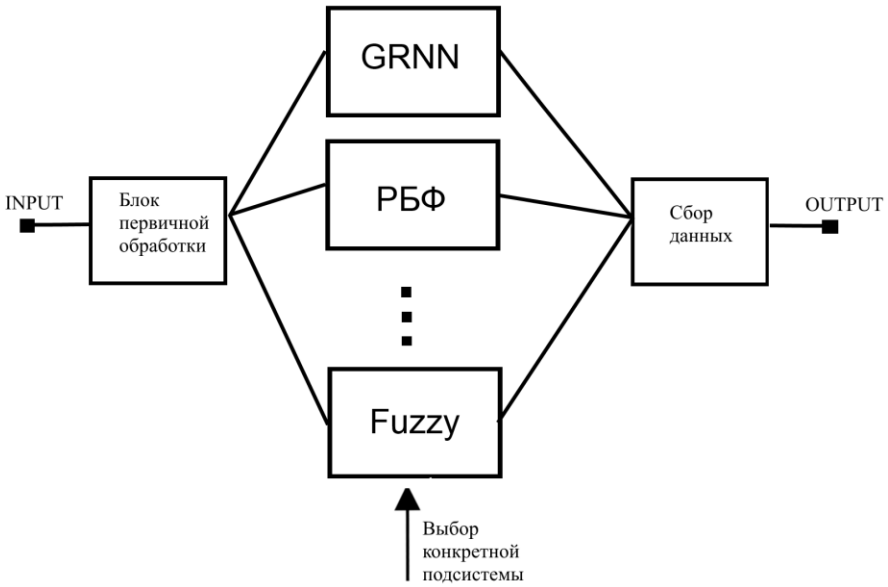


Рисунок 1. Обобщенная структура системы для прогнозирования спортивных результатов

На начальном этапе эксперименты проводились на обучающей выборке, составленной на основе показателях спортсмена толкателя ядра. Обучающая выборка имеет девять контрольных показателей и непосредственно результат. Минимальная среднеквадратичная ошибка в результате обучения получена при использовании радиально-базисной нейронной сети. Действительно прогноз, произведенный с помощью РБФ, очень точен.

Сеть радиально-базисных функций — искусственная нейронная сеть, которая использует радиальные базисные функции как функции активации. Выходом сети является линейная комбинация радиальных базисных функций входов и параметров нейрона. Сети радиальных базисных функций имеют множество применений, в том числе функции приближения, прогнозирования временных рядов, классификации и системы управления. Функция активации или выхода скрытого нейрона принимает большие значения лишь в тех случаях, когда входной образ находится вблизи от опорной точки этого нейрона. Для входов вне области, «покрытой» образами обучающей последовательности, сеть формирует лишь небольшие значения на своих выходах [6].

Обучающая выборка в экспериментах с РБФ имеет 345 векторов с девятью параметрами в каждом. График, построенный на основе обучающей выборки, представлен на Рис. 2.

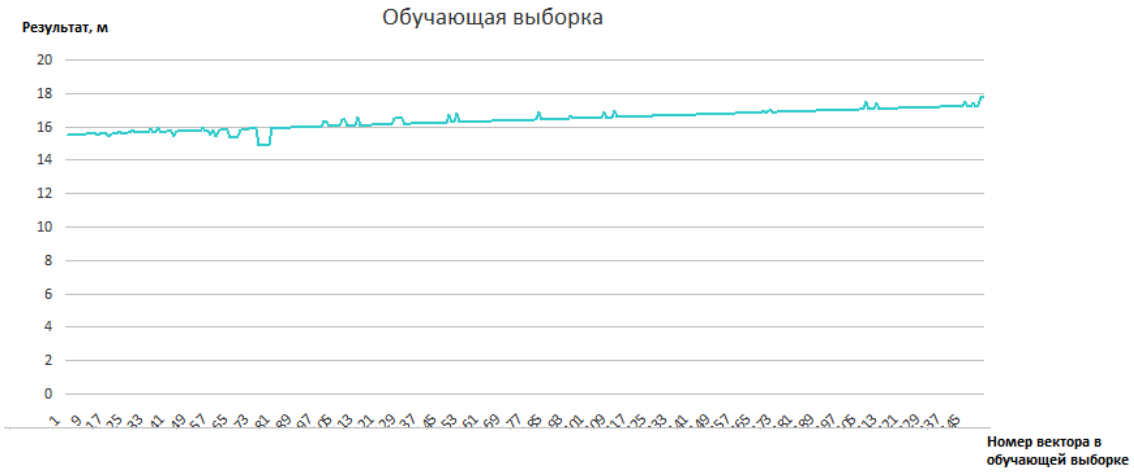


Рисунок 2. График построенный на основе обучающей выборки

Сеть создавалась и обучалась в среде MathLab, график построенный после обучения нейронной сети на основе тестовых результатов представлен на Рис. 3.



Рисунок 3. График, построенный на основе тестовых результатов, полученных после обучения РБФ сети

Как можно увидеть из графика сеть обучилась, с учетом всех «перепадов» на графике. Всего проведено более сорока экспериментов, ключевое сравнение параметров влияния и среднеквадратичной ошибки представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Сравнение результатов обучения радиально-базисной НС

Параметр влияния	Ошибка обучения
0.0005	8.2233e-04
0.005	8.2213e-04
0.05	8.7611e-04
0.5	8.6886e-04
5	2.1889e-04
50	6.3931e-06
500	2.0943e-06

Специалистам, не имеющим представления о нейронных сетях, а так же о той или иной спортивной сфере, может показаться, что такое прогнозирование решается очень просто, временным рядом или простой корреляцией, однако это не так. Ни временной ряд, ни корреляционная зависимость не решит такую проблему как падение результатов при высоких тестовых параметрах, неэффективности восстановительной фармакологии в определенные периоды и т.п. Для примера можно рассмотреть график (Рис. 4), где приведен фрагмент обучающей выборки и результатов уже обученной сети.

График иллюстрирует, что сеть использует свои способности к обобщению и обучается соответственно, понижение результатах, при обратном изменении параметров обучающей выборки нейронной сетью учитывается.

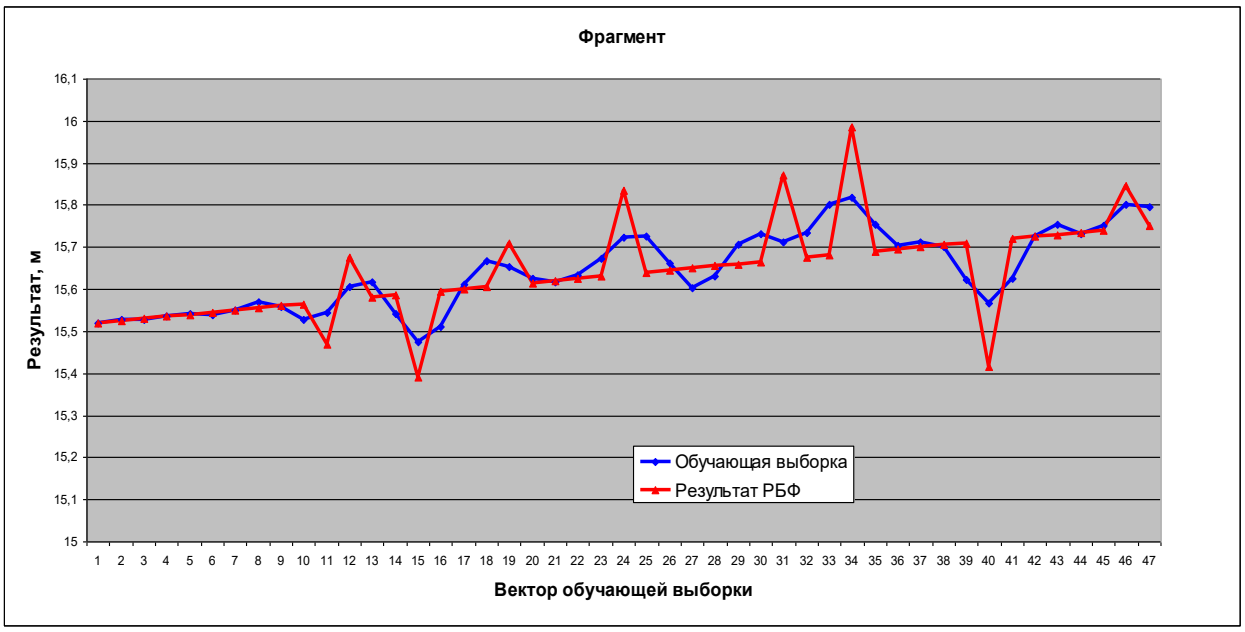


Рисунок 4. Совмещенный график

Экранные формы работы данной сети в среде MathLab представлены на Рис. 5.

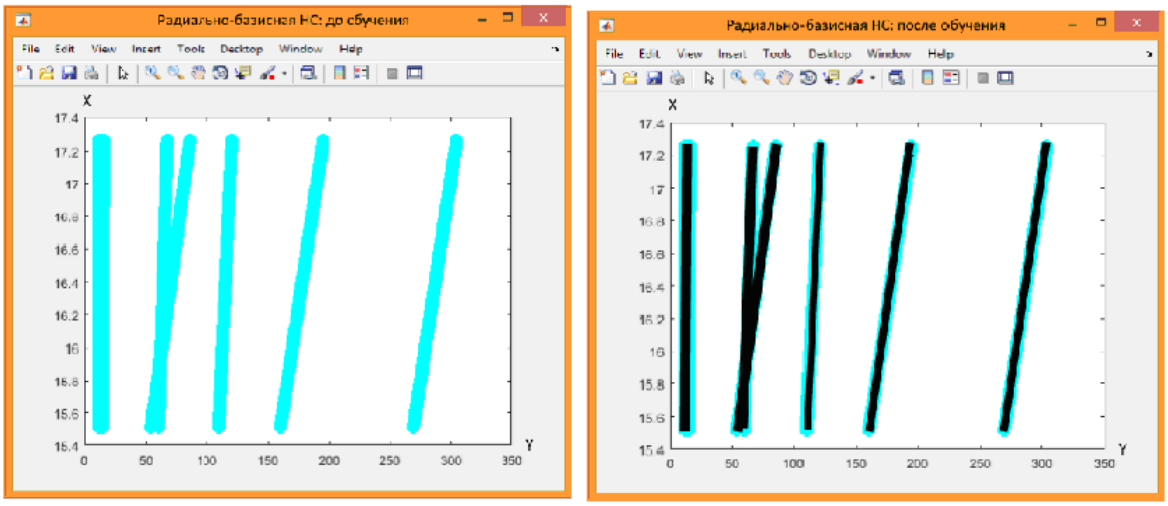


Рисунок 5. Экранные формы

РБФ хорошо проявила себя при прогнозировании результатов в толкании ядра. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что все, легкоатлетические метания близки друг к другу по силовой подготовке, и имеют большинство одинаковых общих контрольных нормативов, не считая специализированных показателей и упражнений [Бондарчук, с.132-137]. Поскольку обучающая выборка в данном виде спорта сходна с другими дисциплинами из группы легкоатлетических метаний (во всех легкоатлетических метаниях могут быть добавлены значения параметров спец. упражнений и некоторые значения погодных показателей), первично сделан вывод, о том, что РФБ-сеть подходит для достаточно точного прогнозирования результатов легкоатлетических метаний. При дальнейшей работе будут рассмотрены другие группы дисциплин, а также добавлены другие нейронные сети, такие как сеть Элмана, АРТ сеть и машина Больцмана.

Список литературы

1. Прогнозирование исходов спортивных игр. URL: http://neuronus.com/stat/207-prognosys-sport-neural-claster.html. – (Дата обращения 20.10.2017).

2. Усков А. А., Кузьмин А. В. Интеллектуальные технологии управления. М.: Горячая линия Телеком, 2004. 143 с.

3. Страбыкин Д.А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода. //Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 87-92.

4. Крутиков А.К., Клюкин В.Л. Прогнозирование спортивных результатов с помощью нейронных сетей. //Advanced Science. Технические науки. ВятГУ, 2017, №2. С. 44-52.

5. Крутиков А.К., Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д., Клюкин В.Л. Структура системы прогнозирования спортивных результатов на основе нейросетевого подхода //Современные научные исследования и разработки. 2017. № 7 (15). С. 163-170.

6. Сеть радиально-базисных функций. URL: https://studopedia.ru/ 7_130499 radialno-bazisnie-seti.html - (Дата обращения 26.01.2018).

7. Бондарчук А. Управление тренировочным процессом спортсменов высокого класса. М.: Олимпия Пресс, 2007. 272 с.

К вопросу о причинах возникновения трещин в конструкциях

Крутикова М.В[a]., Повышева А.С[b].
ст. преп. каф. «Строительного производства»[a],студент гр. Стб 3805-06-01[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: kr.mar140963@yandex.ru[a], lika.pow@mail.ru[b]

Аннотация: В статье анализируются причины появления трещин в несущих конструкциях стен зданий, возведенных площадках города Кирова. Авторами статьи в течение нескольких лет велись наблюдения за трещинами в стенах зданий, с замерами их раскрытия. Приводятся общие сведения о рельефе площадок города, составе грунтов и наличии подземной воды на этих площадках. Даны примеры различных деформаций конструкций стен зданий в результате наличия слабых грунтов в основании, реконструкции, морозного пучения грунтов основания, разницы нагрузок на фундаменты и динамического воздействия на грунты основания. Статья будет полезна для тех, кто занимается изучением механики грунтов, оснований и фундаментов, а так же реконструкцией зданий.

Ключевые слова: трещины в стенах зданий; морозное пучение грунтов; реконструкция оснований.

Инженерно-геологические условия строительных площадок в г. Кирове очень неоднородны. На территории города есть овраги, самые крупные, древние – это Раздерихинский, примыкающий к реке Вятке, и овраг Засора в центральной части Кирова. Но рельеф в нашем городе не равнинный, а холмистый, и встречаются овраги небольших размеров, образованные из-за эрозии почв, карстовых явлений и деятельности подземных вод и родников. Некоторые из этих оврагов впоследствии засыпаются неоднородным материалом, часто строительным и бытовым мусором. Иногда подобные засыпанные овраги обнаруживаются уже в период строительства объекта. В геологическом отношении на территории города Кирова почти везде развиты элювиальные выветрелые породы и делювиальные отложения. Характерная их особенность – неоднородность состава и свойств по вертикали и по площади. Чаще всего – это тугопластичные или твердые пылевато-глинистые грунты. Встречаются и пески разной крупности, как правило, прослоями и линзами, а на площадках рядом с протекающей через весь город р. Люльченкой и более мощными пластами. Грунто-

вые воды могут содержаться в песчаных прослоях и линзах, в трещинах глинистых пород. Но водоносные горизонты не всегда постоянны, так как вода по трещинам может и подниматься вверх и уходить вниз.

История возникновения и развития трещин в конструкциях зданий, их размеры, форма и направление – это обязательные критерии в оценке состояния конструкций и в установлении причин повреждений. Не каждая трещина в стене свидетельствует о серьезных технических проблемах здания. Причину их появления чаще всего можно выявить, наблюдая за распространением и изменением размеров. Трещины, вызванные неравномерной осадкой здания, в основном широкие, сквозные, расположены редко и под наклоном. Они уменьшают жесткость стыков элементов конструкции, снижают её способность сопротивляться деформациям. Участки кирпичных стен от перегрузок разрушаются с появлением вертикальных, сквозных и часто встречающихся трещин с малым раскрытием. В таких случаях расслаивается кладка и выпучивается верста, что приводит к разрушению данных участков. Трещины, которые находятся в торцах здания и в местах расположения оконных проемов, образованы температурным воздействием. Они располагаются вертикально и под наклоном, могут иметь значительное раскрытие. Трещины, возникшие от вибрации или усадки, направлены горизонтально и вертикально, имеют небольшое раскрытие. Также различают трещины, влияющие на прочность конструкции (силовые), трещины, увеличивающие способность пропускать влагу, трещины, уменьшающие надежность элементов сооружения из-за коррозии и неопасные, ширина которых не превышает допустимых значений. В основном встречается совместное действие ряда факторов со сложным характером трещин.

Практика строительства в г. Кирове подтверждает, что появление трещин чаще всего вызвано увеличением объема грунта основания, то есть пучением грунта при промерзании. Пучению подвержены пылевато-глинистые грунты с большим количеством пылеватых частиц размером менее 0,05мм и пески мелкой и пылеватой зернистости, которые так же имеют большое количество этих частиц.

Случается, что с согласия или по настоянию заказчика в целях уменьшения объема земляных работ глубину заложения фундаментов уменьшают. Нарушение глубины закладки фундаментов является очевидной ошибкой и в настоящее время это редкое исключение в практике строительства. В ряде случаев деформации зданий от пучения происходят при закладке фундаментов на глубину превышающую глубину промерзания, когда грунт под подошвой фундамента вовсе не промерзает. Это говорит о том, что верхние слои грунта имеют очень хорошее сцепление с боковой поверхностью фундамента. Чем больше неровностей имеет боковая поверхность, тем сильней деформации конструкций от пучения. Серьезное внимание должно быть обращено на состояние внутренних стен здания. Как правило, эти фундаменты закладываются на меньшую глубину. Но если здание не достроено и не отапливается, такие фундаменты должны заблаговременно утепляться.

Неравномерная осадка зданий и появление трещин в конструкциях возможна из-за переменной мощности подстилающих слоев грунта под фундаментами. Начиная строительство, необходимо убедиться в однородности сжимаемой толщи под всей площадью застройки. Геологические изыскания должны производиться на всю глубину активной зоны. Это требование далеко не всегда выполняется проектными организациями.

Неравномерная осадка возможна и при вполне однородных грунтах, но при разной этажности частей здания или разного рода пристройках, получивших в городе Кирове большое распространение.

Деформации зданий на глинистых грунтах могут происходить при увлажнении и при высыхании грунтов основания. При изменении влажности глинистых грунтов может произойти просадка сооружения или поднятие несущих конструкций. И то и другое явление зависит от грамотного устройства дренажа строительной площадки. Но осушение площадки и стабилизация влажности грунта происходит не мгновенно, а в течение длительного периода и дренажные работы нужно начинать заблаговременно. Это требование в Кирове

иногда не выполняется, устройство дренажей производится либо во время строительства, либо после его окончания.



Рисунок 1. Трещины на фасаде дома по ул.Лепсе,33

Площадка города в районе ул. Лепсе - ул. Сормовской сложная в отношении грунтового напластования и наличия воды. На фасаде бывшего общежития по ул. Лепсе, 33, возведенного на фундаментах мелкого заложения хорошо видны наклонные трещины раскрытием до 7-8мм под оконными проемами, а так же вертикальные трещины раскрытием до 4-5мм в простенках под оконными перемычками (рис.1). Причина наклонных трещин – морозное пучение грунтов, причина вертикальных трещин – перегруз простенков в результате реконструкции здания, проведенной несколько лет назад. Во время реконструкции в большие оконные проемы были уменьшены, в результате дополнительной каменной кладки была увеличена нагрузка на фундамент. Рядом, по ул.Лепсе,31 находится трехэтажного кирпичного здания колледжа так же возведенное на фундаментах мелкого заложения. На фасаде здания имеются наклонные трещины с раскрытием до 8мм под оконными проемами и в простенках. Причина подобных трещин обоих объектов - морозное пучение грунтов. В основании ленточных фундаментов мелкого заложения находятся не

очень прочные глинистые грунты с достаточно высоким уровнем подземных вод, сама площадка имеет невысокие абсолютные отметки и недалеко находится заболоченный ручей. В 15м от здания колледжа в 2006г. построен жилой 10-ти этажный дом на забивных железобетонных сваях. На грунтовое основание существующих фундаментов здания колледжа при забивке свай было сказано динамическое воздействие, что при наличии слабых грунтов так же стало причиной появления наклонных трещин.

К 10-ти этажному кирпичному дому по ул. Сормовской, 40 сделан пристрой, в котором располагается магазин бытовой техники. Пристрой имеет два этажа, то есть нагрузка на фундаменты пристроя примерно в пять раз меньше, чем нагрузка на фундаменты 10-ти этажной части здания. Между пристроем и жилой частью есть сквозная трещина с раскрытием с внутренней стороны до 50-60мм, с наружной стороны – до 8-10мм (рис.2). Причины такой большой трещины – неодинаковая осадка основания из-за большой разницы нагрузок на фундаменты и морозное пучение глинистых влажных грунтов площадки.



а б

Рисунок 2. Трещины дома по ул.Лепсе,40: а – наружная; б - внутренняя

У жилого дома по ул.К. Маркса, 38 много раз ремонтируемый фасад (рис.3). Но всякий раз после ремонта множество наклонных трещин вновь появляется на фасаде.



Рисунок 3. Дом по ул.К.Мркса,38

Эта площадка находится в центре г. Кирова, в основании находятся глинистые грунты тугопластичной консистенции в природном состоянии, верхний слой – насыпной неоднородный грунт. Автор этой статьи несколько раз за последние 15-18 лет наблюдал прорывы трубопроводов и затопление проезжей части ул. К.Маркса. Не исключено, что вода из трубопроводов достигала подошвы фундаментов, ухудшая несущую способность основания. Не исключено так же, что в этом районе города есть подземные родники, которые время от времени обнаруживаются строителями и работниками ЖКХ.

Учебный корпус №6 факультета строительства и архитектуры ВятГУ расположен по Студенческому проезду на площадке с уклоном порядка не менее 0,03 на площадке с насыпными грунтами с большим объемом органики и неорганического мусора. В основании ленточных фундаментов находятся глинистые грунты с консистенцией от 0,00 до 0,5. На боковых фасадах кирпичного четырехэтажного корпуса №6 ВятГУ по Студенческому проезду под оконными

проемами на всех этажах наблюдаются вертикальные трещины с раскрытием до 8мм, а на втором и третьем этаже южного фасада эти трещины сквозные.

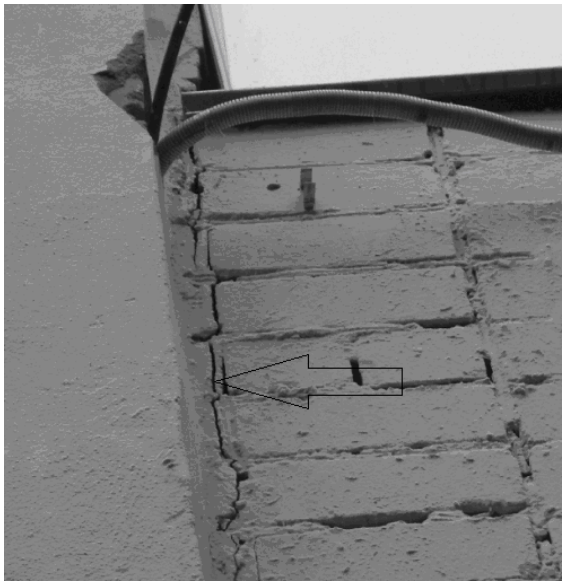


Рисунок 1. Корпус ФСА по Студенческому проезду

На внутренних несущих конструкциях кирпичных стен от верхнего перекрытия четвертого этажа до пола подвала проходят вертикальные трещины от волосяных до трещин с раскрытием на сегодняшний день до 2-3мм, местами до 5мм. Наблюдения за трещинами ведутся сотрудниками кафедры «Строительного производства» с 1991г. В 2012 г. в корпусе был сделан капитальный ремонт и все видимые трещины были заделаны раствором и закрашены. Но спустя пару лет они вновь возникли на стенах корпуса. Это говорит о том, что негативные реологические процессы в основании фундаментов корпуса не прекратились и корпусу требуется внимание специалистов-геотехников. Реологические процессы связаны с подвижками грунта под нагрузкой в сторону понижения склона. В феврале 2017г. авторами статьи на этажах корпуса были установлены бумажные маяки с целью мониторинга ситуации.

Жилой 5-ти этажный кирпичный дом по ул. Ломоносова на ленточных фундаментах имеет небольшой пристрой – вход в подвал. Пристрой из кирпича так же на ленточных фундаментах. В основании фундаментов глинистые грунты тугопластичной и полутвердой консистенции. На стене пристроя мы видим наклонные длинные трещины раскрытием до 10мм. Причиной подобных тре-

щин являются морозное пучение грунтов и перегруз фундаментов стен пристроя из-за увеличенной снеговой нагрузки. Дом построен порядка 50 лет назад. Норматив снеговой нагрузки для г. Кирова того времени 150 кг/м^2. Но зимы в г. Кирове бывают очень снежными и по современным нормативам снеговая нагрузка составляет 320 кг/м^2.



Рисунок 1. Дом по ул.Ломоносова

В данной статье приведены примеры деформаций несущих конструкций зданий в г. Кирове. В перспективе дальнейших исследований по вопросу о причинах появления и развития трещин – экономическое сравнение различных способов, направленных на исключение промерзания грунта под фундаментами, а так же изучение и анализ различных способов борьбы с трещинами и восстановление поврежденных конструкций.

К вопросу качества устройства отмосток

Крутикова М.В[a]., Чеглаков А.Н[b].
ст. преп. каф. «Строительного производства»[a],студент гр. Стм 1802-03-00[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: kr.mar140963@yandex.ru[a], ch-lexa@yandex.ru[b]

Аннотация: В статье анализируются причины и объем повреждений отмосток зданий из различных материалов в городе Кирове на разных грунтах. Авторами статьи произведен внешний осмотр с замерами деформаций отмосток. Даются сведения о видах и материалах отмосток, а так же преимущества и недостатки разных вариантов. Приводятся примеры отмосток из материалов, применяемых во второй половине двадцатого века, и современных иновационных материалов с характеристикой свойств. Рекомендуются варианты реконструкции старых разрушенных отмосток и способы ремонта небольших повреждений. Статья будет полезна для тех, кто занимается изучением оснований и фундаментов, а так же современными технологиями.

Ключевые слова: инновационные материалы для отмосток; современные технологии и материалы.

Защитой фундамента от дождевых и талых вод служит отмостка – водонепроницаемое покрытие вокруг здания, с уклоном в направлении от здания.

Помимо основной задачи – защита от дождевых и талых вод отмостка выполняет еще декоративные и эксплуатационные функции и от того, насколько эстетически органично она выполнена, зависит архитектурно-художественный облик здания.

Традиционная отмостка без дополнительной гидроизоляции состоит из двух слоев – декоративного покрытия и подстилающего слоя. Подстилающий слой служит для создания ровного основания для покрытия. Его выполняют из песка, мелкого щебня или глины. Самые известные виды отмосток: глиняная отмостка; бетонная отмостка; отмостка из штучных материалов; отмостка из профилированной мембраны[1,2].

Глину как гидроизолирующий материал применяли ещё в Древнем Египте для защиты подземных зернохранилищ. Глиняная отмостка это простой и дешёвый вариант отмостки [3]. В этом случае глиняное покрытие

одновременно является и подстилающим, и гидроизоляционным слоем. Чтобы его сделать, достаточно расчистить грунт, подготовленную поверхность засыпать глиной, после чего все утрамбовать. Для защиты верхнего слоя от размывания поверхность можно покрыть песком, щебнем или сверху уложить газон (рис. 1).

К преимуществам такой отмостки можно отнести низкую стоимость и простоту устройства. Материалы для производства работ можно найти на участке строительства (при наличии подходящей глины) или на территории на расстоянии до 10 км от объекта строительства. Это позволит снизить затраты не только на покупку, но и на транспортировку. Еще одним достоинством такой отмостки – это меньшее попадание воды с отмостки во время дождя на стены здания.

Существенным ограничением широкого распространения глиняных отмосток является их главный недостаток – при прямом, длительном и сильном воздействии воды глина всё-таки будет постепенно вымываться, поэтому в большинстве случаев используют более современные материалы.

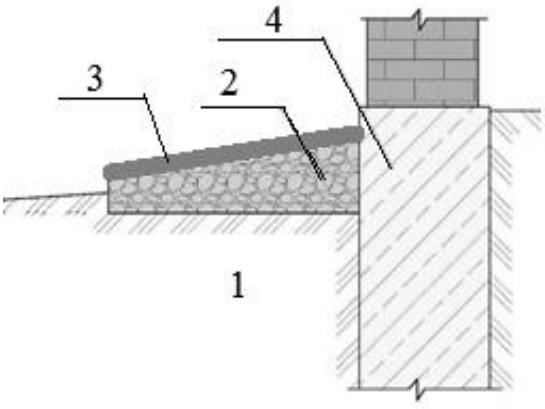


Рис. 1. Конструкция глиняной отмостки: 1 – уплотненный грунт основания; 2 – слой глины толщиной 100–150 мм для укрепления в глину утапливают камни; 3 – верхний декоративный слой (галька, камни)

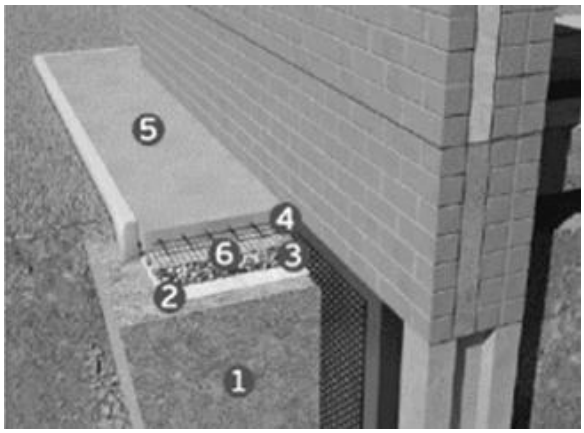


Рис. 2. Конструкция бетонной отмостки: 1 – песок; 2 – геотекстиль; 3 – щебень; 4 – сетка для армирования; 5 – бетон; 6 – полиэтиленовая пленка

Бетонные отмостки – самый распространенный при строительстве многоквартирных домов, административных и общественных зданий. Преимуществом таких отмосток является долгий срок службы при условии

соблюдения технологии. Правильно приготовленный и уложенный бетон обладает высокой механической прочностью, не боится воздействия воды и практически не пропускает ее, а обработанный различными гидрофобными покрытиями становится идеальным гидроизолирующим барьером (рис. 2).

К недостаткам бетонной отмостки, наряду с высокой механической прочностью, относят относительную хрупкость этой конструкции. Вода, попадая на поверхность такого бетона, проникает в его верхний слой на толщину 0,1–5 мм. При замерзании она значительно расширяется и разрушает этот слой. Таким образом, на поверхности отмостки из бетона появляются, выщерблены и трещины. Эта проблема решается армированием, которое делает отмостку существенно дороже. Также в результате морозного пучения или проседания недостаточно уплотненного слоя грунта под отмосткой, отмостка отходит от стены здания. Тогда образуется прямой канал для прохода воды к фундаментным стенам.

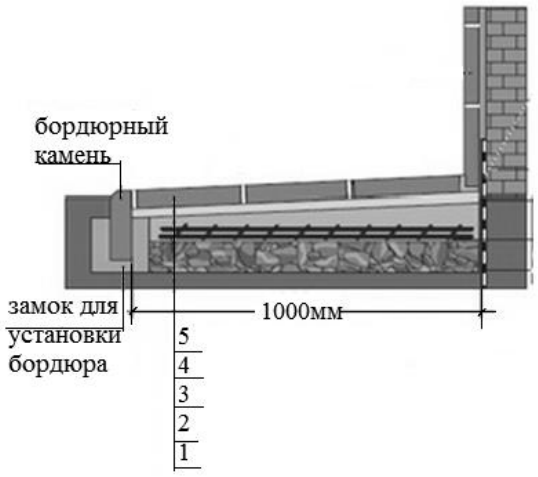


Рис. 3. Конструкция отмостки из штучных материалов: 1 – уплотненный грунт основания; 2 – дренирующий и выравнивающий слой (щебень или гравий), уложенный с послойным уплотнением; 3 – армированный бетон; 4 – уплотненный песок; 5 – верхний декоративный слой (камни, плитка, брусчатка)

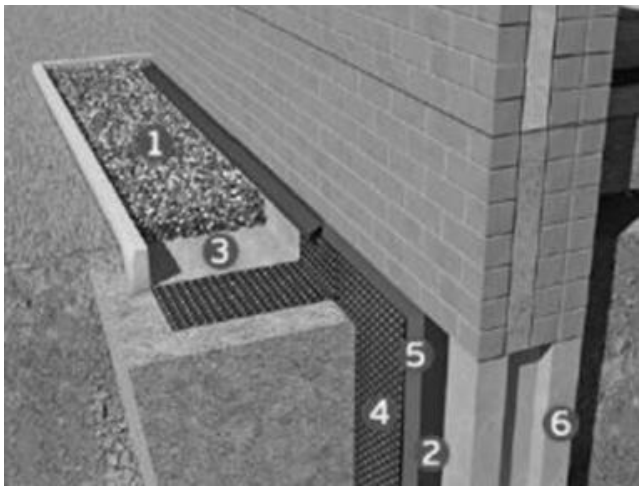


Рис. 4. Конструкция отмостки из профилированной мембраны: 1 – гравий; 2 – праймер битумный; 3 – профилированная мембрана PLANTER geo; 4 – профилированная мембрана PLANTER standard; 5 – гидроизоляция; 6 – фундамент

К категории конструкций из штучных материалов можно отнести брусчатку, тротуарную плитку, камни. Чаще всего вокруг дома можно увидеть стандартную бетонную или асфальтовую отмостку. При отсутствии жесткого ограничения в средствах лучше сделать выбор в пользу более дорогого, но надежного и имеющего привлекательный внешний вид варианта. Укладка отмостки из штучных материалов дает следующие преимущества: отмостка не трескается со временем, а камень способен прослужить дольше и гарантировать надежную защиту здания; при повреждении отдельных участков полосы вокруг дома, конструкция позволяет выполнять замену штучных элементов без демонтажа всего покрытия; для осмотра или ремонта коммуникаций достаточно убрать несколько элементов отмостки, а после завершения работ уложить их обратно; ассортимент плитки позволяет создать уникальный облик здания (рис. 3). Существенным ограничением широкого использования отмостки из штучных материалов является достаточно высокая стоимость материалов и трудоемкость монтажа.

Оптимальной и экономически выгодной альтернативой при устройстве отмостки является применение вместо бетонного слоя подвижного, эластичного и водонепроницаемого материала – PLANTER geo[4]. Такая конструкция отмостки (из профилированной мембраны) более технологична при монтаже. Вследствие ухода от бетонных работ, требующих значительных временных затрат на твердение бетона и особых погодных условий, её монтаж осуществляется в любых погодных условиях. Профилированная мембрана PLANTER geo в конструкции мягкой отмостки надежно справляется с ролью гидроизоляции, не покрывается трещинами, не разлагается в грунте, не подвержена прорастанию корней растений и удобна в работе. Именно водонепроницаемые свойства профилированной мембраны позволяют применять различные варианты оформления финишного покрытия отмостки. Покрытие в зависимости от эстетического и эксплуатационного назначения может быть выполнено в виде засыпки из гравия, растительного субстрата с последующим озеленением, либо классического мощения из тротуарной плитки или брусчатки. Последний вариант финишного

покрытия позволит сделать территорию вдоль стен эксплуатируемой, например, в качестве дорожек для перемещения людей. Применение отмостки из мембраны PLANTER geo позволяет проявить индивидуальность и эстетичность при оформлении придомовой территории, что особенно актуально для частного домостроения.

Использование мембран при устройстве отмостки имеет следующие преимущества, по сравнению с традиционным способом такие как: долговечность материалов, экономия денежных средств, простота монтажа, экологичность материалов, надежная гидроизоляция. Новейшие технологии, воплощенные в профилированных мембранах, обеспечивают потенциальный срок их службы более 60 лет. Материал мембран легкий, недорогой, вес квадратного метра профилированной мембраны не превышает 1 кг, с этим материалом может работать даже не специалист. Мембраны являются хорошим барьером для корней растений и не подвержены воздействию химических веществ, находящихся в грунте или в стройматериале. Материалы мембран изготавливаются из полиэтилена высокой плотности без добавления химических элементов, негативно влияющих на окружающую среду, а поступающая с поверхности влага отводится по дренажным каналам между шипами мембраны. Кроме этого, мембрана позволяет защитить монтаж отмостки от влаги, поступающей снизу. Такая мембрана применима для любых видов отмосток (из гравия, плитки или брусчатки, «зеленой» отмостки и утепленной).



Рис. 5. Разрушение угловой части отмостки



Рис. 6. Прорастание травы в трещинах отмостки

В сентябре – октябре 2017 г. авторами этой статьи был осмотрены конструкции отмосток жилых зданий г. Кирова в Октябрьском районе на улицах Лепсе, Мира, Монтажников, Сормовской .

В жилом доме по ул.Лепсе, 34 наружная водосточная труба опускается достаточно низко к бетонной отмостке, но в отмостке не сделан качественный водоотвод (рис. 5). В результате вода растекается по отмостке и усиливает разрушение угловой части, которое происходит в результате морозного пучения глинистых грунтов. В этом же доме под водосточной трубой не сделан водоотвод на газон (рис. 6). В течении многих лет эксплуатации объекта происходит разрушение бетонной отмостки вследствие морозного пучения грунтов, которому способствует замачивание отмостки и попадание воды под отмостку. Растения так же «успешно участвуют» в этом разрушении. Чтобы не возникали подобные дефекты, необходимо устраивать качественный водоотвод от здания на газон или в ливнесточную сеть.

В жилом десятиэтажном доме по ул. Сормовской, 40 существует внутренний организованный водосток . Вода из внутренней трубы направляется по металлическому водоотводу либо на газон, либо на асфальтовое покрытие. В некоторых случаях лоток просто упирается в бетон и вода не имеет выхода из лотка, тогда бетонная отмостка подвергается замачиванию из-за подтапливания. Кроме того, дом возведен на глинистых грунтах (супесях и суглинках) с достаточно высоким уровнем подземной воды в период обильных осадков и снеготаяния («верховодкой»). Это ведет к развитию нормальных сил морозного пучения, разрушающих покрытие отмостки. Для недопущения таких дефектов необходимо правильно организовать водоотвод от здания. Путем увеличения уклона лотков или отводящих труб, их замена на другие с большей пропускной способностью. Так же для хорошей работы необходима их периодическая чистка от мусора и травы.

Ниже приведен пример качественно устроенного водоотвода Дворца единоборств, внутренний водосток выполнен с устройством бетонного

водоотводного лотка, выходящего на асфальтовую дорогу (рис. 7, 8). Бетонная отмостка при этом не страдает от замачивания за счет внутреннего водостока.

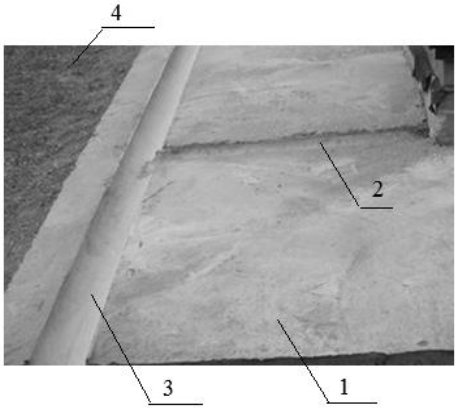


Рис. 7. Правильная отмостка:1 – отмостка; 2 – водоотвод; 3 – дренажная канавка; 4 – газон



Рис. 8. Водоотвод Дворца единоборств в г.Кирове

У десятиэтажного кирпичного жилого дома по ул. Сормовской, 40 обнаружены дефекты отмосток – промоины и отрывы от кирпичных стен (рис.9,10).

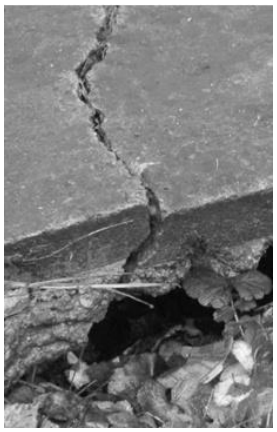


Рис. 9. Промоина под отмосткой

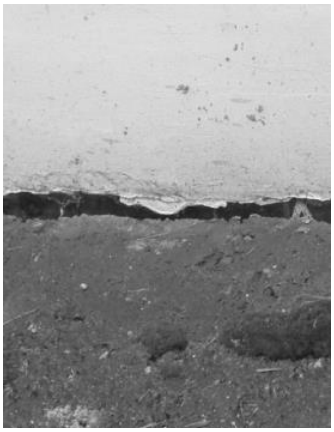


Рис. 10. Отрыв отмостки от стены

Это трещины раскрытием до 15–20 мм в результате вымывания грунта дождевыми стоками; трещины раскрытием до 30 мм и более в результате морозного пучения грунта и проседания грунтового основания отмостки.

Для невозможности появления таких дефектов требуется усиление конструкции отмостки путем ее армирования, для уменьшения сил морозного пучения предусматривать утепление, а так же соблюдение технологии устройства и качества материалов при монтаже. Жилой дом по ул. Сормовской, 40 находится в эксплуатации порядка 20 лет, но тем не менее на некоторых

участках отмостка вовсе отсутствует (рис.11). И здесь необходимо комплексное решение проблемы. Требуется восстановить не только отмостку по периметру дома но и организовать правильную работу водостока.



Рис. 11. Отсутствие отмостки



Рис. 12. Отрыв отмостки от конструкции водостока

У жилого дома по ул. Лепсе, 40 была сделана попытка правильной организации водостока (рис. 12). Бетонная отмостка выполнена у подпорной стенки автостоянки. Часть отмостки, направленная вниз, служит для стока дождевой воды. В результате действия сил морозного пучения происходит отрыв части горизонтальной конструкции отмостки от наклонной (раскрытие трещин до 30 мм). Это свидетельствует о том, что под бетонным слоем либо нет песчаного слоя подготовки, либо песок для этой цели содержит большое количество пылевато-глинистых частиц размером менее 0,005 мм, либо песок не является крупным и средней крупности. Для невозможности возникновения подобного дефекта необходимо устройства организованного водоотвода с лотком четких размеров. Так же необходимо укладывать слой песчаной подготовки из крупного или среднего крупности песка.

Средняя школа на ул. Сормовской, 38 построена на площадке с «верховодкой» на глинистых грунтах. Школа находится в эксплуатации с 1973 года. Первоначально была выполнена асфальтовая отмостка, поверх которой позже сделан еще слой бетона толщиной 70–80 мм (рис.13, 14). Бетонный слой тем не менее разрушается так же, как асфальтовый, по причине морозного пучения грунтов подстилающих асфальтовый слой. Для предотвращения появления возможных дефектов при ремонте отмостки необходимо полностью убрать старую асфальтовую отмостку и выполнить устройство новой бетонной

с соблюдением технологии. Так же необходимо устройство организованного водоотвода в ливнесточную сеть для уменьшения уровня подземных вод.



Рис. 13. Разрушение угла отмостки



Рис. 14. Разрушение бетонной отмостки, выполненной поверх асфальта

Панельные пятиэтажные жилые дома по ул. Мира и Сормовской находятся в эксплуатации порядка 40–45 лет. Изначально выполнена асфальтовая отмостка, претерпевшая разрушения, порой весьма значительные. В рамках программы реконструкции жилого фонда (панельных домов) асфальтовую отмостку заменяют на бетонную, что было сделано у нескольких домов в октябре 2017г.

В данной статье приведены примеры отмосток зданий в г. Кирове. В перспективе дальнейших исследований – экономическое сравнение и анализ качества устройства отмосток современных, постройки прошлых лет, сделанных в результате реконструкции жилого фонда и отмосток из инновационных материалов.

Список литературы

1. Виды и назначение отмостки вокруг дома. – URL: http://domzastroika.ru– Загл. с экрана. (Дата обращения: 22.11.2017).

2. Отмостка для дома: назначение и устройство покрытия. – URL: http://moifundament.ru – Загл. с экрана. (Дата обращения: 22.11.2017).

3. Применение глины для гидроизоляции. – URL: http://gidroguide.ru – Загл. с экрана. (Дата обращения: 22.11.2017).

4. Профилированные мембраны PLANTER. – URL: http://www.planter.ru – Загл. с экрана. (Дата обращения: 22.11.2017).

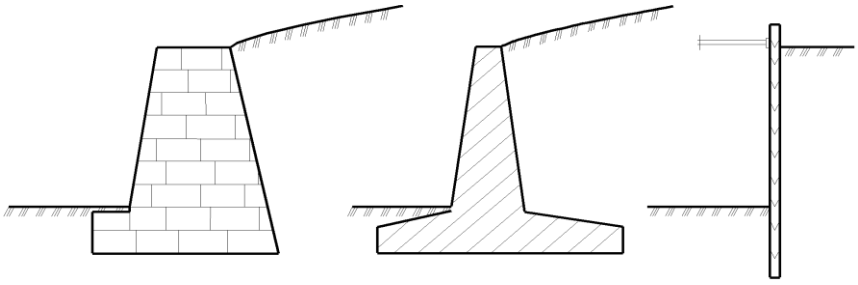
К вопросу о причинах разрушений подпорных стенок

Крутикова М.В[a]., Злобина О.И[b].
ст. преп. каф. «Строительного производства»[a],студент гр. Стб 3801-01-00[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: kr.mar140963@yandex.ru[a], Oxanaz13@mail.ru[b]

Аннотация: В статье анализируются причины и объем повреждений подпорных стенок из различных материалов, возведенных в городе Кирове на разных по грунтам и рельефу площадках. Авторами статьи произведен внешний осмотр с замерами деформаций стенок. Приводятся общие сведения о видах и материалах изготовления подпорных стенок, а так же преимущества и недостатки разных вариантов. Приводятся примеры стенок из сборных элементов и монолитных на разных грунтах и с различными деформациями. Рекомендуются способы увеличения устойчивости и долговечности подпорных стенок в г. Кирове. Статья будет полезна для тех, кто занимается изучением механики грунтов, оснований и фундаментов, а так же технологией возведения подпорных стенок.

Ключевые слова: горизонтальное давление грунтов на подпорные стенки; морозное пучение грунтов.

Территория г. Кирова характеризуется сложными геологическими условиями. В формировании инженерно-геологических условий вместе с природными факторами большую роль играют техногенные факторы, которые зависят от различной хозяйственной деятельности человека. На площадках с высотными отметками порядка 140,00 – 150,00 сверху часто залегает слой аргилитоподобной глины толщиной примерно до двух с половиной метров. Есть районы с высотными отметками поверхности порядка 100,00 – 110,00. Часто это территории с повышенным уровнем подземной воды, особенно в период весеннего снеготаяния и осенних дождей. На площадках рядом с речкой Люльченкой, протекающей через весь город, территория нередко заболочена и имеют высокий уровень подземной воды. Техногенные образования часто представлены сильно перемешанными местными суглинками, глинами и песчаниками с включениями строительного мусора и отходов производств. Мощность техногенных слоев изменяется в широких пределах – от нескольких сантиметров до десятка метров.



а б в

Рисунок 1. Подпорные стенки: а - массивная; б - полумассивная; в - тонкая

На территории города часто встречаются значительные перепады высот на небольших площадках застройки, что обуславливает строительство подпорных стен – сооружений, удерживающих земляную массу, предотвращая обрушения. Подпорные стенки подразделяют по способу возведения на монолитные и сборные; по массивности – на массивные, полумассивные и тонкие. В основном в городе возводятся массивные подпорные стены (или гравитационные) и чаще всего из фундаментных блоков, случается – из монолитного бетона. Иногда для стенки приспосабливают дорожные плиты. Преимуществом монолитных стенок является жесткость конструкции (благодаря массе, стенки сопротивляются сдвигу и опрокидыванию) и любая форма в плане, а недостатком – материалоемкость и увеличенные сроки возведения (особенно в зимнее время) по сравнению со сборным вариантом.

Полумассивные стенки сохраняют устойчивость не только благодаря весу стены, но и весу грунта, которые лежит на фундаменте. Преимуществом таких стенок является меньшая материалоемкость по сравнению с массивными стенками. Тонкие стенки как правило из сборных элементов в виде пластины или уголка с широкой подошвой, благодаря которой стенка противостоит опрокидыванию из-за включения в работу расположенного вблизи грунта. В результате этого сами стенки получаются менее материалоемкие и более дешевые. Так же подпорные стенки условно можно разделить по глубине заложения и высоте: высокие - от двух метров; средние – от одного до двух метров; низкие – до одного метра. В г. Кирове встречаются следующие основные дефекты и виды разрушений подпорных стен: вертикальные и наклонные трещины по всей вы-

соте; выпирание части стены вперед; разрушение нижней части стены; провисание части стены; разрушение стены корнями деревьев; создание повышенной нагрузки на верхнюю часть стены. Частая причина возникновения наклонных и вертикальных трещин – это действие сил морозного пучения. Причинами выпирания части стены является плохой дренаж и горизонтальное давление сыпучих грунтов на стенку. Причинами разрушений нижней части стены и провисания части стены могут быть ошибки в технологии возведения стенки и подмыв фундамента стены подземными или технологическими водами. Нередко разрушение подпорных стенок происходит из-за давления на верхнюю часть стенок хозяйственных построек и автостоянок.



а



б



в

Рисунок 2. Повреждение стенки из сборных фундаментных блоков на ул.Лепсе,40:
а – вход в приямок; б – вид сверху; в – трещина с внутренней стороны

Жилой десятиэтажный дом по ул. Сормовской, 40 возведен на глинистых грунтах. Грунтовые воды в период сильных атмосферных осадков и снеготаяния находятся близко к поверхности. Подпорная стенка входа в подвал смонтирована из фундаментных блоков толщиной 300мм и высотой 2,5м. Стенка де-

формировалась в поперечном направлении по всей высоте. С внутренней стороны стенки есть вертикальные трещины раскрытием до 70мм (рис.2).

Основные причины деформаций – это давление песчаных грунтов обратной засыпки и дополнительное давление от тяжелых механизмов, которые время от времени находятся на площадке. Рядом с подпорной стенкой проложены трубопроводы и при нарушении их эксплуатации периодически выкапывают котлован глубиной более 2м, устраняют неполадки и вновь засыпают привозным песком. При этом техника находится в непосредственной близости от подпорной стенки. Последний раз подобный ремонт производился в октябре 2017г. В результате стенка деформировалась еще сильнее.

На улице Лепсе, 52 у шестиэтажного дома, который построен в 1975 году, возведена подпорная стенка (рис.4). Эта стенка ограничивает площадку у жилых подъездов и смонтирована из фундаментных блоков шириной 400 мм, высотой до 2 метров. В стенке имеются горизонтальные трещины по всей длине глубиной до 70 мм. Одна из причин такой деформации – действие сил морозного пучения в глинистых грунтах, на которых возведен жилой дом, и горизонтальное давление глинистых грунтов.


а


б

Рисунок 4. Деформации подпорной стенки: а – выдавливание стенки наружу ;
б – горизонтальные трещины

Возле дома №48 по улице Лепсе возведена подпорная стенка толщиной 250 мм высотой до 1,7 метра на глинистых грунтах (рис.5).



Рисунок 5. Трещины подпорной стенки по ул. Лепсе, 48

Стенка выполнена из монолитного бетона (без металлического каркаса), отдельными участками с разделительными металлическими элементами. В стенке имеются горизонтальные трещины с раскрытием до 20мм, вертикальные - с раскрытием до 10мм, наклонные сквозные - с раскрытием до 70мм. Сама стенка наклонена к жилому дому под углом 25º. Причинами трещин и наклона стенки являются горизонтальные силы морозного пучения и горизонтальное давление глинистых грунтов, которое дополняется давлением механизмов и транспорта, периодически работающих на ремонте полотна пешеходного тротуара. После ремонта тротуара его ширина увеличилась примерно на один метр, который был засыпан щебнем и забетонирован. Асфальтовый тротуар шириной 3,5 метра идет под уклоном порядка i = 0,03 и это способствует сильному протоку дождевых вод. Попадание воды в трещины асфальта и далее в грунт усиливает силы морозного выпучивания, а значит и деформации подпорной стенки.

В студенческом городке ВятГУ у девятиэтажного общежития возведена подпорная стенка у входа в подвал из фундаментных блоков. Общежитие построено в 1984 году на глинистых грунтах. Высота стенки около двух метров, толщина 400 мм. На стенке видны деформационные трещины в разных направ-

лениях с небольшой глубиной раскрытия, а также смещение одних фундаментных блоков относительно других. Причинами таких явлений стали, как и в прежних ситуациях, влияние сил морозного пучения и возможное дополнительное давление от тяжелых механизмов, которые работали на площадке.

На ул. Мопра, 39 возведена подпорная стенка высотой 2,2м из готовых бетонных элементов (дорожных плит) с применением металлических анкеров. Такая конструкция стенки имеет более высокую жесткость по сравнению с конструкцией из фундаментных блоков. Поверхность грунта за стенкой не горизонтальна, а идет под углом к горизонту 30º. Стенка возведена на глинистых грунтах с консистенцией I_L не более 0,25. В грунтах засыпки за стенкой содержится большой объем насыпных техногенных грунтов, опасных в отношении морозного пучения и хорошо впитывающих воду.



Рисунок 6. Подпорная стенка на ул. Мопра, 39

Таким образом, в зимнее время на стенку оказывают влияние горизонтальные силы морозного пучения и, несмотря на анкеровку и относительную жесткость конструкции, заметен наклон стенки от грунта (рис.6).

Рядом с жилым домом по ул. Свободы, 23 возведена подпорная стенка высотой 2,4м и шириной 400мм. Стенка возведена из фундаментных блоков и удерживает глинистый склон от оползания на площадку. Из-за горизонтального давления грунта на стенку и воздействия сил морозного пучения наблюдаются наклон стенки в сторону площадки и трещины в горизонтальных швах между фундаментными блоками глубиной до 100мм (рис.7).



Рисунок 7. Стенка по ул.Свободы, 23

Исходя из климатических, конструктивных и грунтовых условий, кировские строители принимают некоторые меры для улучшения долговечности и устойчивости подпорных стенок. Так, из-за смены погодных условий (замораживание и оттаивание) применяются специальные марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости. Марка бетона устанавливается исходя из температурного режима. Выбор материала производится в зависимости от технико-экономических соображений, требований долговечности и наличием местных строительных материалов. Но правильно подобранной марки бетона явно недостаточно. Устойчивость подпорных стенок можно обеспечить дополнительными способами. Например, выполнить дренаж с внутренней стороны стенки, тем самым уменьшить силы морозного выпучивания. Или нижнюю часть стенки выполнить шире, чем верхнюю, так как горизонтальное давление грунтов в верхней части меньше, чем в нижней. Так же можно устроить контрфорсы для длинных стенок для увеличения жесткости конструкций. Контрфорсы берут на себя часть распора от горизонтального воздействия, тем самым предотвращая опрокидывание и разрушение стенок. В целях увеличения жесткости рекомендуется отказаться от стенок из сборных элементов и выполнять их из монолитного железобетона.

Не всегда кировские строители выдерживают технологию возведения подпорных стен. В перспективе дальнейших исследований по вопросу деформаций подпорных стен в г. Кирове – экономическое сравнение возведения под-

порных стен из разных материалов, с разной жесткостью и с учетом вида грунта основания и засыпки.

Особенности проектирования структуры операционных устройств процессоров символьной обработки

Куваев А.С.[a], Томчук М.Н.[b], Вожегов Д.В.[c]
ассистент кафедры ЭВМ[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[b]
старший преподаватель кафедры ЭВМ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: aleksey-kuvaev@mail.ru [a], tomchuk@vyatsu.ru[b], dv_vozegov@vyatsu.ru[c]

Аннотация: в данной работе приведено обоснование актуальности разработки машины логического вывода, необходимость аппаратной реализации машины логического вывода. Приведено обоснование ориентации разработки исполнительного процессора на реконфигурируемую архитектуру исходя из получаемой производительности и эффективности. Рассмотрены команды, выполняемые исполнительным процессором, обоснован выбор команд для включения в структуры и дальнейшей аппаратной реализации. Рассмотрены подходы к проектированию исполнительного процессора с учетом ориентации на реконфигурируемую архитектуру. Приведены две разработанные архитектуры, описаны их особенности. Описаны рекомендации по подбору структуры. Выделены преимущества и недостатки подходов с точки зрения получения максимальной производительности, эффективности и реализуемости на различных программируемых логических интегральных схемах. Обоснован выбор подхода для дальнейшей реализации на ПЛИС по критерию максимальной производительности.

Ключевые слова: машина логического вывода, исполнительный процессор, структура блока, реконфигруируемая архитектура.

Одним из итогов создания первых микро-ЭВМ является повсеместное распространение персональных компьютеров, планшетов мобильных телефонов и различного рода электронных устройств, основу которых составляет микропроцессор. Несмотря на то, что все подобные устройства относятся к вычислительной технике, собственно сложных «вычислительных» операций (решение систем линейных или дифференциальных уравнений, матричная обработка, операции математической статистики и т.п.) на них выполняется всё меньше. Значительную часть составляют задачи не вычислительного характера: поиск необходимой информации от глобальной сети интернет, перевод, как отдельных слов, так и больших текстов, голосовое управление, получение подсказок от различных сервисов, переписка в различных социальных сетях или «мессен-

джерах», создание интеллектуальных интерфейсов и т.д. Появилась и успешно развивается новая область компьютерных наук – интеллектуальный анализ данных [Meltsov, с.6]. Не менее сложными (а иногда и более трудоёмкими) являются задачи медицинской и технической диагностики, логического прогнозирования [Strabykin, с.13], управления крупными предприятиями [Meltsov V.Yu., с.511], верификации больших программных комплексов [Strabykin et al, с.203]. В такого рода задачах информация представляется в виде онтологии - семантического описания проблемной области, и, следовательно, необходимо от числовой обработки переходить к обработке знаний, т.е. обработке сложных структур символьных данных [Shipitsyna, с.28]. Именно поэтому стали появляться языки логического программирования, различного рода экспертные системы, системы поддержки принятия решений.

Основным недостатком программного подхода к созданию интеллектуальных высокопроизводительных систем является их низкое быстродействие вследствие «семантического разрыва» между языком описания предметной области и машинным языком. Второй проблемой является низкая степень реализуемого параллелизма при решении логических задач, несмотря на использование серийных многоядерных процессоров и средств параллельного программирования. Для решения указанных проблем необходимо создавать специализированные высокопроизводительные аппаратные платформы с целью реализации на них машин логического вывода (МЛВ) – основного компонента любой интеллектуальной системы [Варламов, с.5].

Не так давно в Европе была предпринята попытка создания подобной платформы на базе Пролог-процессора. Однако из-за низкого быстродействия этот процессор не получил широкого распространения. Именно поэтому есть крайняя необходимость в разработке аппаратных средств систем обработки знаний с максимальной поддержкой параллелизма: от уровня языка описания задания до нижнего «машинного» уровня. Предлагается в качестве математической основы разрабатываемой системы взять высокоскоростной параллельный

метод дедуктивного логического вывода – метод на основе операции деления дизъюнктов [Strabykin, с.760].

Анализируя особенности указанного метода вывода, ключевой из которых является динамически проявляющийся параллелизм, становится понятна неэффективность использования традиционной Фон-Неймановской архитектуры для специализированного процессора. Было принято решение использовать dataflow архитектуру - архитектуру с управлением потоком данных. Данная архитектура ориентирована на параллельные асинхронные вычисления, а также позволяет эффективно реализовать автоматическое распределение ресурсов.

Обычно машина логического вывода содержит два главных компонента: процессор команд (ПК) и исполнительный процессор (ИП) [Мельцов, с.43]. При этом особое внимание следует уделять проектированию исполнительного процессора, на котором выполняются команды МЛВ, сформированные процессором команд. От быстродействия ИП будет зависеть производительность всей системы в целом. Поэтому было принято решение начать разработку именно с этого компонента МЛВ.

При реализации исполнительного процессора, возможны два пути: реализация универсального ИП или ориентация на узкий круг задач, разработка так называемого специализированного ИП. Так как даже узкий круг задач, может иметь слишком большой диапазон входных данных, то не предоставляется возможным определить структуру и требования к нему исходя из определения средней сложности задач, которые наиболее часто будут решать на нём. При таком подходе была бы получена достаточно высокая эффективность, при получении необходимой производительности. При таком подходе при реализации универсального ИП, проанализировать весь спектр решаемых задач не представляется возможным из-за слишком больших типов решаемых задач.

Для решения указанной проблемы было решено ориентировать архитектуру разрабатываемого исполнительного процессора на вариант с реконфигурацией [Каляев, с.5], так как подобная архитектура позволяет получить очень высокую производительность системы при решении широкого класса задач. Глав-

ным преимуществом реконфигурируемой архитектуры является высокая эффективность с точки зрения соотношения полученной производительности к стоимости устройства.

Основная идея, используемая при проектировании структуры исполнительного процессора, – это отказ от одного микрокомандного устройства управления (данный подход продемонстрирован в работе [Meltsov, Tarasov, с.125]), выделение основных команд в списке исполняемых команд и их аппаратная реализация. Каждая команда реализуется как отдельный законченный модуль со своим устройством управления на жесткой логике. Таким образом, исполнительный процессор будет иметь в своём составе отдельные модули для выполнения команд, поступающих из ПК. Решение о разработке аппаратных реализаций для всех выбранных команд кроме команды UNIFY было принято по следующим причинам:

- модульность системы упрощает её разработку, доработку и отладку;

- уменьшение функциональности блоков позволит их реализовать с устройством управления на жесткой логике;

- реализация на устройстве управления с жесткой логикой позволит получить большую производительность, нежели на устройстве с микропрограммным управлением.

Необходимость отдельной аппаратной реализации блока унификации для выполнения команд унификации, была выявлена ранее при исследовании команд исполнительного процессора [Мельцов, с.958]. Из списка всех выполняемых команд исполнительным процессором для аппаратной реализации были выбраны следующие команды: SEARCH, CONJUN, ERASE, READ, GROUP, PREPARE, COMPOSE, WRITE, OPTIMIZE, UNIFY;

Назначение команд и их описание, а также полный список команд рассмотрены в работе [Meltsov V. Yu.]. Команды выбраны исходя из того, что все остальные команды могут быть выполнены на основе модификации данных команд.

Первый подход к разработке системы предполагает введение минимально необходимого количества блоков в структуру исполнительного процессора. Сама машина логического вывода будет содержать несколько таких ИП. Структура ИП, получаемая при данном подходе представлена на Рис. 1.

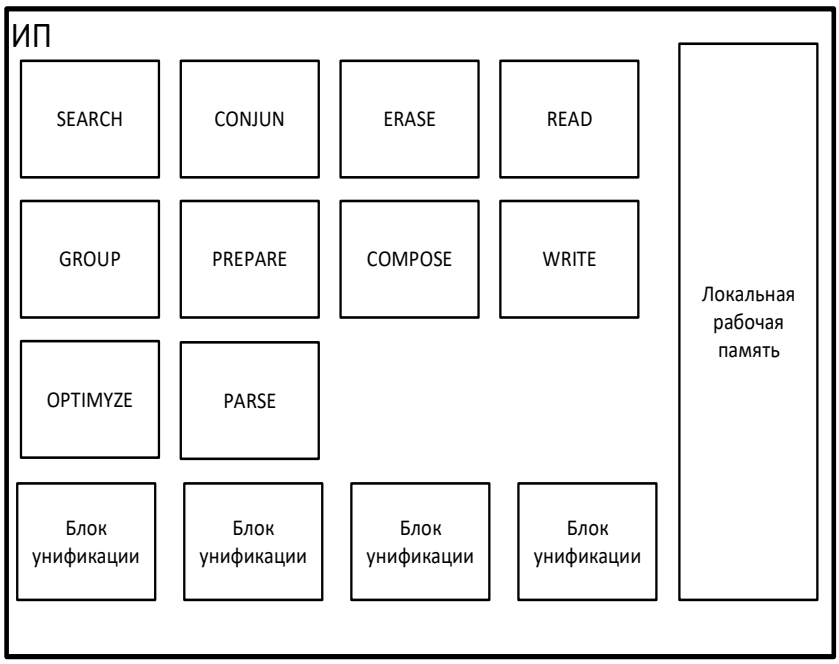


Рисунок 1. Структура исполнительного процессора (первый подход)

Таким образом, данный исполнительный процессор будет иметь набор модулей и локальную рабочую память. При этом, набор модулей может варьироваться, что соответствует требованиям реконфигурации.

Подобный подход предполагает, что при анализе входной задачи должен быть сконфигурирован исполнительный процессор, который сможет обработать одно правило от начала до конца. Количество блоков команд выбирается таким, чтобы обрабатывать правило или матрицы остатков по частям параллельно за один логический такт. Сама машина логического вывода, содержащая несколько исполнительных процессоров, должна сопоставлять каждую команду с правилом, в рамках которого она работает, и отправлять выбранную команду исполнительному процессору, который занимается обработкой данного правила. Если само обрабатываемое исходное правило и выводимое правило, а также информация, которая будет генерироваться в процессе обработки, уместится в локальной рабочей памяти, получится значительный прирост производительно-

сти. В идеальном случае должно быть столько блоков унификации сколько в среднем предикатов содержит правило, которое обрабатывает ИП. Количество ИП должно быть таким, сколько исходных правил содержит решаемая задача.

Второй подход, применяемый при решении указанной проблемы, подразумевает наличие в МЛВ одного исполнительного процессора, но с максимально вестимым на ПЛИС количеством блоков команд. При таком подходе на этапе анализа входной задачи необходимо выявить количество блоков для каждой команды, исходя из среднего времени выполнения соответствующей команды. Приоритет отдается тем блокам команд, время обработки на которых больше. Данный критерий выбран для получения высокого коэффициента загрузки аппаратуры, что обеспечит и высокую эффективность МЛВ. Тогда ПК будет просто рассылать команды соответствующим этой команде свободным блокам. Все блоки имеют общую рабочую память. Предлагаемая структура такого ИП представлена на Рис. 2.

Рассмотренные способы организации исполнительного процессора хотя и имеют сходную структуру, но, с точки зрения целевой функции проектирования устройства, а также оптимального количества узлов и блоков, существенно отличаются. Первый способ выделяет группу блоков команд и дополняет её локальной рабочей памятью. Такой подход будет конфигурировать ИП исходя из количества и сложности исходных правил задачи и ориентировать процессор логического вывода на максимально быстрое решение задачи пользователя. При этом если локальная память ИП будет вмещать исходное правило целиком, то возможно организовать работу всех блоков в режиме конвейера. Конечно потребуется ввести специальную процедуру формирования набора команд и соответствующих им исходных данных. Таким образом, возможно организовать не командное, а процедурное выполнение.

Второй подход конфигурирует исполнительный процессор исходя из технических характеристик блоков команд, что не учитывает характеристики решаемой задачи. Основное внимание уделяется техническим характеристикам и параметрам используемой ПЛИС, на которой будет решаться задача. При дан-

ном подходе возможно получить наибольшую эффективность использования аппаратуры, а также добиться наибольшей загрузки оборудования.

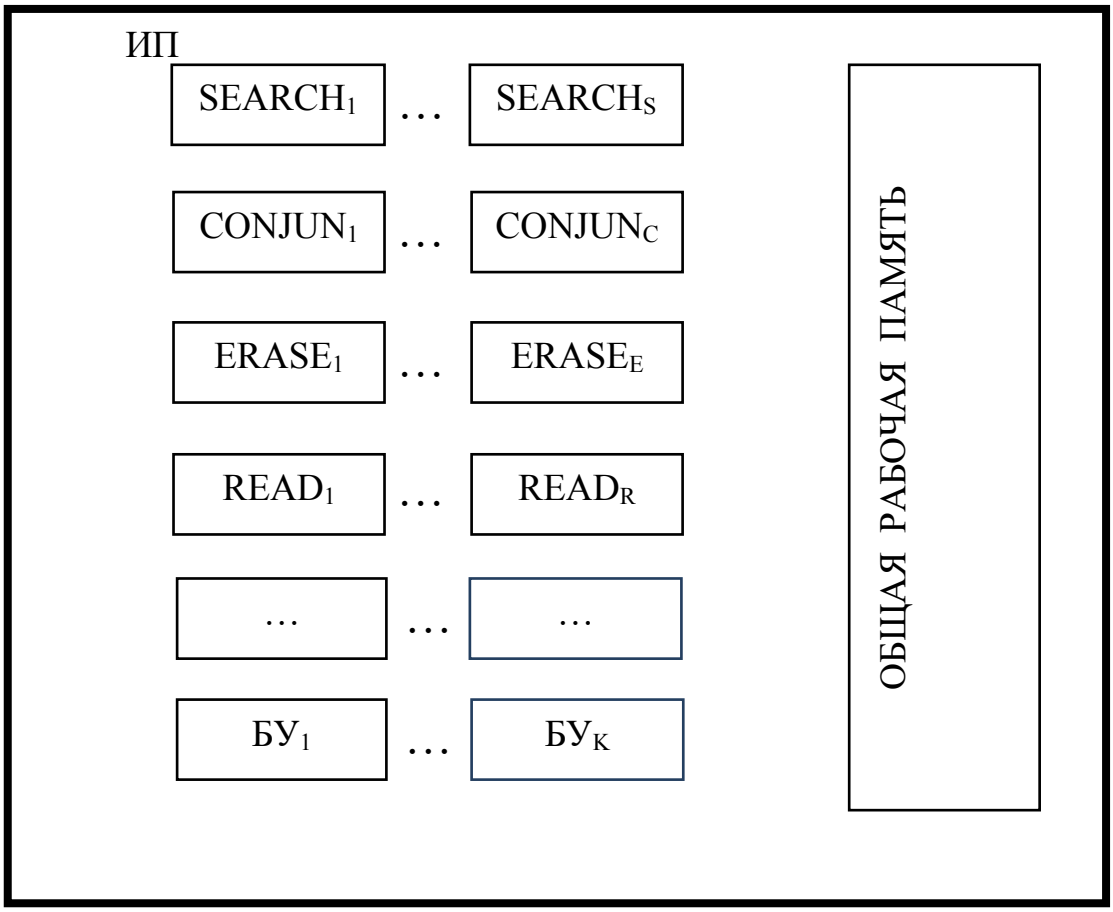


Рисунок 2. Структура исполнительного процессора (второй подход)

Для дополнительного повышения производительности данного подхода, необходимо ввести кэш-память в блоки команд. Тогда данный подход будет эффективен и для ПЛИС с малым объемом внутри кристальной памяти.

Поскольку главным критерием проводимых исследований является значительное повышение производительности процессоров логического вывода и ориентация на минимальное время решения задачи пользователя, то для дальнейшей разработки на ПЛИС был выбран первый подход.

Список литературы

1. Meltsov V. Yu. High-performance systems of deductive inference: Monograf. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. -216 p.

2. Strabykin D. A. Logical method for predicting situation development based on abductive inference. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2013. Т. 52. № 5. P. 759-763.

3. Meltsov V. Yu., Chistyakov G. A. Development modules for specification of requirements for a system of verification of parallel algorithms. European researcher. Series A. 2012. № 5-1 (20). C. 511-514.

4. Formal verification and accelerated inference. / Strabykin D et al. //Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Т. 464. С. 203-211.

5. Shipitsyna A. A., Meltsov V. Yu. An approach to designing intelligent test systems. В сборнике: European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences 2nd International scientific conference. 2014. С. 28-33.

6. Варламов О.О. МИВАР: линейный логический вывод //Вестник НИИ МИВАР. 2016. №1. С. 5-26.

7. Мельцов В.Ю., Куваев А.С. Разработка операционного устройства процессора логического вывода с несколькими блоками последовательной унификации / В сборнике: Неделя науки СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. 2016. С. 43-45.

8. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры /Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под общ. ред. И.А. Каляева. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. 344с.

9. Meltsov V.Y., Tarasov A.V., Karavaev M.A. Development of the instruction processor of specialized logic inference machine. //В сборнике: Modern informatization problems proceedings of the XIX-th International Open Science Conference. 2014. С. 125-130

10. Мельцов В.Ю., Куваев А.С. Реализация блока унификации исполнительного процессора на ПЛИС Cyclone III //В сборнике: Общество, наука, инновации (НПК-2013) Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция: сборник материалов. 2013. С. 958-962.

О физике как о предшественнице электротехники

Кузнецов В. Н.[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]

Аннотация: Современные цифровые технологии не мыслимы без специалистов, хорошо знающих электротехнику и электронику и умеющих применять эти знания в своей профессиональной деятельности. Фундамент этих знаний закладывается в средней школе на уроках физики. Надёжность этого фундамента во многом зависит от качества учебной литературы. Результаты сдачи ЕГЭ по физике говорят о слабой электротехнической подготовке школьников. Это подтверждает и проводимый кафедрой ЭиЭ входной контроль знаний студентов, приступающих к изучению электротехники и электроники. Цель данной статьи – показать некоторые изъяны учебников физики, касающиеся изложения теории, которая формирует представления об электрическом токе и электрических цепях. Результаты исследования показали, что электрическая терминология, используемая физиками, страдает упрощенством, что не только не улучшает восприятие учебного материала, но, напротив, значительно снижает качество просвещения.

Ключевые слова: электрический ток; электрическая цепь; терминология.

Первый вопрос, который ставит перед преподавателем каждый новый учебный год, можно сформулировать так: кого учить? Для получения ответа на кафедре ЭиЭ проводится входной контроль знаний студентов, приступающих к изучению электротехники и электроники. Результаты контроля в очередной раз неутешительные: искажённая (порой примитивная) электротехническая терминология, используемая студентами, неверное толкование ими электрических явлений. В чём причины? За разъяснением обратимся к учебникам физики, которые являются первоисточниками, формирующими начальные электротехнические знания школьников.

Обыкновенные люди в разговорной речи о тех или иных электрических явлениях используют упрощённые выражения. Зачастую к упрощенству прибегают и профессионалы в разговоре между собой и даже при общении с аудиторией. В этом нет ничего предосудительного. Но совершенно недопустимо использовать упрощённый подход к изложению тех или иных физических явлений в учебной литературе. (Речь здесь идёт не о способе изложения материала,

а о форме и прежде всего о языке и терминологии.) Анализ показал, что наши учебники физики не лишены указанных выше недостатков. Порой от упрощённых рассуждений авторы учебников переходят к вульгарному изложению теории.

Обсуждение терминологии начнём с понятия «электрический ток».

Текущий и протекающий, идущий и проходящий, отдаваемый и потребляемый, генерируемый и применяемый, подводимый и отводимый, создаваемый и вырабатываемый, пропускаемый и проводимый, ответвлённый (разветвлённый) и сглаженный – это всё эпитеты, которыми физики сопровождают электрический ток. Большая часть этих определений не только не способствует лучшему восприятию явлений, связанных с электрическим током, но, напротив, дезориентирует читателя. Электрический ток ошибочно отождествляют с потоком воды и даже с движущимся объектом. Учебники переполнены фразами, в которых электрический ток *течёт* («…проводник, по которому течет ток» [Мякишев, с. 271]; «В цепи будет течь пульсирующий ток…Поэтому…ток через нагрузку течет в ту же сторону…через нагрузку течет ток звуковой частоты» [Мякишев, с. 159]; «Переменный ток способен течь в цепи, содержащей конденсатор» [Мякишев, с. 97)], *идёт* и *пойдёт* (…по катушке идет переменный ток…в проводнике, по которому идет переменный ток» [Мякишев, с. 42]; «…через нагрузку пойдет переменный ток» [Касьянов, с. 127], *проходит* и *протекает* («Сила тока, проходящего по вольтметру» [Мякишев, с. 275]; «…когда диод пропускает ток, часть его проходит через нагрузку» [Мякишев, с. 159]; «…при прохождении тока по проводнику» [Мякишев, с. 95]; «Процесс протекания электрического тока через» [Мякишев, с. 311]; «…силу тока, протекающего через сопротивление» [Касьянов, с. 41)], *ответвляется*, *разветвляется*, *потребляется* и т. д. и т. п.

Употребление терминов «ток течёт», «ток идёт» и пр. даже по отношению к постоянному току в электрической цепи, в которой ток создаётся носителями заряда одного знака, вызывает ряд возражений. (Средняя скорость упорядоченного движения электронов, обусловливающих ток в медном проводе, прибли-

зительно равна 0,1 мм/с [Мякишев, с. 272].) Во-первых, слово *ток* уже содержит в себе течение, движение. Во-вторых, выходит, что ток течёт в направлении, противоположном направлению движения заряженных частиц (электронов), его создающих. Если в цепи постоянного тока есть некоторое поступательное движение электронов, хотя и с микроскопической скоростью, то в цепи переменного тока такого движения нет. А «течение» тока есть!? Когда читаешь о том, что «по катушке идет переменный ток», то невольно вспоминается (видимо, из-за предлога *по*) «учёный кот». Правда, переменный ток в электрической цепи, в противоположность вальяжному коту, суетится. (Надо же, какое совпадение: противоположность содержится и в написании этих слов.) Это подтверждают и сами авторы-физики: «Стандартная частота …50 Гц. Это означает, что на протяжении 1 с ток 50 раз течет в одну сторону и 50 раз – в противоположную» [Мякишев, с. 92]. (Странное какое-то течение: микрометр вперёд – микрометр назад.) «Хождение» распространилось даже на ток в биполярных полупроводниковых структурах («…ток свободно проходит через *p*-*n*-переход [Мякишев, с. 300]), где ток обусловлен встречным движением электронов и дырок. Ещё более нелепо выглядят фразы, в которых об отсутствии тока в цепи или в элементе цепи сообщается: «…ток в цепи не идет» [Мякишев, с. 108], «…ток в ней не течет» [Мякишев, с. 118], «Между такими точками, согласно закону Ома, ток не протекает» [Касьянов, с. 31].

Вольное обращение авторов с электротехническими терминами часто приводит читателя в замешательство. И есть от чего. Вот только некоторые выдержки из текстов учебников, касающиеся электрического тока (изложение фрагментарное, курсивом выделены броские слова): «…*подводить* ток к ротору или *отводить* его…во внешнюю цепь…Сила тока в обмотках…меньше силы тока, *отдаваемого*…во внешнюю цепь…ток удобнее *снимать* с…обмоток, а через скользящие контакты *подводить* ток к…ток в обмотку…*подают* из» [Мякишев, с. 116]; «Если *пропустить* ток…через…спираль…» [Мякишев, с. 290]; «…ток *сглаживается* с помощью фильтра…когда диод *пропускает* ток, часть его *проходит* через нагрузку, а другая часть *ответвляется* в конденса-

тор…*Разветвление* тока уменьшает пульсации тока, *проходящего* через нагрузку» [Мякишев, с. 159].

Произведём небольшой эксперимент: уберём из этих выписок главное слово *ток* и попытаемся догадаться, о чём (а может быть, о ком) идёт речь в этих выписках. Думается, что и сами авторы этих выписок будут не уверены в том, что речь идёт об одном и том же объекте. А уж на ум читателю приходит всё, что угодно, но только не электрический ток. Здесь (из ответов студентов) и водопроводчик, прилаживающий трубы к раковине, и электромонтёр, подводящий электропроводку, и бабушка, пропускающая мясо через мясорубку и подающая обед, и сосед, отдающий долг, и лаборант, снимающий показания приборов, и лакомка, снимающая сливки, и т. д. и т. п.

Кроме того, что выделенные курсивом слова использованы не по назначению, эти выписки изобилуют чисто техническими ошибками. Так, авторы отделили «подведение» тока от «отведения» тока, поставив между ними союз *или*, чем до неузнаваемости исказили физическую сущность явления. В действительности для «подведения-отведения» тока используются два провода электрической цепи. (Если контакты скользящие, в состав цепи входят дополнительно два контактных кольца и две щётки.) Если по одному проводу ток «подводится» («подаётся», «подходит»), то по другому проводу этот же самый ток «отводится» («отдается», «снимается», «отходит»). При постоянном токе в цепи один провод можно назвать условно, хотя и с большой натяжкой, «подводящим», а другой – «отводящим» ток. Если же ток переменный, то и эта «соломинка» исчезает.

Электрический ток – это не автомобиль, стоящий у шлагбаума в ожидании пропуска. Если не созданы условия для существования тока, то «пропустить» его невозможно, а если условия созданы, то ему не нужны ни пропуски, ни пропускники, ни «пропускающие». Электрический фильтр обычно сглаживает пульсации в кривой тока, но не сам ток, как считают авторы. Если даже допустить, что ток способен разветвляться (что совершенно неверно), то всё равно не «разветвление тока уменьшает пульсации тока». Напротив, в те про-

межутки времени, когда происходит «сглаживание тока» (диод в это время закрыт), электрическая цепь состоит всего-навсего из конденсатора (фильтра) и «нагрузки», соединённых последовательно, в которой конденсатор выполняет роль источника.

Электрический ток – это сложное явление. Об этом не следует забывать при составлении фраз с этим термином. Ток не идёт и не течёт. Он или есть, или его нет Он возникает, появляется, создаётся, существует, имеет место, устанавливается, направлен к узлу или от узла. Ток, как известно, порождается электрическим полем, которое, в свою очередь, создаётся источником электрической энергии. Следовательно, чтобы в каком-либо электротехническом устройстве появился ток, устройство нужно включить в электрическую цепь. «Электрическая цепь состоит из источника энергии, устройств, потребляющих электрическую энергию, соединительных проводов и выключателей для замыкания цепи.» [Мякишев, с. 276]. (Это утверждение можно принять без возражений, если заменить в нём «потребляющих» на «принимающих») По неизвестной причине физики эту одноконтурную электрическую цепь стали называть «полной цепью», вывели и сформулировали «закон Ома для полной цепи», разделили цепь на внутренний и внешний участки. Затем «внешний участок цепи» превратился во «внешнюю часть цепи». На этом можно бы и закончить преобразования. Однако физики пошли дальше: «внешнюю часть цепи» превратили во «внешнюю цепь», впоследствии из неё убрали и «внешнюю», а выводы этой «чистенькой» цепи (выводы двухполюсника) назвали концами [Мякишев, с. 284, 285]». В результате в учебниках запестрели такие фразы: «…напряжение на концах цепи равно сумме напряжений на отдельных участках» [Мякишев, с. 285]; «…напряжение на концах цепи меняется по гармоническому закону…при изменении напряжения на концах цепи…напряжение на концах цепи создается генераторами на электростанциях…в цепи, подключенной к источнику» [Мякишев, с. 92, 93, 94]. И эта освободившаяся от источника электроэнергии цепь свободно путешествует по страницам учебников как нечто самостоятельное. Всё, что имеет два вывода (конца) называют электрической цепью: резистор,

нить накаливания лампочки, конденсатор, индуктивная катушка…И названия придумали для таких цепей: цепь с резистором («сила тока в цепи с резистором»), цепь с конденсатором («Сопротивление цепи с конденсатором») [Мякишев, с. 94, 97]; цепь с индуктивностью («Колебания силы тока в цепи с индуктивностью») [Мякишев, с. 102]. (Интересно, какую функцию выполняет предлог *с* в названии «цепи», состоящей всего из одного элемента?)

Расчленив «полную» электрическую цепь на внутренний и внешний участки, авторы учебников «произведение силы тока и сопротивления участка цепи» назвали «падением напряжения на этом участке» [Мякишев, с. 283]. И вот результат: Разделив *напряжение* на сопротивление, согласно закону Ома для участка цепи, получили ток («силу тока») [Мякишев, с. 274]. Затем, умножив этот же ток на это же сопротивление, получили уже *падение напряжения*. Может быть стоит изменить формулировку закона Ома? И ещё один вопрос к авторам: почему напряжение назвали падением напряжения, а не повышением или подъёмом напряжения? Ведь если следовать по направлению тока на этом участке цепи, потенциал понижается, а если следовать навстречу току – потенциал повышается.

Подведём некоторые итоги. Чтобы электротехническое устройство могло выполнять свои функции, оно должно входить в состав той или иной электрической цепи. При этом предполагается, что в цепи имеется как источник (источники), так и приёмник (приёмники) электроэнергии, элементы цепи соединены между собой и образуют контур (контуры) для электрического тока (токов), в элементах цепи имеет место преобразование энергии. При отсутствии хотя бы одного из этих признаков электрическая цепь превращается в некий набор элементов, который, как единое целое, не может быть объектом изучения (исследования). У электрической цепи нет и быть не может ни концов, ни зажимов, так как элементы электрической цепи образуют непрерывную линию (линии) для тока. Следовательно, ни отдельный источник, ни отдельный приёмник электроэнергии, ни группа соединённых между собой источников или приёмников не являются электрической цепью. Простую электрическую цепь с

одним источником электроэнергии изображать схематически в виде двухполюсника (без источника), конечно же, можно. Но только с некоторыми оговорками и не на страницах школьных учебников. Такие схемы формируют и способствуют закреплению в сознании учащихся неверное представление об электрическом токе, особенно, если о факте существования тока в такой цепи используются сказуемые идёт, течёт и пр. Учащийся воспринимает электрический ток как объект, движущийся от одного полюса (пункт А) к другому полюсу (пункт Б). В литературе, адресованной специалистам, возможно, и допустимы некоторые вольности в терминологии (пусть это определяет сам автор послания). В учебной же литературе терминология должна быть предельно точной и строгой. Неподготовленный читатель, в частности школьник или студент, воспринимает текст буквально, и у него после чтения учебника с вольной терминологией формируется ошибочное представление о физической сущности явлений. Об этом свидетельствует, в частности, регулярно проводимый входной контроль знаний студентов, начинающих изучать электротехнику и электронику.

Список литературы

1. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 10-е изд. – М.: Просвещение, 2002. – 336 с.

2. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика: учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровень. – 16-е изд. – М.: Просвещение, 2007. – 381 с.

3. Касьянов В. А. Физика. Углубленный уровень. 11 кл.: учебник. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2016. – 463 с.

К теории электрических трансформаторов

Кузнецов В. Н.[a], Агалакова Л. М.[b], Косолапов Е. В.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники[a,b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru[a,b,c]

Аннотация: Электрический трансформатор – это уникальное электротехническое устройство, сравнительно простое по принципу действия и по конструкции. Практически все приёмники электроэнергии переменного тока получают электропитание от трансформаторов. Трансформатор – это своего рода преобразующий параметры электроэнергии посредник между электрическим генератором и приёмником. Не смотря на то, что общие вопросы (теоретические основы) трансформации электрической энергии разработаны более сотни лет тому назад, проблемы единой стройной теории трансформаторов существуют до сих пор. Эти проблемы связаны большей частью не с самой теорией, а с толкованием и изложением этой теории разными авторами.

Цель данной статьи – показать некоторые недостатки в изложении теории трансформаторов в учебной литературе и высказать свои взгляды на эту проблему.

Ключевые слова: электродвижущая сила; схема замещения; положительное направление электрической величины; закон электромагнитной индукции; закон Кирхгофа.

Анализ учебной и научной литературы по электротехническим дисциплинам показывает, что изложение теории электрических трансформаторов сопровождается целым рядом противоречий, неточностей и даже явных ошибок. Это связано главным образом с выбором не адекватной электромагнитной схемы трансформатора, с произвольным, ничем не обоснованным выбором положительных направлений электрических и магнитных величин на электрических схемах, с неверной трактовкой законов электромагнитной индукции и Кирхгофа.

Цель данной статьи – показать часто встречающиеся недостатки на конкретных примерах и высказать свои взгляды на эти проблемы. Для этого достаточно обсудить относящиеся к теории трансформаторов разделы двух типовых, на наш взгляд, учебников для вузов: одного по электротехнике, предназначенного для студентов неэлектротехнических специальностей [Касаткин] и одного по электрическим машинам, написанного для студентов электротехнических

специальностей [Брускин]. (В приведённых ниже выписках из учебников сохранены графические и буквенные обозначения величин, номера рисунков и формул оригиналов.)

В первом учебнике «принципиальная конструкция однофазного трансформатора» [Касаткин, с. 199] представляет собой магнитопровод с двумя обмотками, расположенными на разных стержнях. Опираясь на эту надуманную конструкцию, автор напоминает читателю: «Со стороны вторичной обмотки…, т. е. для приемника…трансформатор является источником электроэнергии, а со стороны первичной обмотки – приемником энергии» [Касаткин, с. 199]. Всё логично. Но…отмеченные на схеме стрелками положительные направления напряжений, ЭДС, токов совершенно не соответствуют описанной модели: «Если в цепи первичной обмотки ЭДС и ток совпадают по направлению…то в цепи вторичной обмотки направление тока выбрано противоположным направлению ЭДС. Это способствует физическому представлению о различной роли ЭДС: в первом случае ЭДС препятствует изменению тока, а во втором возбуждает ток.» [1, с. 200]. Вот такое удивительное взаимодействие причины и следствия: ЭДС (причина) «возбуждает ток» (следствие), направленный против этой силы!

Одно противоречие порождает другое. Так, на векторных диаграммах [Касаткин, с. 204, 206] углы (сдвиги фаз) между векторами тока и ЭДС обеих обмоток имеют значения, большие 90 градусов, а углы между векторами тока и напряжения – значения, меньшие 90 градусов. В результате электромагнитная мощность трансформатора, пропорциональная косинусу сдвига фаз между током и ЭДС, получается отрицательной величиной, в то время как электрические мощности обмоток, пропорциональные косинусу сдвига фаз между током и напряжением, – положительными величинами, что противоречит теории: не может отрицательное число быть частью положительного, а положительное – частью отрицательного.

Обратимся к второму учебнику.

Электромагнитная схема трансформатора, представленная на «рис. 2.1» [Брускин, с. 18], такая же, что и в первом учебнике, только направления ЭДС обмоток противоположны. Но, что странно, в формулах мгновенных значений ЭДС сохраняется, как и в первом учебнике, знак минус. Для цельного анализа теории необходима довольно длинная выписка, включающая и формулы, и рисунки. Итак, читаем: «К первичной обмотке (рис. 2.13, а) подводится синусоидальное напряжение… Переменный поток наводит в обмотках ЭДС $e_1 = -w_1 d\Phi / dt$; $e_2 = -w_2 d\Phi / dt$. Режим холостого хода…При этом

$$u_1 = i_1 r_1 + w_1 d\Phi / dt . \qquad (2.6)$$

…Вводя в формулу (2.6) значение ЭДС e_1… и пренебрегая падением напряжения в активном сопротивлении…, получают

$$u_1 + e_1 = 0 . \qquad (2.7)$$

При синусоидальном характере изменения напряжения $\dot{U}_1$ и ЭДС $\dot{E}_1$ уравнение (2.7) можно представить в комплексной форме:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = 0 . \qquad (2.9)$$

Поэтому на векторной диаграмме (рис. 2.13, б) … векторы ЭДС $\dot{E}_1$ и напряжения $\dot{U}_1$ показаны в противофазе в соответствии с уравнением (2.9).

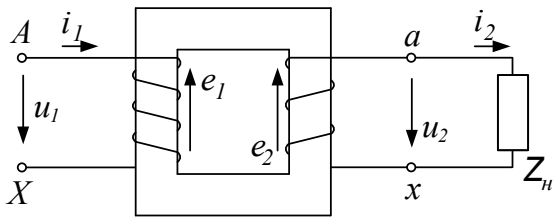
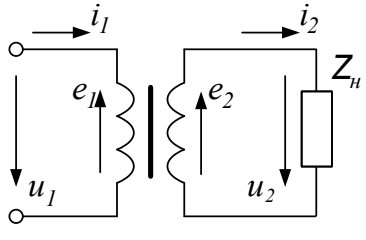
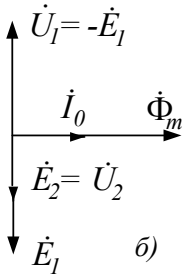


Рис. 2.1



а)



б)

Рис. 2.13

…Работа под нагрузкой. В этом режиме…

$$u_1 = w_1 \frac{d}{dt}(\Phi_1 + \Phi_2),$$

где Φ_1 и Φ_2 – мгновенные значения потоков, создаваемых токами первичной и вторичной обмоток.

…результирующий поток при нагрузке равен потоку при холостом ходе:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_0 .$$

Из этого свойства следует закон равновесия (МДС):

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0, \tag{2.12}$$

где $\dot{F}_1$ и $\dot{F}_2$ – МДС, создаваемые первичной и вторичной обмотками при нагрузке; $\dot{F}_0$ – МДС, создаваемая первичной обмоткой при холостом ходе.

Из (2.12) следует:

$$\dot{F}_1 = \dot{F}_0 + \left[-\dot{F}_2(w_2 / w_1)\right]. \tag{2.13}$$

Комплексные уравнения трансформатора примут вид:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1, \tag{2.23}$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{U}_2, \tag{2.24}$$

$$\dot{I}_1 + (-\dot{I}_2 w_2 / w_1) = \dot{I}_0. \tag{2.25}$$

Трансформатор можно заменить схемой замещения (рис. 2.18).

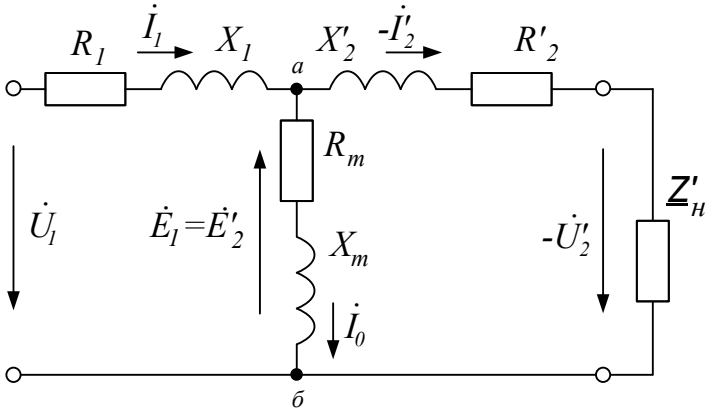


Рис. 2.18

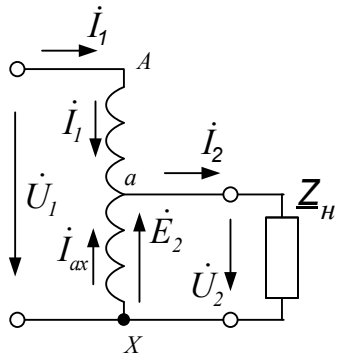


Рис. 2.40

В схеме понижающего автотрансформатора (рис. 2.40) на участке *ax* через обмотку проходит ток, равный векторной сумме токов вторичной и первичной цепей $\dot{I}_{ax} = \dot{I}_2 + \dot{I}_1$….Токи $\dot{I}_2$ и $\dot{I}_1$ сдвинуты по фазе приблизительно на угол 180°. Поэтому, пренебрегая током холостого хода и переходя к модулям токов $\dot{I}_2$ и $\dot{I}_1$, получаем $I_{ax} = I_2 - I_1$» [2, с. 32, 33, 34, 40, 42, 65, 66]. (Окончание выписки).

Подведём итог написанному выше.

Первое. Выражения для ЭДС обмоток трансформатора противоречат закону Ленца. ЭДС первичной обмотки – это ЭДС самоиндукции. Поскольку её направление выбрано противоположным направлению тока в обмотке, перед производной магнитного потока по времени должен стоять знак плюс. ЭДС вторичной обмотки также должна иметь положительный знак, так как она индуцируется тем же самым магнитным потоком, а её направление выбрано аналогично направлению ЭДС первичной обмотки.

Второе. Знак перед производной в уравнении (2.6) ничем не обоснован. Кроме того, уравнение (2.7) никак не вытекает из уравнения (2.6). Наоборот, уравнение (2.6) подогнано под уравнение (2.7).

Третье. Уравнения (2.7), (2.9), соответственно и диаграмма (рис. 2.13, б), а также уравнение (2.23) противоречат закону Кирхгофа.

Четвёртое. Уравнения равновесия МДС (2.12) и токов (2.13) не соответствуют ни электромагнитной схеме (рис. 2.1), ни физическому смыслу. Из рис. 2.1 видно, что МДС обмоток направлены встречно друг другу, а потому должны вычитаться, а не складываться. Соответственно должны вычитаться и магнитные потоки в предшествующих уравнению (2.12) формулах. Физическое обоснование этому даёт закон Ленца: МДС вторичной обмотки оказывает размагничивающее действие. Следует обратить внимание и на то, что знак плюс в уравнении (2.12) вовсе не следует из предшествующего ему уравнения магнитных потоков, так как уравнение МДС в этом смысле является определяющим (первичным).

Пятое. На схеме замещения трансформатора (рис. 2.18) направления тока вторичной обмотки и напряжения на её выводах (и приёмнике) изменены по сравнению с рис. 2.1, 2.13, а. Объяснения этому в тексте нет. На схеме замещения ток вторичной обмотки направлен навстречу ЭДС, создающей его. Кроме того, в соответствии с законом Кирхгофа для этой схемы: $\dot{U}_2 + Z'_2\dot{I}_2 = -\dot{E}_2$. Это уравнение не согласуется с уравнением (2.24), на котором построена теория. Получается некоторая тупиковая ситуация. Если же на схеме замещения направления тока и напряжения вторичной обмотки изменить на противопо-

ложные (для этого достаточно убрать минусы перед этими величинами), то есть привести в соответствие с электромагнитной схемой (рис. 2.1, 2.13, а) и с уравнением (2.24), то тогда уравнения равновесия токов и МДС не будут соответствовать уравнениям (2.13) и (2.12). Опять тупик. Таким образом, в рассмотренных выписках по теории трансформаторов не вызывают сомнения лишь два уравнения: (2.24) и (2.25). Всё остальное написано по принципу: верьте мне. При этом следует заметить, что не вызывающее сомнение уравнение (2.25), судя по всему (это подтверждают все предшествующие и последующие выкладки и уравнения), является в данном учебнике опечаткой.

Не отличается точностью и теория автотрансформаторов. Так, исходное уравнение токов для рис. 2.40 не согласуется с законом Кирхгофа: вместо векторной суммы токов должна быть векторная разность. Если же исходное уравнение привести в соответствие с законом Кирхгофа, то не получится уравнение для модулей токов – ток на «на участке *ax*» будет равен арифметической сумме токов, что явно противоречит практике.

Предлагаемая нами концепция теории трансформаторов, в которой отсутствуют отмеченные выше недостатки, приводится ниже в кратком изложении.

Трансформатор (рис.1 а) со стороны первичной обмотки, имеющей w_1 витков, представляет собой активный приёмник электроэнергии, а со стороны вторичной обмотки, имеющей w_2 витков, – источник электроэнергии (для приёмника $\underline{Z}_{П}$ в данном случае). Исходя из этого, выбраны положительные направления величин. Направления напряжения u_1 на первичной обмотке и тока i_1 в ней совпадают. Направления основного магнитного потока Ф, МДС $w_1 i_1$ и потокосцепления рассеяния $\Psi_{1рас}$ первичной обмотки связаны с направлением тока в обмотке правилом буравчика. Ток i_2 вторичной обмотки совпадает по направлению с её ЭДС e_2, а напряжение u_2 на вторичной обмотке направлено встречно e_2 и совпадает по направлению с током в приёмнике. Направления МДС $w_2 i_2$ и потокосцепления $\psi_{2рас}$ связаны с направлением тока i_2 правилом буравчика. Так как ЭДС e_1 в первичной и ЭДС e_2 во вторичной обмотке имеют

одинаковые направления относительно одноимённых выводов обмоток и индуцируются одним и тем же магнитным потоком Ф, то они совпадают по фазе:

ЭДС рассеяния в первичной ($e_{1рас}$) и во вторичной ($e_{2рас}$) обмотках имеют одинаковые положительные направления по отношению к «своим» потокосцеплениям рассеяния и токам. Поэтому

Уравнения электрического состояния для первичной и вторичной обмотки трансформатора, согласно закону Кирхгофа в комплексной форме:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1\underline{I}_1 + \underline{E}_{1рас} = \underline{E}_1 + R_1\underline{I}_1 + jX_{1рас}\underline{I}_1.$$

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - R_2\underline{I}_2 - \underline{E}_{2рас} = \underline{E}_2 - R_2\underline{I}_2 - jX_{2рас}\underline{I}_2 = \underline{Z}_n\underline{I}_2.$$

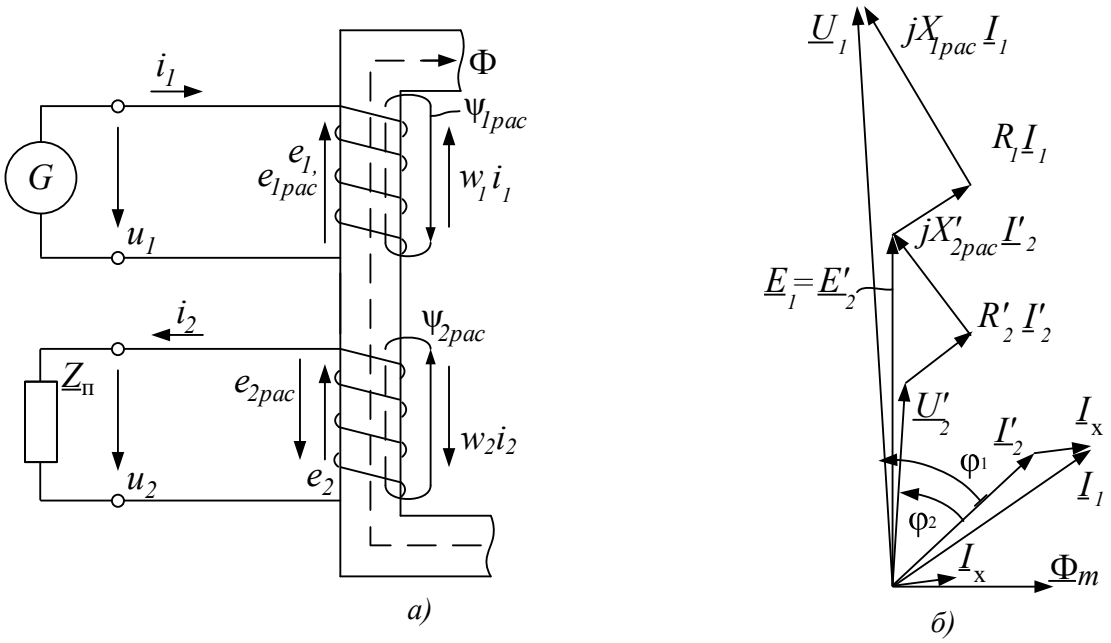


Рисунок 1.

Согласно закону полного тока для рис. 1 *а*,

$$Hl = w_1 i_1 - w_2 i_2,$$

где H – мгновенное значение напряжённости магнитного поля в магнитопроводе;

l – длина средней линии магнитной индукции в магнитопроводе.

В нормальном установившемся режиме работы трансформатора амплитуды магнитного потока и результирующей МДС, создающей этот поток, неизменны. В соответствии с этими условиями получаются уравнения МДС и токов для мгновенных и комплексных действующих значений:

$$w_1 i_{1x} = w_1 i_1 - w_2 i_2, \quad i_1 = i_{1x} + i_2'.$$

$$w_1 \underline{I}_{1x} = w_1 \underline{I}_1 - w_2 \underline{I}_2, \quad \underline{I}_1 = \underline{I}_{1x} + \underline{I}_2'.$$

Этим уравнениям соответствует диаграмма, приведённая на рис. 1 б.

Принцип составления уравнений для автотрансформатора (рис. 2.40) тот же, что и для трансформатора. Ограничимся лишь уравнениями МДС и токов. Если пренебречь током холостого хода, то получится уравнение МДС:

$$(w_1 - w_2)\underline{I}_1 - w_2 \underline{I}_{12} = 0.$$

Отсюда, с учётом фазовых соотношений, ток в общей части обмотки

$$I_{12} = \left(\frac{w_1}{w_2} - 1\right) I_1 = \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right) I_2.$$

Нет порядка в нашем электротехническом хозяйстве. Даже в учебниках имеется много противоречий и ошибок (не опечаток, а именно ошибок, опечатки легко обнаруживаются, так как не маскируются). А что уж говорить о пособиях, методических указаниях, конспектах лекций и т. п., издаваемых кафедрами вузов для внутреннего пользования. Думается, пора установить нормативный контроль на учебники и учебные пособия. Внешние рецензии – это чистая формальность. Это все прекрасно понимают.

Список литературы

1. Касаткин А. С., Немцов М. В. Курс электротехники. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2005. – 542 с.

2. Брускин Д. Э., Зорохович А. Е., Хвостов В. С. Электрические машины и микромашины. Учебник для электротехнических спец. вузов. – М.: Высшая школа,1990. – 528 с.

Моделирование характеристик индикатрисы рассеяния на частицах в твердых ракетных топливах

Кульгускина А.А.[a], Шмакова Н. А.[b]
студентка кафедры автоматики телемеханики[a]
старший преподаватель кафедры автоматики телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: nastyakulguskina@yandex.ru[a]
E-mail: usr09554@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Одной из основных проблем исследования процессов теплового излучения ракетных двигателей является сложность в практической реализации эксперимента. Излучение частиц в гетерогенных продуктах сгорания и связанные с этим тепловые эффекты существенны при разработке различных методов обнаружения, распознавания и наведения ракет и снарядов, интерпретацией экспериментальных данных.

В ходе работы разработано программное обеспечение, позволяющее получить индикатрису теплового излучения в зависимости от спектрального интервала, температурного диапазона и вида топливной смеси. В статье описаны методы и результаты расчета индикатрисы рассеяния теплового излучения на частицах различных порошков в твердотопливном ракетном двигателе, полученные с помощью разработанного программного обеспечения. В работе исследуются основные марки порошков с добавкой *Al* (АСД-4, АСД 6, АСД 8), используемых в качестве высокоэнергетических добавок в ТРТ, а также субмикронный порошок Alex, полученного методом электрического взрыва проводников, используемых в гиперзвуковых ракетных двигателях. Проведено исследование влияния топливной смеси на значение теплового излучения.

Ключевые слова: тепловое излучение; продукты сгорания; индикатриса; полином Лежандра, гамма-функция.

Сложность реализации реальных экспериментов состоит в различных факторах, таких как финансовые или физические препятствия, также нельзя исключить возможность непредвиденного результата, поэтому особенно актуальной становится реализация возможности моделирования характеристик теплового излучения.

Компьютерное моделирование дает возможность определения благоприятных экспериментальных ситуаций, повышающих информативность эксперимента. Также возможно повлиять на результат эксперимента, установив определенную область параметров [2].

Для решения большинства проблем в тепловых и энергетических исследованиях представляет большой интерес числовое моделирование оптических свойств и радиационных характеристик теплового излучения твердотопливных двигателей.

Анализ последних достижений в области исследования теплового излучения приводит к выводам, что количество исследований является недостаточным, а также многие данные устарели. Для выхода исследований на новый уровень необходимо расширение существующих знаний путем проведения расчетных исследований и моделирования радиационных характеристик теплового излучения. Современные технологии дают возможность решения задач, которые в прошлом не могли быть решены в реальном масштабе времени по причине недостатка ресурсов.

Необходимо рассмотреть, какое влияние оказывают различные параметры на процесс теплового излучения ракетных двигателей. В статье [3] проводилось исследование влияния концентрации охладителя на температурные, спектральные и интегральные характеристики излучения (плотность потока и коэффициент излучения) продуктов сгорания в твердотопливном газогенераторе.

В работе [7] было обнаружено, что изменения вязких характеристик парафиновых и высоковязких марок нефти происходят под влиянием магнитного поля. Уменьшение вязкости масла при нагреве [8] приводит к образованию дополнительного источника энергии в нефтяном пласте в форме выделяемого газа. Это приводит к тепловому расширению масла, что способствует его полному перемещению.

Одним из основных параметров излучения является индикатриса рассеяния. Цель работы заключалась в применении расчета индикатрисы теплового излучения в моделировании процесса теплового излучения ракетных двигателей. Рассмотрено влияние состава топливной смеси на процесс теплового излучения ракетных двигателей.

В составе высокоэнергетических материалов (ВЭМ) применяются порошки металлов. Они рассматриваются не только как горючее, но и как модифика-

торы быстропротекающих процессов горения и взрыва. К наиболее распространенным маркам порошков алюминия относятся АСД-4, АСД-6, АСД-8, а также ультрадисперсный Alex.

На скорость горения топлива влияет не только состав порошка, но и внешние факторы, такие как температура горения, давление в камере сгорания. Исследование скорости горения рассмотрено в работах [4] [5].

В связи с развитием порошковых нанотехнологий актуальными являются задачи идентификации распределения частиц порошков алюминия по размерам и аппроксимации их подходящей функцией плотности вероятности. В работе [6] был предложен метод идентификации распределений частиц порошков алюминия по размерам с использованием экспериментальных гистограммам и были получены среднестатистические диаметры порошков, функции массового $g(d)$ и счетного $f(d)$ распределения.

Метод расчета индикатрисы использовался для исследования влияния состава порошка, используемого для изготовления ракетного топлива, на форму излучения.

Распределение связано с наличием в составе порошка каких-либо добавок, что приводит к изменению диапазона значений, принимаемых индикатрисой.

Для дальнейшего расчета необходимо использовать следующие параметры: температура $T = 2500\ \text{К}$, длина волны $\lambda = 2\ \text{мкм}$, начальный радиус r_{min}, шаг Δr, максимальный радиус r_{max}. Используемый в работе спектральный интервал $\lambda = 0{,}4 \ldots 3\ \text{мкм}$ и температурный диапазон 2060–2635 К соответствовал основной доле энергии излучения, газовой и конденсированной фаз для условий факела РДТТ. Максимальный радиус определяется по графику функции распределения. Распределение размеров частиц алюминия можно описать [12] функцией

$$f(r) = \frac{a^{b+1}}{b!} * r^{b} * \exp^{-a*r}, \qquad (1)$$

Для расчета необходимо проверить нормировку функции распределения. Результат нормировки функций и исходные данные для расчета приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета индикатрисы рассеяния

Марка порошка	a	b	r_{min}, мкм	r_{max}, мкм	Нормированная функция распределения по радиусам
АСД-4	0.606	1.213	0.1	12	$g(r) = 0.295r^{1.213}*e^{(-0.606r)}$
АСД-6	1.122	1.642	0.1	10	$g(r) = 0.857r^{1.642}*e^{(-1.122r)}$
АСД-8	3.936	3.149	0.1	4	$g(r) = 40.464r^{3.149}*e^{(-3.936r)}$
Alex	93.6	4.49	0.1	0.25	$g(r) = 1.231*10^{9}r^{4.49}*e^{(-93.6r)}$

В некоторых методах решения уравнений переноса энергии излучения индикатриса представляется по полиномам Лежандра [1]

$$\gamma(\theta) = \frac{1}{4\pi} + \frac{1}{4\pi}\sum_{n=1}^{n=\infty} a_n P_n(cos\theta), \qquad (2)$$

Здесь a_n – коэффициенты, не зависящие от угла рассеяния θ, $P_n(cos\theta)$ – полиномы Лежандра.

Коэффициенты a_n можно определить по известным значениям $\gamma(\theta)$ с использованием свойства ортогональности полиномов Лежандра [1].

$$a_n = 2\pi(2n+1)\int_{-1}^{1}\gamma(\theta)\,P_n(cos\theta)d(cos\theta). \qquad (3)$$

Для решения уравнения переноса энергии излучения в транспортном приближении необходимо знать средний косинус рассеяния[1]

$$\overline{\mu} = \int_{-1}^{1}\gamma(\theta)\;\mu\,d\,\mu\,,\;\mu\; = (cos\theta).$$

Значения функций рассеяния определяется с точностью вычисления коэффициентов a и b. В работе [13] описано преобразование формул Ми к виду, удобному для расчетов и нахождение коэффициентов, не зависящих от угла рассеяния.

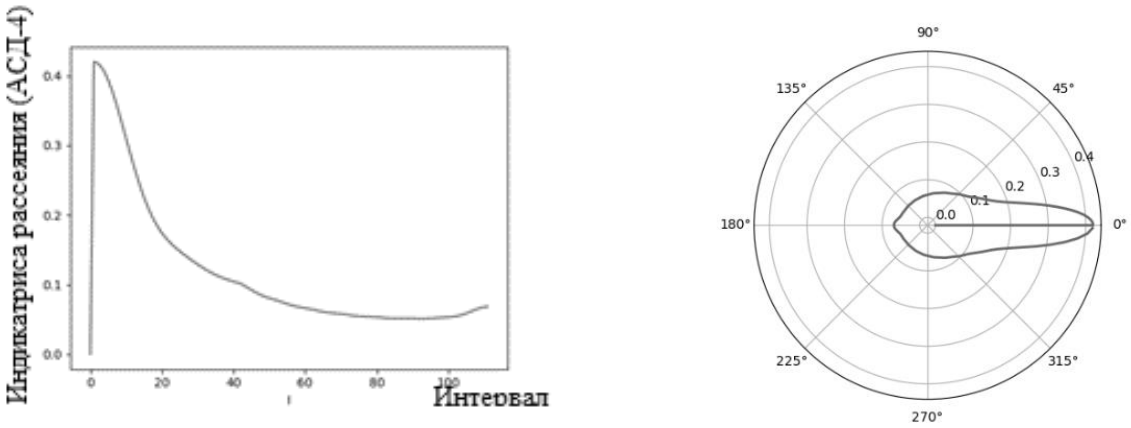


Рисунок 1. Индикатриса рассеяния теплового излучения на частицах порошка АСД-4.

Для проведения исследования влияния топливной смеси на значение теплового излучения разработано программное обеспечение, позволяющее получить изображение формы индикатрисы излучения. Входными параметрами являются температура T, длина волны λ, начальный радиус r_{min}, шаг Δr, максимальный радиус r_{max}.

Рассматривается 4 основных вида порошка, который используется для изготовления ракетного топлива [4]: АСД-4, АСД-6, АСД-8, Alex. Используются коэффициенты a и b, полученные в результате вычислительного исследования [4]. Значения параметров приведены выше.

В результате расчета индикатрисы теплового излучения с помощью разработанного программного обеспечения для различных видов топливной смеси был получен ряд графиков, представленных на рисунках Рис. 1-5.

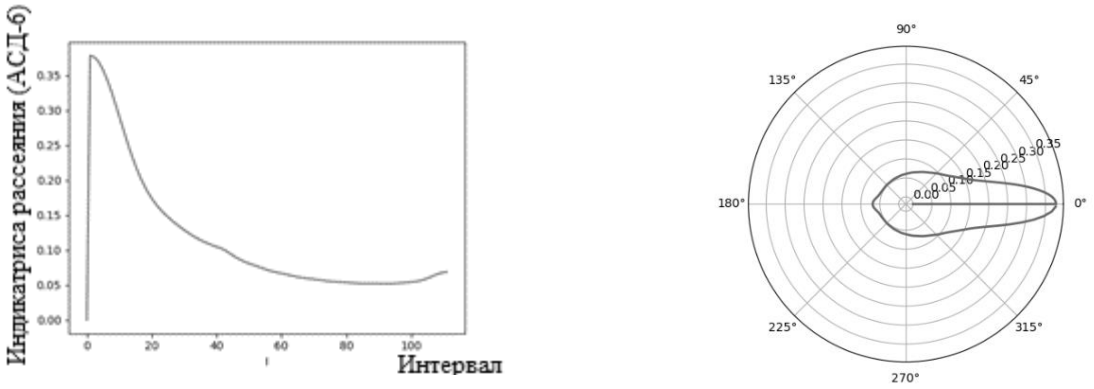


Рисунок 2. Индикатриса рассеяния теплового излучения на частицах порошка АСД-6.

Графики демонстрируют изменение формы индикатрисы в зависимости от вида порошка, используемого в качестве высокоэнергетической добавки.

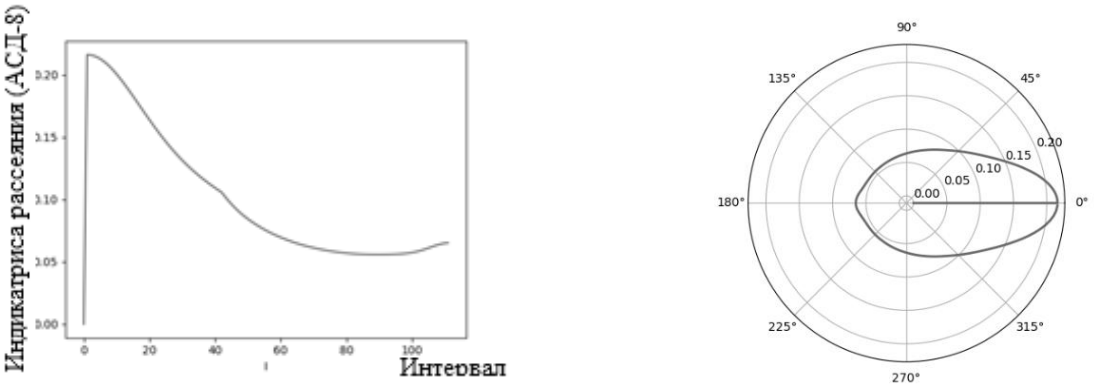


Рисунок 3. Индикатриса рассеяния теплового излучения на частицах порошка АСД-8.

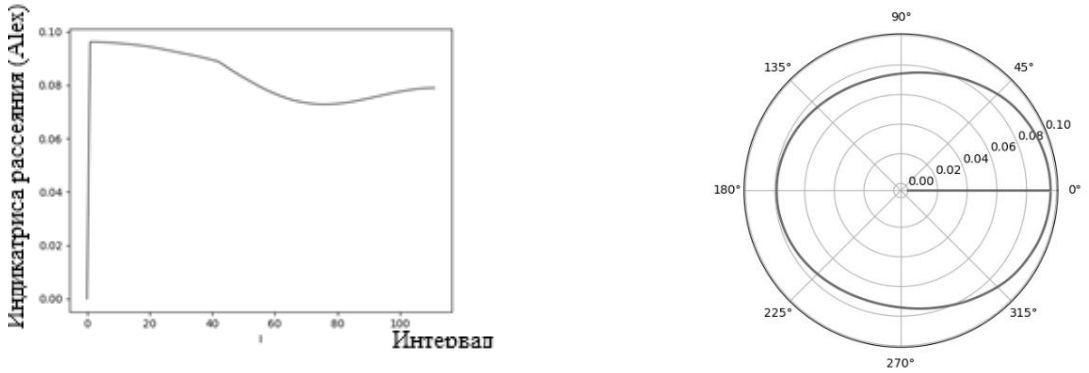


Рисунок 4. Индикатриса рассеяния теплового излучения на частицах субмикронного порошка Alex.

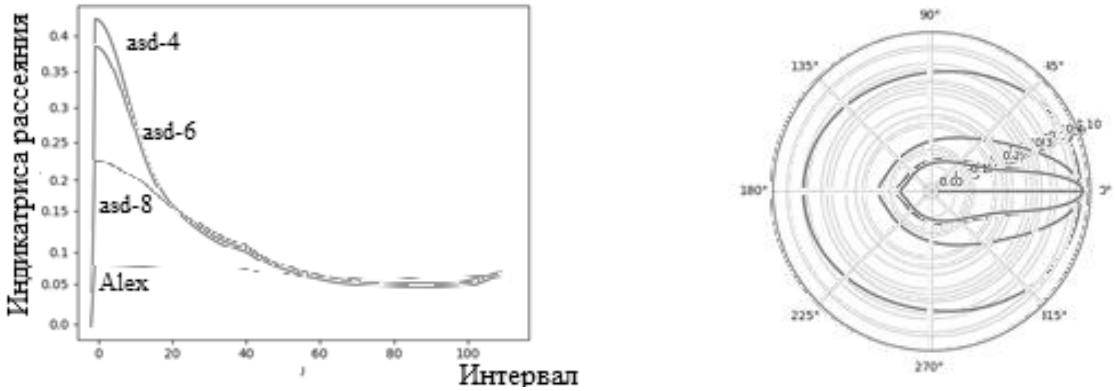


Рисунок 5. Сравнение индикатрис рассеяния теплового излучения на частицах для порошков АСД-4, АСД-6, АСД-8 и Alex.

В настоящей работе было разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать индикатрису излучения в зависимости от температурного диапазона и спектрального интервала для различных энергоустановок. С помощью данной разработки было проведено исследование влияния состава порошка, используемого для изготовления ракетного топлива, на индикатрису рассеяния теплового излучения продуктов сгорания в твердотопливном ракетном двигателе. Отличие результатов вычислений между различными видами топливной смеси обусловлено составом порошка.

Для определения доли рассеяния излучения на частицах по направлению оси струи и перпендикулярно оси струи проедены расчеты индикатрисы для разных размеров частиц d_{32}, определяемых на интервале от r_{min} до r_{max}.

В результате расчетов установлено, что для крупных частиц рассеяние излучения происходит преимущественно по оси струи, что соответствует анизотропному рассеянию излучения, падающего на частицу вдоль оси струи. Для малых частиц рассеяние излучения близко к изотропному.

Исходя из результатов расчетов можно сделать вывод, что дисперсность частиц топливной смеси оказывает влияние на форму теплового излучения продуктов сгорания в РДТТ. При использовании топливной смеси с более крупными частицами, индикатриса принимает более вытянутый вид, при использовании топливной смеси с нано-частицами излучение принимает изотропный характер.

Разработанный программный модуль позволяет выполнять расчеты индикатрисы рассеяния теплового излучения при различных параметрах излучения. Например, можно оценить доли излучения крупных и мелких частиц, определить влияние температуры. Это дает возможность применять модуль при различных исследованиях теплового излучения продуктов сгорания.

Список литературы

1. Блох, А. Г. / Радиационные характеристики полидисперсных систем сферических частиц [Текст] / А.Г. Блох, В.Я. Клабуков, В.А. Кузьмин ; Киров.политехн. ин-т. - Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, [19--]. - 113 с.

2. Кузьмин, В. А. / Тепловое излучение в двигателях и энергетических установках / В. А. Кузьмин ; Федер. науч.-техн. программа "Науч. исслед. высш. шк. по приоритет.направлениям науки и техники на 2000-2002 г.", М-во образования и науки РФ, Федер. агентство по образованию, Вят. гос. ун-т. - Киров :Вят. гос. ун-т, 2004 (ООО Фирма Полекс). - 231 с.

3. V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, N.A. Shmakova, «Modeling of thermal radiation of combustion products in the gas generator»

4. В.А. Архипов, А.Г. Коротких, А.А. Громов, В.Т. Кузнецов, А.В. Пестерев, И.А. Евсеенко, «Влияние каталитических добавок порошков металлов на зажигание высокоэнергетических материалов»//ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ//№ 11/3 ФИЗИКА 2011

5. Д.А. Ягодников, Е.И.Гусаченко. «Экспериментальное исследование дисперсности конденсированных продуктов сгорания аэровзвеси частиц алюминия»//Физика горения и взрыва, 2004, т.40, №2.

6. Архипов В. А., Бондарчук С. С., Коротких А. Г., Лернер М. И.// Горный журнал. 2006. – № 4. – С. 58–65.

7. Yu.V. Loskutova, N.V. Yudina, and S.I. Pisarev, “The influence of magnetic field on the paramagnetic, antioxidant and viscosity characteristics of some oils”, Petrochemicals, vol.48, 2008, pp.50-54.

8. N.K. Baybakov, A.R. Garushev, Thermal methods of oil field development. Moscow, 1988.

9. S.N. Mikhailenko, Yu.L. Babikov, and V.F. Golovko, “Information and computational system “Spectroscopy of Atmospheric Gases”. Structure and basic functions”, Optika atmosfery i okeana, 2005, vol. 18, no. 9, pp. 765-776.

Преобразователи частоты: краткий обзор характеристик

Кутьин В.М.[a], Шестаков А.В.[b],
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b]
E-mail: kutin.v@inbox.ru[a], shestakov@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Современный асинхронный электропривод активно развивается и обладает широким спектром технических решений. В данной статье рассмотрены основные методы и алгоритмы частотного регулирования электропривода переменного тока. Для этого был выполнен обзор и анализ литературы по данной тематике. В ходе исследования были выявлены преимущества и недостатки существующих методов частотного регулирования. Данные методы позволяют осуществлять плавное регулирование скорости электродвигателя, что позволяет отказаться от редукторов и вариаторов, также это повышает надежность, а значит, снижает эксплуатационные расходы. Частотные преобразователи способны обеспечить плавный пуск двигателя, что снижает нагрузку на электропривод и повышает срок его эксплуатации. Также преобразователи частоты совместно с асинхронными двигателями можно использовать для замены электродвигателей постоянного тока.

Ключевые слова: преобразователь частоты, широтно-импульсная модуляция, частота, привод, асинхронный двигатель.

Введение

В настоящее время преобразователь частоты (ПЧ) является основным элементом в приводах переменного тока. Хотя на данный момент и существует множество алгоритмов управления и вариантов аппаратной реализации ПЧ, большинство производителей предпочитают применять типовые решения для создания ПЧ [Макаров], [Новиков], [Усольцев], [Сандлер].

Регулируемый электропривод, в общем случае, решает две задачи: регулирование момента и скорости вращения электродвигателя. Необходимость управления моментом обуславливается техническими и технологическими требованиями, которые предъявляются к электроприводу. Для нормальной работы электропривода необходимо накладывать ограничения по току и моменту в переходных режимах пуска, торможения и приложения нагрузки. В механизмах, которые испытывают при работе существенные перегрузки, необходимо посто-

янно регулировать момент электродвигателя для ограничения динамических ударных нагрузок.

Многие технологические режимы на разных этапах производственного процесса также требуют разных скоростей движения рабочего органа. Это достигается либо механическим путем, либо электрическим регулированием частоты вращения двигателя. При этом точность и диапазон регулирования угловой скорости электропривода может меняться в широких пределах в зависимости от того, где этот электропривод применяется.

Цель исследования: рассмотреть основные типы преобразователей частоты и методы частотного управления асинхронным электродвигателем, выявить преимущества и недостатки каждого метода.

Основные типы преобразователей частоты

По числу стадий преобразования энергии ПЧ делятся на ПЧ с непосредственной связью (НПЧ) и ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока, являющиеся на данный момент наиболее распространенными [Сандлер], [Виноградов].

На входе у ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока расположен управляемый (рис. 1, а и б) или неуправляемый (рис. 1, в) выпрямитель. Энергия переменного тока с постоянными значениями напряжения и частоты после преобразования выпрямителем в энергию постоянного тока поступает в инвертор и снова преобразуется в энергию переменного тока, но уже с регулируемыми параметрами. Таким образом, в таких ПЧ происходит двойное преобразование энергии, это немного понижает их КПД, но отдельные значительные преимущества данных ПЧ гарантируют им господствующее положение в современном электроприводе.

Чтобы обеспечить энергетическую развязку, между выпрямителем и инвертором устанавливается накопитель энергии (конденсатор или дроссель). Это необходимо, так как энергия постоянного тока чисто активная, а для создания

магнитных полей нужен обмен реактивной энергией, что и обеспечивает накопитель энергии.

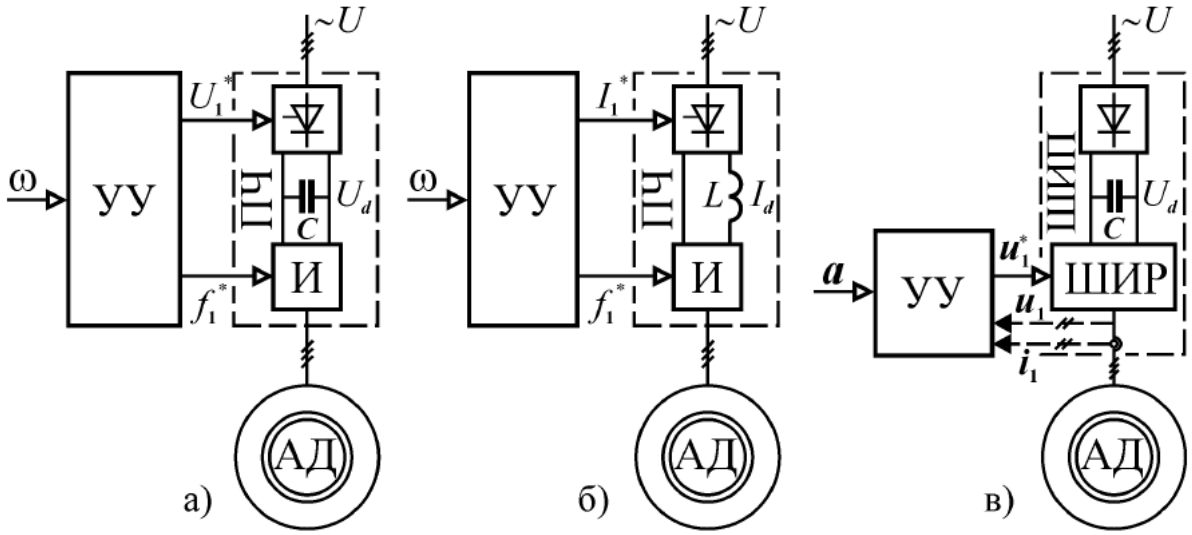


Рисунок 1. Функциональные схемы преобразователей

ПЧ со звеном постоянного тока, в которых функции управления значениями напряжения и частоты возложены на инвертор, называют широтно-импульсными преобразователями. И благодаря появлению транзисторов с изолированным затвором этот тип ПЧ нашел широкое применение в управляемых электроприводах.

Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)

АИМ применяется в ПЧ с регулируемым напряжением промежуточной цепи [Виноградов], [Богданов]. В управляемом выпрямителе напряжение получается непосредственно, если же выпрямитель неуправляемый, то напряжение формируется прерывателем промежуточной цепи. Таким прерывателем может служить транзистор, регулируемый системой управления. Фактическое напряжение, зависящее от времени открытия транзистора, формируется на конденсаторе, который вместе с катушкой индуктивности является фильтром, сглаживающим пульсации напряжения. Частота выходного напряжения регулируется инвертором.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

ШИМ является наиболее распространенным способом формирования трехфазного напряжения с соответствующей частотой [Виноградов], [Богданов], [Радимов].

При ШИМ полное напряжение промежуточной цепи включается и отключается силовыми электронными элементами. Отношение времени включенного и отключенного состояния является переменным, что позволяет регулировать выходное напряжение.

Существует три основных режима коммутации в инверторе посредством ШИМ: синусоидально-управляемая ШИМ, синхронная ШИМ и асинхронная ШИМ.

Три переключателя составляют восемь возможных коммутационных комбинаций (2^3), то есть восемь различных векторов напряжения на выходе инвертора. Как показано на рисунке 2а, эти векторы 100, 110, 010, 011, 001, 101 находятся в углах описанного шестиугольника, используя в качестве нулевых векторы 000 и 111.

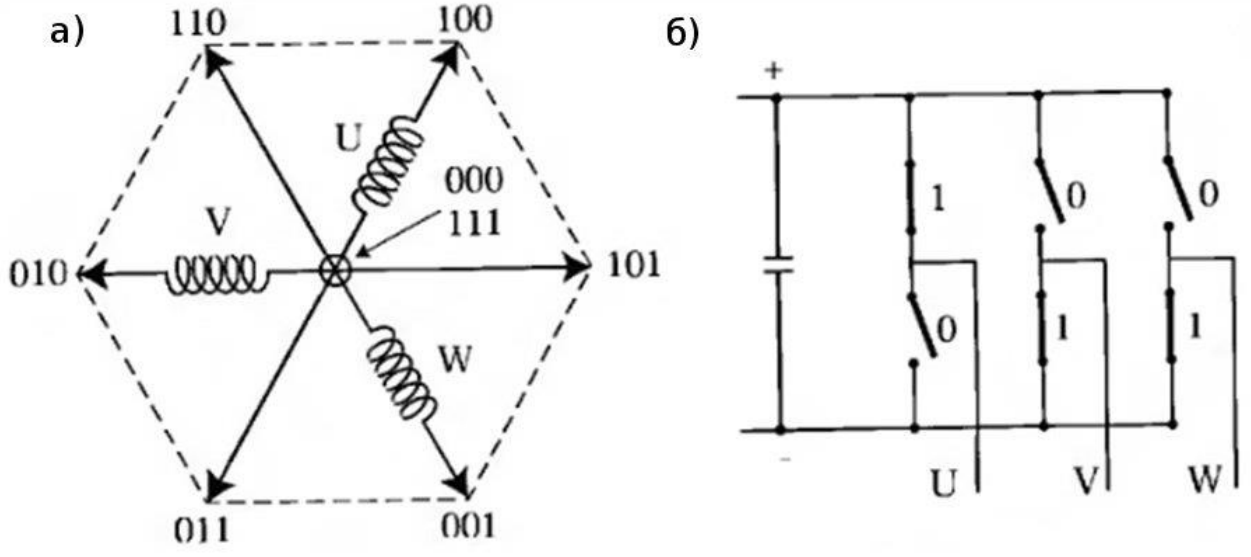


Рисунок 2. Вектора напряжений и возможная коммутационная комбинация

Синусоидально-управляемая ШИМ

При синусоидально-управляемой ШИМ для управления каждым выходом инвертора применяется синусоидальное опорное напряжение, на которое накладывается пилообразное напряжение. Частота опорного напряжения соответствует необходимой частоте на выходе инвертора [Радимов], [Соколовский].

Когда пилообразное напряжение пересекает опорное напряжение силовые полупроводниковые элементы либо включаются, либо выключаются.

Величину выходного напряжения можно изменять путем изменения отношения между временем открытого и закрытого состояния полупроводниковых ключей.

Недостатком такого управления является то, что выходное напряжение не может превышать 86,6% от номинального напряжения.

Эту проблему можно решить путем применения других опорных напряжений вместо синусоидального (например, трапецеидальной).

Синхронная ШИМ

При использовании синусоидально-управляемой ШИМ необходимо устанавливать время коммутации полупроводниковых ключей так, чтобы было минимум высших гармоник. Такой режим коммутации соблюдается только для ограниченного диапазона частот. За пределами этого диапазона необходим другой метод коммутации [Радимов], [Соколовский].

Если частота пилообразного напряжения будет значительной по отношению к частоте опорного сигнала, то эти сигналы могут действовать асинхронно и появятся паразитные гармоники, которые устраняются путем синхронизации этих двух сигналов. Такую синхронизацию можно увидеть при так называемом «переключении передачи», которое можно применять для приводов с низкими динамическими свойствами.

Асинхронная ШИМ

При «обычной» или «синхронной» ШИМ невозможно ступенчатое изменение амплитуды напряжения и угла, что необходимо для увеличения быстродействия системы в отношении регулирования скорости и крутящего момента [Радимов], [Соколовский].

Эти условия можно выполнить при использовании асинхронной ШИМ, где производится модуляция цикла векторного регулирования напряжения.

На данный момент есть два основных типа асинхронной ШИМ:

1. SFAVM (Stator Flow-oriented Asynchronous Vector Modulation = асинхронная векторная модуляция, ориентированная на магнитный поток статора)

2. 60° AVM (Asynchronous Vector Modulation = асинхронная векторная модуляция).

SFAVM

Такой способ пространственно-векторной модуляции позволяет в течении времени коммутации случайным образом, но скачкообразно менять угол и амплитуду напряжения [Радимов], [Соколовский].

Поскольку основным недостатком обычных ШИМ является отклонение угла и амплитуды вектора магнитного потока статора от оптимальных значений, то основной задачей SFAVM модуляции является оптимизация магнитного потока статора при помощи напряжения статора для уменьшения пульсаций крутящего момента. Так как отклонение угла вектора напряжения влияет на величину этих пульсаций, то необходимо определять последовательность коммутации электронных ключей исходя из расчета желательной траектории магнитного потока статора.

Стабильная работа обеспечивается таким регулированием вектора напряжения электродвигателя, чтобы он описывал окружность. Такое напряжение формируется из соседних векторов путем подачи на них коротких импульсов.

60° AVM

Такой режим модуляции похож на SFAVM. Отличие состоит в том, что в течении шестой части периода (60°) состояние одной фазы сохраняется [Радимов], [Соколовский].

На рис.3 приводится сравнение последовательности коммутации в режимах 60° AVM и SFAVM.

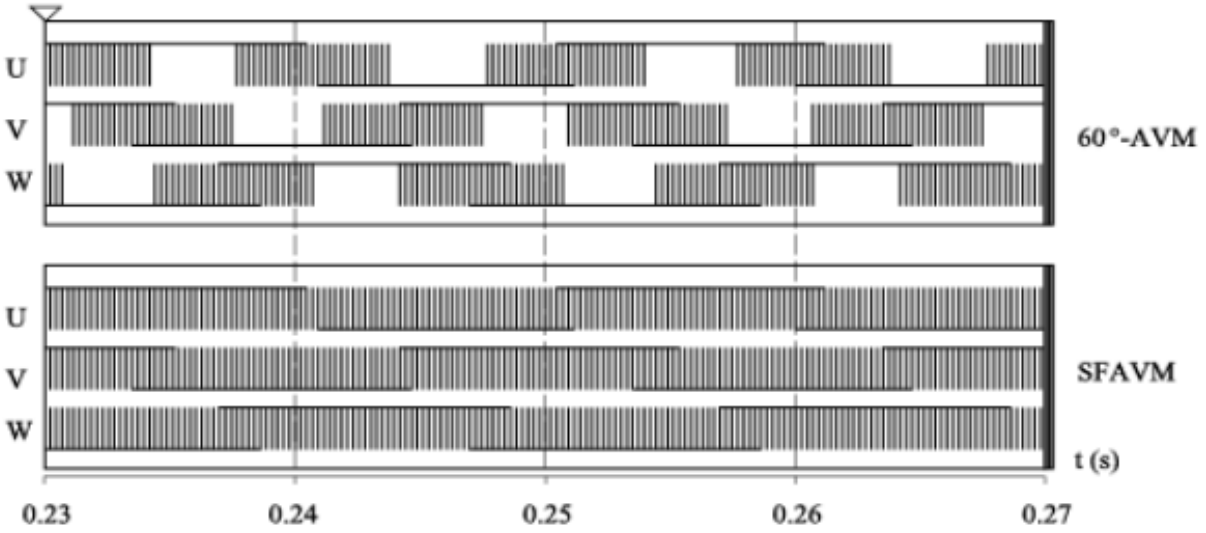


Рисунок 3. Последовательность коммутации в режимах 60° AVM и SFAVM для нескольких периодов

Заключение

В ходе изучения основных типов преобразователей и методов частотного управления было выяснено, что метод широтно-импульсного модулирования является наиболее распространенным, а наиболее перспективным — асинхронная ШИМ, причем, способ пространственно-векторной модуляции SFAVM является наилучшим для работы на низких частотах вращения, а 60° AVM — для работы на высоких частотах вращения.

Список литературы

1. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока: учеб. пособие / А. М. Макаров и др. Волгоград: изд-во ВолгГТУ, 2016. 192 с.

2. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными электродвигателями / М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 498 с.

3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебное пособие. СПб: изд-во СПбГУ ИТМО, 2006. 94 с.

4. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Частотное управление асинхронными двигателями. М.–Л.: изд-во «Энергия», 1966. 144 с.

5. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями. М. – Л.: изд-во «Энергия», 1966. 144 с.

6. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: изд-во ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина», 2008. 298 с.

7. Богданов Д.М. Применение преобразователей частоты для управления электроприводами Томск: Томский политехнический университет. URL: https://rae.ru/forum2011/pdf/article826.pdf (дата обращения 01.02.2018).

8. Радимов С.Н. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод : учеб. пособие. Одесса: Одесский национальный политехнический университет. Авторизованный учебный центр компании «Шнайдер электрик», 2007. 38 с.

9. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. М.: ACADEMA, 2006. 265 с.

Управление движениями роботов

Лалетин В. И.[a], Рычков В. В.[b], Сластихин Н. С.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода
и автоматизации промышленных установок[a]
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации
промышленных установок[b]
старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: laletin@vyatsu.ru[a], rychkov@vyatsu.ru[b], favt_slastihin@vyatsu.ru[c],

Аннотация: Для осуществления программных перемещений схвата манипулятора уравнения движения были построены в виде $\dot{q} = f(q) + B(q) \cdot W$. При наличии кинематической избыточности на движения звеньев манипулятора можно накладывать дополнительные ограничения или придавать особый характер движению звеньев. Пусть ограничения заданы в виде неравенств. Задача состоит в определении вектора W, исходя из требований, накладываемых на движения звеньев манипулятора в критических ситуациях. Искомый вектор W представим как сумму двух составляющих $W = W^{(1)} + W^{(2)}$. Вектор $W^{(1)}$ определяется с помощью определителя Грамма [Лалетин]. Вектор $W^{(2)}$ определяется исходя из ограничений. Рассмотрим имеющие широкое распространение на практике ограничения на координаты и требование несоприкасаемости звеньев. Здесь предложены два способа вычисления наименьшего расстояния между двумя звеньями и представлен алгоритм решения поставленной задачи.

Ключевые слова: программа движения, кинематическая избыточность, ограничения на координаты, требование несоприкасаемости, конструктивные ограничения, определитель Грамма.

Теория построения систем программного движения [Лалетин, Рычков], основанная на выводе уравнений движения системы по свойствам их решений, эффективна при решении многих задач управления. Для осуществления программных перемещений схвата манипулятора уравнения движения были построены в виде

$$\dot{q} = f(q) + B(q) \cdot W, \qquad (1)$$

где q – n-мерный вектор обобщённых координат манипулятора;

$f(q)$ – n-мерный вектор, задающий программное движение схвата;

W – произвольный n-мерный вектор.

При наличии кинематической избыточности на движения звеньев манипулятора можно накладывать дополнительные ограничения или придавать осо-

бый характер движению звеньев. Приходится учитывать конструктивные ограничения, возможности приводов, наличие препятствий во внешней среде и т.д.

Пусть ограничения заданы в виде неравенств

$$\Psi_\mu(q) \geq \delta_\mu \ (\mu = 1, \cdots, m), \tag{2}$$

где $\Psi_\mu(q)$ – некоторая функция обобщённых координат;

δ_μ – число, характеризующее область допустимых значений $\Psi_\mu(q)$.

Покажем, каким образом можно использовать произвол выбора W, чтобы не нарушались неравенства (2).

При наступлении равенств

$\Psi_\mu(q) = \delta_\mu \ (\mu = 1, \cdots, m_1; \ m_1 \leq m)$

должно иметь место

$$\dot{\Psi}_\mu(q) = \varepsilon_\mu \ (\mu = 1, \cdots, m_1),$$

где ε_μ – положительное число или нуль.

Иначе можно записать

$$\underset{q}{grad}\Psi_\mu(q) \cdot \dot{q} = \varepsilon_\mu \ (\mu = 1, \cdots, m_1). \tag{3}$$

Условия должны выполняться в силу уравнений движения манипулятора. Поэтому, подставляя (1) в (3), получим систему

$$\underset{q}{grad}\Psi_\mu(q) \cdot f(q) + \underset{q}{grad}\Psi_\mu(q) \cdot B(q) \cdot W = \varepsilon_\mu.$$

Преобразуем полученные выражения, оставив в левой части слагаемое с неизвестным вектором W

$$\underset{q}{grad}\Psi_\mu(q) \cdot B(q) \cdot W = \varepsilon_\mu - \underset{q}{grad}\Psi_\mu(q) \cdot f(q) \ (\mu = 1, \cdots, m_1). \tag{4}$$

Искомый вектор W представим как сумму двух составляющих

$$W = W^{(1)} + W^{(2)}.$$

Выбираем $W^{(1)}$ в виде

$$W^{(1)} = \sum_{i=1}^{m_1} \lambda_i \cdot B^T(q) \cdot \underset{q}{grad}\Psi_i(q)$$

где T – знак транспонирования;

λ_i – скалярные функции, определяемые из системы (4) в виде

$$\lambda_i = \sum_{\mu=1}^{m_1} \frac{\Gamma_{i\mu}}{\Gamma} \cdot \left[\varepsilon_\mu - \frac{grad\Psi_\mu(q)}{q} \cdot f(q) \right] \ (i = 1, \cdots, m_1).$$

Здесь Γ – определитель Грамма, составленный из векторов $B^T(q) \cdot \frac{grad\Psi_\mu(q)}{q}$,

в предположении, что эти векторы линейно независимы;

$\Gamma_{i\mu}$ – алгебраическое дополнение *i*-го элемента -го столбца определителя Грамма.

Произвольный вектор $W^{(2)}$ должен удовлетворять условию $B^T(q) \cdot \frac{grad\Psi_i(q)}{q} \cdot W^{(2)} \geq 0 \ (\mu = 1, \cdots, m_1)$ лишь при наступлении равенств (2). Наличие вектора $W^{(2)}$ позволяет параллельно накладывать другие условия на движение звеньев манипулятора.

Окончательное выражение для вектора W

$$W = \sum_{\substack{\mu=1 \\ i=1}}^{m_1} \frac{\Gamma_{i\mu}}{\Gamma} \cdot \left[\varepsilon_\mu - \frac{grad\Psi_\mu(q)}{q} \cdot f(q) \right] \cdot B^T(q) \cdot \frac{grad\Psi_i(q)}{q} + W^{(2)}. \quad (5)$$

Таким образом, задача состоит в определении вектора $W^{(2)}$, исходя из требований, накладываемых на движения звеньев манипулятора в критических ситуациях, то есть при наступлении равенств (2). В остальных случаях вектор $W^{(2)}$ можно брать равным нулю.

Рассмотрим, в частности, имеющие широкое распространение на практике ограничения на координаты (ограничения I рода). Не уменьшая общности рассуждений, допустим, что предельных значений достигли n_1 первых обобщённых координат

$$q_\mu = \delta_{\text{пр}\,\mu} \ (\mu = 1, \cdots, n_1),$$

где $\delta_{\text{пр}\,\mu}$ – предельное значение координаты q_μ.

Для дальнейшего движения звеньев манипулятора необходимо

$$\dot{q}_\mu = \begin{cases} \varepsilon_\mu \geq 0, \text{если } q_\mu = q'_{\text{пр}\mu}, q'_{\text{пр}\mu} < 0, \\ \varepsilon_\mu \leq 0, \text{если } q_\mu = q''_{\text{пр}\mu}, q''_{\text{пр}\mu} > 0. \end{cases}$$

Система (4) запишется следующим образом

$$\begin{cases} (1\,0\,0\cdots 0\cdots 0)\cdot B(q)\cdot \begin{pmatrix} W_1^{(1)} \\ \vdots \\ W_n^{(1)} \end{pmatrix} = \varepsilon_1 - (1\,0\,0\cdots 0\cdots 0)\cdot f(q), \\ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots \qquad\qquad \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots \\ (0\,0\,0\cdots 1\cdots 0)\cdot B(q)\cdot \begin{pmatrix} W_1^{(1)} \\ \vdots \\ W_n^{(1)} \end{pmatrix} = \varepsilon_{n1} - (0\,0\,0\cdots 1\cdots 0)\cdot f(q). \end{cases}$$

Из этой системы определяется вектор $W^{(1)}$ по формуле (5).

В качестве другого частного случая ограничений можно взять требование несоприкасаемости звеньев манипулятора. При программных движениях манипулятора с достаточно большим числом степеней свободы, его звенья, непосредственно не связанные между собой шарнирами, могут касаться друг друга. Требование несоприкасаемости можно представить как условие неравенства нулю расстояния между ближайшими точками звеньев *i* и *j*, не входящих в кинематические пары

$$d^2_{\min ij}(q) \geq \delta_{ij}\ (i,j = 1,\cdots,l), \qquad (6)$$

где δ_{ij} – некоторые положительные числа, характеризующие наименьшие допустимые расстояния между звеньями *i* и *j*;

i и *j* – индексы, которые пробегают номера всех звеньев от 1 до *l*, не входящих в кинематические пары.

Если обозначить $d^2_{\min ij}(q)$ через $\Psi_\mu(q)$, то неравенства (6) можно включить в систему неравенств (2). Тогда при вычислении вектора W по формуле (5) одновременно учитываются ограничения I и II рода [Выгодский].

Возможны два способа вычисления $d_{\min ij}(q)$. Первый из них рекомендуется использовать при $n > 6$ и наличии мошной вычислительной машины, обладающей достаточной памятью и быстродействием. Этот способ заключается в следующем.

Рассмотрим два вектора $\overline{O_iA_i}$ и $\overline{O_jA_j}$ (Рис. 1), изображающих два звена манипулятора, не входящие в кинематические пары. Обозначим

O_0 – начало неподвижной системы координат, связанной с основанием манипулятора;

O_i, O_j – точки приложения векторов;

l_i, l_j – модули векторов (длины звеньев);

$\overline{r_i, r_j}$ – радиусы-векторы точек O_i и O_j.

Рисунок 1. Расстояние между звеньями

Для этих векторов (звеньев) можно вычислить направляющие косинусы единичных векторов $\overline{e_i}$ и $\overline{e_j}$, координаты точек $O_i(X_i, Y_i, Z_i)$ и $O_j(X_j, Y_j, Z_j)$ как функции-векторы обобщённых координат q. Требуется найти кратчайшее расстояние между векторами $\overline{O_i A_i}$ и $\overline{O_j A_j}$. В каждый момент времени стоит следующая задача математического программирования: найти минимум функции двух переменных Δ_i и Δ_j

$$d^2_{\min ij} = \min \{[(\overline{r}_i + \Delta_i \cdot \overline{e_i}) - (\overline{r}_j + \Delta_j \cdot \overline{e_j})]^2\}$$

при ограничениях $0 \leq \Delta_i \leq l_i$ и $0 \leq \Delta_j \leq l_j$, где Δ_i и Δ_j – отрезки на векторах $\overline{O_i A_i}$ и $\overline{O_j A_j}$, равные расстояниям от точек приложениях векторов O_i и O_j до ближайших точек на векторах.

Для решения поставленной задачи существуют стандартные алгоритмы. Одновременно вычисляется $\frac{grad\Psi_\mu(q)}{q}$. Для тех m_1 $d_{\min ij}(q)$ для которых наступили равенства (6), составляется система (4). По формуле (5) вычисляется вектор W.

Другой способ рекомендуется применять при $n \leq 6$ и состоит этот способ в нахождении аналитических выражений для $d_{\min ij}(q)$. В этом случае выражения не будут громоздкими и не потребуется мощной вычислительной машины. При этом $\frac{grad\Psi_\mu(q)}{q}$ и W выражаются также аналитически.

Снова рассмотрим два вектора $\overline{O_iA_i}$ и $\overline{O_jA_j}$ и поставим задачу: определить кратчайшее расстояние между этими векторами. Пусть найдены $\bar{e}_i(q) = \{\cos\alpha_i, \cos\beta_i, \cos\gamma_i\}$, $\bar{e}_j(q) = \{\cos\alpha_j, \cos\beta_j, \cos\gamma_j\}$. Проведём общий перпендикуляр BC к векторам (Рис. 1). Единичный вектор для него определяется по формуле [Выгодский]

$$\bar{e} = \frac{[\bar{e}_j \times \bar{e}_i]}{\sin(\bar{e}_i \widehat{\ } \bar{e}_j]}, \bar{e}(q) = \{\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma\},$$

где $[\bar{e}_j \times \bar{e}_i]$ – векторное произведение.

Составим векторное равенство

$$\Delta_i \cdot \bar{e}_i - \Delta_j \cdot \bar{e}_j - d \cdot \bar{e} = \overline{O_iO_j},$$

где Δ_i и Δ_j – отрезки на векторах $\overline{O_iA_i}$ и $\overline{O_jA_j}$, равные расстояниям от точек приложения O_i и O_j до пересечения с общим перпендикуляром BC;

d – длина общего перпендикуляра B;

$$\overline{O_iO_j} = \{X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}\} = \{X_j - X_i, Y_j - Y_i, Z_j - Z_i\}.$$

Запишем систему скалярных равенств

$$\begin{cases} \Delta_i \cdot \cos\alpha_i - \Delta_j \cdot \cos\alpha_j - d \cdot \cos\alpha = X_{ij}, \\ \Delta_i \cdot \cos\beta_i - \Delta_j \cdot \cos\beta_j - d \cdot \cos\beta = Y_{ij}, \\ \Delta_i \cdot \cos\gamma_i - \Delta_j \cdot \cos\beta_j - d \cdot \cos\alpha = Z_{ij}. \end{cases} \quad (7)$$

Решая систему, находим Δ_i, Δ_j, d. В зависимости от того, в каких пределах находятся значения Δ_i и Δ_j, возможны девять вариантов $d_{\min ij}(q)$. Прежде, чем перечислить их, укажем две известные формулы векторной алгебры [Выгодский].

Расстояние между точкой и прямой выражаются формулой

$$d_1 = \frac{\sqrt{[(\vec{r}_0 - \vec{r}) \times \vec{a}]^2}}{|\vec{a}|}, \quad (8)$$

где $\bar{a}$ – направляющий вектор прямой;

$\bar{r}$ – радиус-вектор точки приложения направляющего вектора;

$\bar{r}_0$ – радиус-вектор точки;

$[(\bar{r}_0 - \bar{r}) \times \bar{a}]$ – векторное произведение.

Расстояние между двумя точками определяется по формуле

$$d_2 = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}. \quad (9)$$

Здесь $\bar{r}_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$ и $\bar{r}_2 = (X_2, Y_2, Z_2)$ – радиусы-векторы точек.

Вернёмся к определению $d_{\min ij}(q)$.

1. Если $0 \le \Delta_i \le l_i, 0 \le \Delta_j \le l_j, d_{\min ij}(q) = d.$

Здесь d – значение, вычисляемое при решении системы (7).

2. Если $0 \le \Delta_i \le l_i, l_j \le \Delta_j, d_{\min ij}(q) = d_1^I.$

При этом в (8) $\bar{a} = \bar{e}, \bar{r} = \bar{r}_i, \bar{r}_0 = \bar{r}_j + l_j \cdot \bar{e}_j$ (прямая O_iO_j и точка A_j).

3. Если $0 \le \Delta_i \le l_i, \Delta_j < 0, d_{\min ij}(q) = d_1^{II}.$

$\bar{a} = \bar{e}, \bar{r} = \bar{r}_i, \bar{r}_0 = \bar{r}_j$ (прямая O_iA_i и точка O_j).

4. Если $\Delta_i < 0, 0 \le \Delta_j \le l_j, d_{\min ij}(q) = d_1^{III}.$

$\bar{a} = \bar{e}_j, \bar{r} = \bar{r}_j, \bar{r}_0 = \bar{r}_i$ (прямая O_jA_j и точка O_i).

5. Если $\Delta_i < 0, \Delta_j < 0, d_{\min ij}(q) = d_2^I.$

В формуле (9) $\bar{r}_1 = \bar{r}_i, \bar{r}_2 = \bar{r}_j$ (точки O_i и O_j).

6. Если $\Delta_i < 0, \Delta_j > l_j, d_{\min ij}(q) = d_2^{II}.$

$\bar{r}_1 = \bar{r}_i, \bar{r}_2 = \bar{r}_j + l_j \cdot \bar{e}_j$ (точки O_i и A_j).

7. Если $\Delta_i > l_i, \Delta_j < 0, d_{\min ij}(q) = d_2^{III}.$

$\bar{r}_1 = \bar{r}_i + l_i \cdot \bar{e}_i, \bar{r}_2 = \bar{r}_j$ (точки A_i и O_j).

8. Если $\Delta_i > l_i, 0 \le \Delta_j \le l_j, d_{\min ij}(q) = d_1^{IV}.$

В формуле (8) $\bar{a} = \bar{e}_j, \bar{r} = \bar{r}_j, \bar{r}_0 = \bar{r}_i + l_i \cdot \bar{e}_i$ (прямая O_jA_j и точка A_i).

9. Если $\Delta_i > l_i, \Delta_j > l_j, d_{\min ij}(q) = d_2^{IV}.$

В формуле (9) $\bar{r}_1 = \bar{r}_i + l_i \cdot \bar{e}_i, \bar{r}_2 = \bar{r}_j + l_j \cdot \bar{e}_j$ (точки A_i и A_j).

Рассмотренные выше девять вариантов $d_{\min ij}(q)$ охватывают все возможные случаи кратчайших расстояний между двумя векторами. Алгоритм решения поставленной задачи следующий. Составляются и решаются k систем (7). По одной из формул (8) и (9) находится $d_{\min ij}(q)$. Для m_1 $d_{\min ij}(q)$ составляется система (4). По формуле (5) находится вектор W. При $m_1 = 0$ принимаем W=0. Таким образом, поставленная задача решена полностью.

Список литературы

1. Лалетин В. И., Рычков В. В., Сбоев В. М. Программное управление движениями манипуляционной системы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18776 (дата обращения 01.02.2018).

2. Рычков В. В. Программные движения манипуляционных систем // Вестник Вятского научного центра. Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук Российской Федерации. Серия: Проблемы обработки информации. Выпуск 1(5)/2004. Киров : Вятский научный центр, 2004. С. 102–106.

3. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. М. : АСТ: Астрель, 2008. 990 с.

Структура и свойства сплавов высокого демпфирования системы марганец-медь

Лисовская О. Б., Теребихина И.Н.
кандидат технических наук, заведующая кафедрой материаловедения и основ конструирования, ФГБОУ ВО Вятский ГУ, г. Киров, Россия;
аспирант кафедры материаловедения и основ конструирования, ФГБОУ ВО Вятский ГУ, г. Киров, Россия
E-mail: Ira112012@yandex.ru

Аннотация: В современных условиях высоких скоростей работы оборудования и циклических нагружений актуальным является применение материалов, способных эффективно гасить вибрации. Эти материалы дают возможность снижения шумов и вибраций без применения дополнительных виброгасящих устройств. Это, в частности, определяет экономическую эффективность применения таких материалов. Известно, что технологические и эксплуатационные свойства сплавов зависят от химического состава и структуры. На структуру сплава непосредственное влияние оказывает способ его получения. В данной статье рассматриваются особенности структуры, свойства, амплитудная зависимость внутреннего трения марганцевомедных сплавов как перспективных и доступных для применения в промышленности. В процессе исследования применялись метод ренгенофлуоресцентной спектроскопии, для измерении внутреннего трения - метод затухающих крутильных колебаний.

Ключевые слова: сплавы системы медь-марганец, структура и свойства марганцевомедных сплавов, амплитудная зависимость внутреннего трения.

Ведение. Сплавы системы марганец-медь занимают особое место среди других сплавов из-за уникального сочетания свойств. Марганцевомедные сплавы обладают весьма ценным, не встречающимся среди сплавов других систем, комплексом физико-механических свойств, определяющих их значительную техническую важность для ряда отраслей промышленности. Они характеризуются высокой демпфирующей способностью при малых и при значительных амплитудах деформаций (ψ =7 -10% при $\gamma=1\cdot$ (10^{-6} — 10^{-7}); ψ =30 - 40% при $\gamma=1\cdot10^{-3}$), а также достаточной прочностью ($\sigma_в$=350 -500 МПа) при хорошей пластичности (δ=20 -30%), большим электрическим сопротивлением, малым, а для некоторых сплавов даже отрицательным температурным коэффициентом электросопротивления, низкой теплопроводностью и немагнитностью [Фавстов, с. 37].

По этой причине марганцево-медные сплавы являются перспективными при изготовлении деталей машин и конструкций, работающих в условиях циклического нагружения.

Высокая демпфирующая способность как основная характеристика марганцевомедных сплавов, являясь структурно чувствительной характеристикой, зависит как от химического состава сплава, так и от всей технологии его производства, включая способ получения образца, его предварительную и окончательную термическую обработку. Однако влияние состава при содержании марганца 60-80% значительно меньше, чем влияние предыстории получения или обработки сплавов.

Относительно широкий температурный интервал кристаллизации высокомарганцевых сплавов и малая разница в скорости встречных диффузионных потоков атомов марганца и меди приводят к значительной дендритной ликвации. Для слитков марганца характерна ярко выраженная дендритная структура, которая является более грубой в отливках, полученных литьем в землю и по выплавляемым моделям, и более измельченной в кокильных отливках. Оси и ветви дендритов, обогащенные марганцем, видны как более темные области. Сравнительно бедные по марганцу области представляют собой светлый фон. Содержание марганца в центральных осях дендритов, по данным рентгеновского микроспектрального анализа литого сплава Г75Д25, находится в пределах 85—90%, а в междендритных областях 55 — 60% . Степень дендритной неоднородности можно значительно уменьшить гомогенизационным отжигом. Однако полного устранения дендритной химической неоднородности не удается получить даже после многосуточного отжига при 920 ^{o}C. Гомогенизирующий отжиг приводит к заметному увеличению пластичности при некотором снижении прочности сплава. Это имеет весьма важное значение при обработке слитков давлением. Практически полное устранение химической неоднородности, обусловленной дендритной структурой, возможно только при отжиге предварительно деформированных марганцевомедных сплавов [Рахштадт, с. 21].

Количественные характеристики демпфирующей способности материалов — как размерные, так и безразмерные параметры (абсолютное затухание, относительное затухание, тангенс угла отставания по фазе деформации от приложенного напряжения, логарифмический декремент колебаний, добротность, коэффициент потерь) могут быть определены различными методами. Наибольшее распространение получили: метод свободных затухающих колебаний, метод нарастающих колебаний, резонансный метод, метод петли гистерезиса, импульсный метод, метод установившихся колебаний [Блантер, с. 7].

Режим окончательной обработки, обеспечивающей максимальную демпфирующую способность, в большой степени зависит от способа получения и обработки сплавов. Повышенная неоднородность структуры вследствие недостаточно полной гомогенизации в сплавах, обработанных давлением, а также химическая неоднородность, характерная для литых сплавов, ускоряют процессы превращений при отпуске на максимум демпфирования.

Для литых сплавов, по сравнению со сплавами, обработанными давлением, характерен и более высокий максимальный уровень демпфирования. Так, обработанный давлением сплав Г75Д25 после термической обработки имеет максимальный уровень демпфирования ψ =30% при амплитуде деформации $\gamma = 0{,}75 \cdot 10^{-3}$ и ψ =15% при величине $\gamma = 0{,}05 \cdot 10^{-3}$. Для литого сплава этого же состава уровень демпфирования составляет соответственно 50% и 30%. Максимальные демпфирующие свойства образцов из марганцевомедных сплавов, изготовленных из горячедеформированного проката, соответствуют содержанию в сплавах 60 — 70% Mn. При амплитуде деформации $\gamma = 0{,}75 \times 10^{-3}$ эти сплавы характеризуются относительным рассеянием энергии ψ = 40 % [Фавстов, с. 73].

Интенсивность структурных изменений в марганцевомедных сплавах при отпуске зависит от состава сплавов, режима отпуска, а также и от способа получения и обработки сплавов. На интенсивность процессов распада большее влияние оказывает степень химической неоднородности сплавов, которую

можно регулировать изменением режима гомогенизирующего отжига, а также измельчением структуры предварительной деформацией [Удовенко, с. 24].

Целью исследования является установление зависимости между структурным состоянием сплавов и его физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Это даст возможность для создания новых сплавов с заданными свойствами и применение их в качестве конструкционного материала.

Материал и методика исследований. Объектом исследования являлись образцы марганцевомедного сплава. Химический состав образцов определялся с помощью ренгеновского флуоресцентного энергодисперсионного спектрометра EDX-900HS. Химический состав образцов приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав образцов

Сплав	Химический состав						
	Cu	Mn	Fe	Si	S	P	C
Г75Д25	25,712	73,85	0,024	0,017	0,037	0,0047	0,017
Г75Д25Ж	27,635	70,103	1,201	0,456	0,049	0,0036	0,019

Изучение микроструктуры производили на микроскопе NEOPHOT-21. Образцы вырезали из заготовки диаметром 20 мм высотой 12 мм. Далее изготавливались шлифы образцов с использованием механической шлифовки, а затем – полировки. Полировка стала конечной ступенью в процессе изготовления гладкой зеркальной поверхности. Получение такой поверхности является необходимым условием для проведения металлографического анализа.

Заключительной стадией изготовления шлифов являлось химическое травление. Оно производилось методом протирания образца реактивом до тех пор, пока не выявится структура. После окончания травления образец промывали под струёй воды, затем в спирте и сушили с помощью фильтровальной бумаги [Панченко, с.152].

В процессе изучения литературы было выявлено отсутствие конкретных рекомендаций для травления медно-марганцевых сплавов с высоким содержанием марганца. Поэтому были приготовлены и опробованы несколько реакти-

вов для травления, каждый из которых давал различные изображения структуры. Составы использованных реактивов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Реактивы для травления

№	Рекомендации по применению	Состав реактива
№1	Медь	HNO_3 – 10 мл H_3PO_4 – 50мл H_2O – 10 мл CH_3COOH – 30 мл
№2	Бронзы	$FeCl_3$ – 5 г HCl – 50 мл H_2O – 100 мл
№3	Медные сплавы	$FeCl_3$ – 5 г HCl – 30 мл H_2O – 100 мл
№4	Медные сплавы	75 мл хромового ангидрида, 10 мл соляной кислоты и азотной кислоты, 5 мл серной кислоты

Для изучения внутреннего трения образцов в качестве основного метода использован метод затухающих крутильных колебаний, который является наиболее распространенным

Определение амплитудной зависимости внутреннего трения выполнены в проблемной лаборатории ВятГУ на образцах с размерами рабочей части: диаметр 5 мм, длина 30 мм. Установка позволяет измерять логарифмический декремент по следующим формулам:

$$\delta = [ln(A_k/A_{k+1})\ ]/n,$$

где A – амплитуда колебаний, что использовано для материалов с высокой демпфирующей способностью; n – число циклов колебаний соответствующее уменьшению колебаний в 2 раза [Скворцов, с.8].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В процессе исследования были выявлены структуры, приведенные на рисунках1-2.

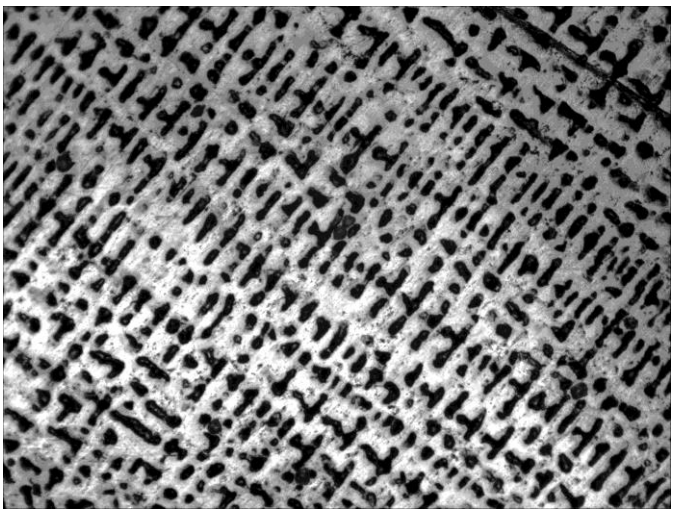


Рисунок 1. Микроструктура сплава Г75Д25 (реактив №1). Х500

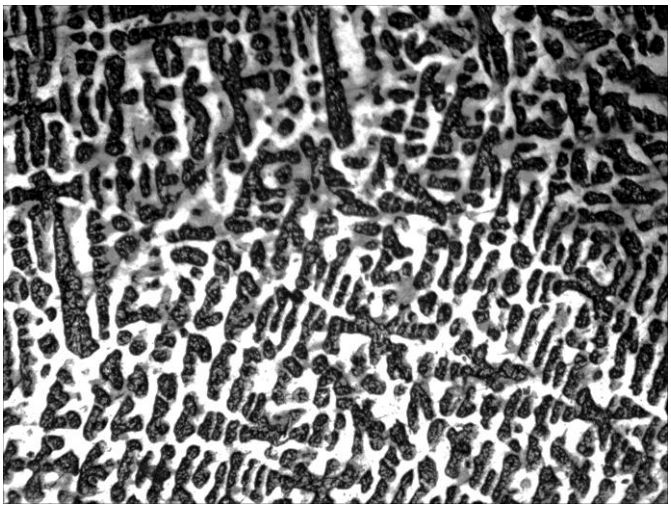


Рисунок 2. Микроструктура сплава Г75Д25Ж (реактив№3). Х500

В закаленном состоянии сплав Г75Д25 является однофазным и представляет собой γ-твердый раствор с гранецентрированной кубической решеткой. Хорошо видна характерная для данных сплавов дендритная структура с обогащенными марганцем (85—90%) темными областями и обедненными марганцем (55 — 60%) светлыми участками. Марганцевомедные сплавы, легированные железом при содержании его до 2,5% Fe, не обнаруживают новых структурных превращений. Полученные данные полностью согласуются с литературными источниками.

В таблице 3 приведена демпфирующая способность марганцевомедных сплавов без термообработки.

Таблица 3

Демпфирующая способность марганцевомедных сплавов при амплитудных колебаниях δ =10^{-4}

Марка образца	δ, 10^{-4}
Г75Д25	2,7
Г75Д25Ж	2,9

Из таблицы видно, что материал образцов относится к высокодемпфирующим. При этом демпфирующая способность образца Г75Д25Ж несколько выше.

Список литературы

1. Фавстов, Ю. К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов / Ю. Н. Шульга, А. Г. Рахштадт М.: Металлургия, -1980. -272 с.
2. Рахштадт А. Г., Фавстов Ю. К.,Кочеткова Л. П. Структурные превращения в марганцевомедных сплавах с высокой демпфирующей способностью// МиТОМ, 1973. N 2. - С. 19-23.
3. Блантер М. С. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях. М. : Металлургия, 1991. 248 с.
4. Панченко Е. В. Лаборатория металлографии М.: Металлургия 1965.- 251 с.
5. Скворцов А. И. Внутреннее трение в металлических материалах и его характеристики: монография. – Киров: ФГБГОУ ВПО «ВятГУ», 2014.-68с.
6. Удовенко В. А., Маркова Г. В., Ростовцев Р. Н. Сплавы системы MnCu. Структура, свойства. – Тула: Гриф и К, 2005. – 152 с.

Обзор экономического ущерба от некачественной электроэнергии

Лищенко Д.Н.[a] , Шалев А.С.[b]
магистрант, кафедра электроэнергетических систем[a]
магистрант, кафедра электроэнергетических систем[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: lishchenkodaria@gmail.com [a], shalev-artjom@rambler.ru[b]

Аннотация: В работе произведен обзор вопроса экономического ущерба, вызываемого несоответствием параметров качества электрической энергии нормативным. В связи с тем, что большая часть потребителей чувствительна к проблемам качества, именно данные показатели становятся серьезным фактором, определяющим конкурентоспособность во многих сферах деятельности. Определена классификация экономического ущерба от некачественной электроэнергии. Выявлены издержки, связанные с несоответствующими показателями качества. Установлено, что вне зависимости от формы полученного ущерба, несоответствие параметрам качества влечет за собой коммерческие потери. Сделаны выводы, что улучшение параметров качества электроэнергии имеет безусловную экономическую целесообразность и служит одним из основных условий выживаемости в конкурентной среде для отдельного потребителя, а оптимизация параметров качества способствует минимизации экономического ущерба в сетевых организациях.

Ключевые слова: качество электроэнергии, экономический ущерб, коммерческие потери, электромагнитные помехи.

Введение

В условиях рыночной экономики эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является определяющим фактором, влияющим на конкурентоспособность промышленных предприятий.

В настоящее время показатели качества электрической энергии нормируются ГОСТ 32144-2013 [ГОСТ, с.1]. Требования ГОСТ предлагают потребителям обеспечить условия, при которых отклонения напряжения питания на выводах электроприемников не превышают установленные для них допустимые значения к качеству электроэнергии в точке передачи, таким образом возлагая ответственность за обеспечение требуемого качества не только на энергоснабжающие организации, но и на потребителей.

Постановка цели и задачи исследования

Целью работы рассматривается обзор экономического эффекта от несоответствия параметров качества электрической энергии. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Определить классификацию экономического ущерба от некачественной электроэнергии и его составляющие.

2. Определить влияние ЭМП на экономический ущерб;

3. Сделать вывод об экономической целесообразности улучшения параметров качества электроэнергии.

Методы исследования

Для решения поставленных задач использовались методы теоретического исследования: изучение и обобщение материала по теме исследования, анализ полученного материала.

Результаты исследований, их обсуждение

Несоответствие качества электрической энергии нормативам оказывает существенное влияние на надежность и экономичность работы электрооборудования. Ухудшение качества может привести к ущербу, который понесут как потребители, так и поставщики электрической энергии. Данный ущерб условно принято делить на: электромагнитный и технологический (ущерб, влияющего на электрические сети и на технологический процесс) [Карташев, с.95]; прямой и косвенный (ущерб, обусловленного непосредственно рассматриваемым воздействием и вызванный вторичными эффектами); потребительский и системный (ущерб, возникающего во внутренней сети потребителя и в сетях энергосистемы). При классификации ущерба следует также учитывать временной характер несоответствия показателей: непрерывный и единовременный.

На основании анализа исследований по данной тематике [Самойленко, с.110] [Непомнящий, с.7] можно выделить следующие издержки при снижении качества электроэнергии:

1) повреждение основного оборудования и инструмента;

2) сбой технологического процесса;

3) брак, порча сырья и готовой продукции, снижение качества готовой продукции;

4) недовыработка либо несвоевременная выработка продукции;

5) затраты на внеплановые ремонты или замену поврежденного оборудования;

6) дополнительные эксплуатационные расходы, вызванные изменением режима работы предприятия в связи с переносом производства продукции на другие периоды времени;

7) простой или недоиспользование рабочей силы;

8) стоимость дополнительного расхода топлива на электростанциях из-за неоптимального режима работы;

9) стоимость дополнительных потерь электроэнергии в электрических сетях в периоды восстановления поврежденного оборудования;

10) ущерб третьим лицам;

11) упущенная выгода, утрата нематериальных активов;

12) специфический ущерб.

Специфический ущерб обусловлен негативным воздействием электромагнитных помех малой интенсивности, не приводящих к нарушению нормальной работы оборудования. Значительные уровни электромагнитных помех и/или их длительное воздействие могут привести к более серьезным последствиям и соответственно к любому из вышеперечисленных пунктов экономического ущерба [Воронин, с.80]. К специфическому ущербу относится:

1) увеличение затрат на техническое обслуживание, преждевременный выход из строя электрооборудования;

2) увеличение потребления активной и/или реактивной мощности вследствие отклонения режимных параметров работы оборудования и увеличения потерь мощности;

3) снижение эффективности функционирования конденсаторных батарей;

4) снижение качества освещения;

5) увеличение погрешности измерительных приборов и приборов учета.

В случае остановки производства, при расчете экономического ущерба необходимо учитывать сокращение затрат: неиспользованное сырье; снижение потребления топливно-энергетических ресурсов.

Наличие электромагнитных помех в системах электроснабжения потребителей может быть обусловлено как поставкой некачественной электроэнергии сетевой организацией, так и деятельностью самого потребителя. В первом случае помехи обусловлены несимметрией и/или нелинейностью параметров сетевого электрооборудования, атмосферными явлениями и искажениями, вносимыми в сеть со стороны смежных сетевых организаций. Источниками ЭМП во внутренней сети потребителя являются электроприемники, для которых характерно наличие нелинейных элементов, резко-переменный режим работы со значительными набросами нагрузки. Значительный уровень электромагнитных помех, в первую очередь, опасен для наименее помехоустойчивого оборудования - средств автоматизированных систем управления технологическими процессами. Влияние ЭМП на системы управления может проявляться в виде функционального преобразования возмущений в изменение параметров регулирования или скачкообразного изменения параметров технологического процесса, приводящего к сбоям и остановам управляемых агрегатов.

Экономический ущерб от низкого качества электроэнергии для российской экономики составляет по минимальной оценке 25 млрд. долларов в год (согласно [Добрусин, с.30]), для 25-ти стран Евросоюза - 150 млрд. евро в год, а для США - 119-188 млрд. долларов в год (согласно [Targosz, с.8]). Наибольшая доля экономического ущерба приходится на промышленный сектор. Это обусловлено высокой энергоемкостью промышленных предприятий, а также использованием мощного искажающего электрооборудования (дуговые сталеплавильные печи, мощные преобразовательные установки и т. п.) по сравнению с предприятиями сферы обслуживания. Подобные величины ущерба свидетельствуют о том, что нерешенные проблемы с качеством электроэнергии промышленных предприятий характерны не только для России, но и для других стран мира. Следует учитывать, что относительная доля подобного ущерба для

нашей страны более значительная, ввиду существенной разницы в абсолютных значениях бюджетов. В связи с этим, необходима разработка мер, направленных на улучшение и оптимизацию качества электроэнергии потребителей для минимизации ущерба экономике страны, что является реализацией современной энергетической политики России. Вышесказанное позволяет сделать вывод о безусловной экономической целесообразности улучшения качества электроэнергии.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При классификации экономического ущерба от некачественной электроэнергии выделают следующие типы: электромагнитный и технологический; прямой и косвенный; потребительский и системный непрерывный и единовременный. Приведен перечень составляющих экономического ущерба;

2. Влияние ЭМП может носить слабовыраженный характер и проявляться в виде непрерывного специфического ущерба, а также в виде резких изменений характеристик напряжения, сбоев в работе оборудования, что влечет за собой значительный экономический ущерб, определяемый практически всеми составляющими, указанными в вышеприведенном перечне;

3. Улучшение параметров качества электроэнергии экономически целесообразно и является одним из важнейших аспектов повышения конкурентоспособности промышленных потребителей, а также увеличения эффективности работы сетевых организаций. Наиболее необходимым проведение мероприятий по улучшению качества электроэнергии является для промышленных предприятий, особенно с непрерывным технологическим циклом, и объектов связи, обработки данных в связи с тем, что данные потребители получают наибольший отрицательный эффект при несоответствии показателей качества нормативным.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах

электроснабжения общего назначения. Прин. 25.03.2013 ; действ. с 01.07.2014. М. : Стандартинформ, 2014.

2. Карташев И. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г. и др. Управление качеством электроэнергии. – М. : издательский дом МЭИ, 2006. - 320 с.: ил.

3. Воронин В.А., Лебедев Г.М. Об экономическом ущербе от снижения качества электроэнергии и источниках его возникновения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. №3. С.79-84

4. Самойленко И.А. Классификация и систематизация видов ущерба от низкого качества электроэнергии / И.А. Самойленко // Экономика Крыма - 2010. - №2. - С. 109-115

5. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей / В.А. Непомнящий. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 188 с.

6. Добрусин Л.А. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт. - 2008. - №4. - С. 30-35

7. Targosz R. European power quality survey report / R. Targosz, J. Mason. - 2008. URL: http://www.leonardo-energy.com/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/PQSurvey.pdf

Перспективы развития шнекороторного вездехода

Лищенко Т. В.[a], Иглин П. В.[b], Хомяков А. Л.[b]
студент 2 курса кафедры теплотехники и гидравлики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики[b]
преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a b c]
E-mail: 89615663193@mail.ru[a b], 20cent@inbox.ru[c]

Аннотация: В середине 19 века на основе винта Архимеда, был разработан шнекороторный вездеход, но по историческим причинам он не нашел широкого применения нигде в мире. Шнекороторный вездеход представляет из себя транспортное средство, оборудованное двумя шнеками по бокам машины, предназначенное для движения по бездорожью. Также, конструкция шнекохода имеет целый ряд недостатков, которые не позволяют использовать повсеместно это устройство в современности, например, этот вид вездехода становится не только бесполезным, но и небезопасным в движении по асфальтированной дороге, а также он крайне неповоротлив и не имеет хороших амортизирующих свойств. Основная цель данной статьи, предложить методы устранения этих недостатков, улучшив, тем самым, конструкцию шнекороторного вездехода и найти альтернативные сферы его использования.

Ключевые слова: Винт Архимеда, шнекоротор, вездеход, шнек, пневмопривод.

Введение.

Еще во времена Древней Греции Архимед (287 год до нашей эры) – великий греческий ученый подарил миру колоссальное количество величайших открытий и изобретений. Всего на данный момент, на основе исторических исследований, ему приписывают около сорока открытий в сфере механики. Один из них стал, в последствие, сердцем шнекороторных вездеходов. Это творение было названо винтом Архимеда. Но как он вообще устроен, то есть, какой механизм таит в себе знаменитый винт Архимеда? Он представляет собой спираль с резьбой, которая помещена в цилиндр. Когда спираль вращается, её резьба захватывает жидкость, заставляя ее двигаться по цилиндру. Щели, расположенные между краев спирали и стенок цилиндра, позволяли без трудностей совершать вращения валу. В последствие, вода доходила до верхнего конца цилиндра и выливалась через него. То есть, при помещении одного конца винта Архимеда в воду и расположении второго конца выше под определенным углом,

производя вращение вала, жидкость начнет подаваться наверх, это наглядно показано на Рис. 1.

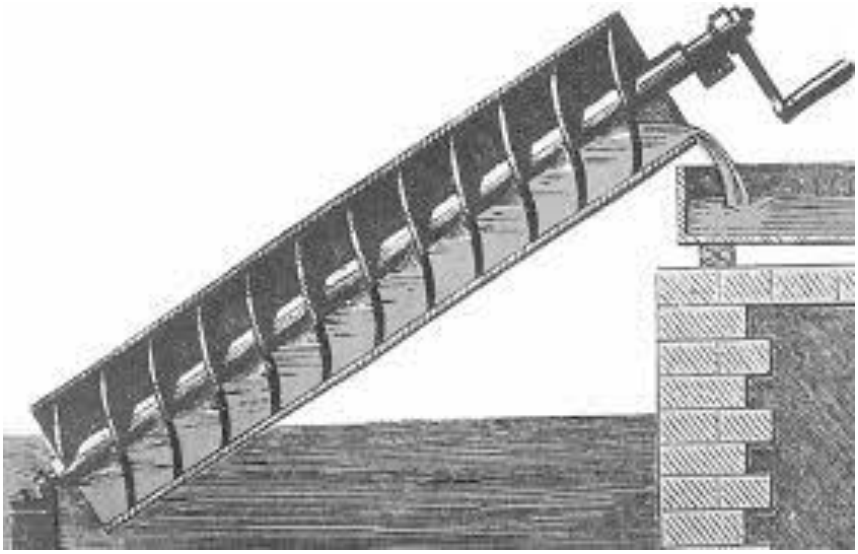


Рисунок 1. Винт Архимеда

С самого начало это изобретение применяли только для подъема воды из рек, чтобы орошать поля. Но как оказалось, на этом полезность винта Архимеда только начиналась. Благодаря такому устройству, стало возможным создание искусственных островов или осушение шахт, земель. Также винт Архимеда подарил миру шуруп и болт. На производстве используют, так называемые винтовые конвейеры, месильные установки для перемешивания вязких веществ.

Постановка цели и задачи исследования.

Целью работы является поиск перспектив в использовании шнекороторных вездеходов. Для достижения данной цели, были поставлены следующие задачи:

1) Обзор исторического развития шнекоротора и определение его современного развития.

2) Определение недостатков современных конструкций шнекороторных вездеходов и поиск их решения.

3) Альтернативные сферы использования шнекороторных вездеходов.

Методы исследования.

Для решения поставленных задач использовались методы теоретического исследования: изучение и обобщение материала по теме исследования, анализ полученного материала и синтез необходимых идей.

Результаты исследований, их обсуждение.

Шнекороторный вездеход – это оборудование, используемое для передвижения на бездорожье, обусловленное шнекороторным движителем, то есть, проще говоря, является транспортным средством. Его механизм действия довольно простой и основан на устройстве винта Архимеда

Вообще шнекороторный вездеход, указанный на Рис. 2, представляет из себя два шнека или два огромных винта, которые расположены справа и слева корпуса машины – это есть движитель ротора, то есть вращательного элемента, который, и является основным и главным механизмом устройства этой машины [Документ из интернета №1].



Рисунок 2. Современный шнекороторный вездеход

Самый первый в мире вариант шнекохода был разработан и запатентован еще в 1868 году инженером из Америки Джейкобом Морэтом, а первые российские похожие разработки появились в 1900 году в виде шнековых саней. Однако, широкого использования и производства шнекороторных вездеходов не произошло, что, по нашему мнению, совершенно не заслуженно, так как,

хоть и данная отрасль имеет некоторые недостатки, но тем не менее, есть несколько путей их частичного исправления.

В период с 1980 по 1991 год в СССР всего было построено двадцать шнекоходов ЗИЛ-2906. Его особенная конструкция шасси позволяла преодолевать фактически любое бездорожье, будь то снег, болото, он мог даже плавать по воде. Единственным действительно существенным недостатком являлось то, что он не мог продвигаться по асфальту или цементированной дороге.

Несмотря на массивность шнекохода, его схема работы, показанная на Рис. 3, довольна проста. Как было сказано выше, машина оборудована двумя шнеками, которые расположены по бокам корпуса вездехода, а также двумя роторами, которые, являются движущей силой вращения винтов. То есть когда шнеки начинают вращение, то они как бы отталкиваются от поверхности, на которой находится машина, при этом разрыхляя ее и продвигая машину вперед.

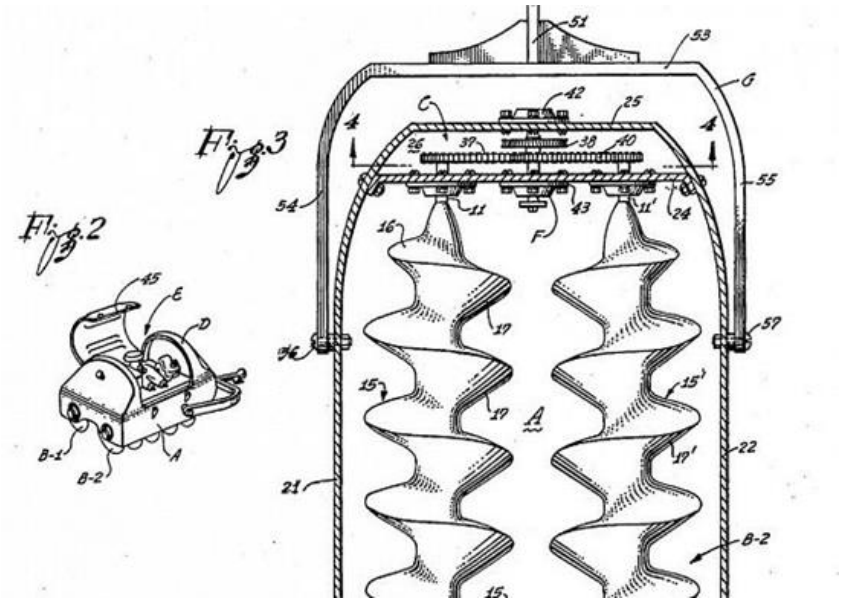


Рисунок 3. Схема винтов шнекохода

Самый главный и существенный недостаток шнекороторного вездехода это его абсолютная непригодность в передвижении по таким поверхностям как асфальтированная и цементированная дорога. Если сделать очень прочный материал шнеков шнекоход будет дробить асфальт вдребезги. А при использовании классического материала, мы видим полную бесполезность вездехода как транспортного средства: как только он будет приходить в движение, его будет нести из стороны в сторону по довольно широкой амплитуде и очень сильно

трясти. Казалось бы, эту проблему можно было бы решить, если сделать так, чтобы кабина водителя была бы поворотной, то есть на винтах вездеход идет по некоторой оси *x*, а по дороге едет по оси *y* [Документ из интернета №2]. Однако, этот способ совершенно непригоден, так как из-за такого явления как качение, винты будут разрушаться, теряя все свойства винта Архимеда. Но даже в такой ситуации все оказалось не столь безнадежно. Инженер Алексей Бурдин нашел выход из этой ситуации - изобретатель назвал свой проект Tesh-drive [Маркеев, с. 514]. Он предполагает использовать «надувные» шины, на рабочем теле винта между его резьбой, то есть трансформируемые шнеки. Во время передвижения шнекохода, скажем по болоту, шнеки выглядят обычно и нетрансформированными, за исключением того, что во впадинах винта находится эластичный рукав. Но стоит ему въехать на «запрещенную» для передвижения поверхность, как рукава раздуваются и преобразуются в шины так, что их края выступают за пределы выпирающей резьбы шнеков. И, вращаясь только по прямой, винты позволяют машине ехать. Конечно, стоит проблема автоматизации этого процесса-раздутия и спуск воздуха из камер, но мы бы предложили использовать привод, который при сжатии тянул бы края камер к середине ротора, но это теоретически возможно только при условии, что на каждом винте будет по два баллона, расположенных по секциям.

Вторым существенным недостатком шнекороторных вездеходов является их очень плохая поворотливость. То есть массивные винты способны толкать машину резко вперед или назад, но шнекоходу не хватает мобильности и точности в его движениях. Решение для этой проблемы с неплохим успехом относительно недавно разработали японские инженеры: на данный момент, у японского шнекохода не два, а четыре винта. При чем, эти шнеки могут работать поразному: допустим, три винта вертятся, а один абсолютно неподвижен. А это позволяет машине двигаться не только вперед и назад, но и влево и вправо. Это повышает манёвренность шнекохода в несколько раз, что практически сводит недостаток, описанный выше, к минимуму.

Третий недостаток также не следует выпускать из внимания. В данный момент весь мир борется за экологическую безопасность планеты. За сохранность богатств нашей природы: лесов, рек, почв. И, понимая даже лишь отчасти механизм работы шнекороторного вездехода, невозможно не заметить, какой урон он наносит недрам Земли. К сожалению, искоренить этот недостаток практически невозможно, но, по нашему мнению, шнекоход может принести пользы человечеству намного больше, чем нанести урона Земле.

Альтернативные сферы использования шнекоходов.

По нашему мнению, мир недооценивает такое полезное изобретение, как шнекороторные вездеходы. Например, очень удачное и сильное применение шнекоходы могли бы найти на поприще военных действий. Использовать машины, которые способны проходить практически через что угодно очень помогло бы в спасении раненых или, наоборот, в обороне. Кроме того, шнекороторные танки, у которых было бы четыре винта, могли бы стать куда маневреннее гусеничных танков, более того, применяя полые барабаны, такие танки успешно бы ехали через воду, что давало бы им амфибийные свойства. Воюя в непроходимых территориях, использование шнекоходов давало бы высокое преимущество над стратегическим противником. Проекты военной техники с использованием шнеков разрабатывались во времена Великой Отечественной войны, но они так и остались на бумаге.

Так же, в Российской Федерации в данный момент стоит и даже уже активно движется вопрос об освоении Арктики. Там строятся военные базы, туда высылают группы солдат и можно представить, какую пользу принесло бы использование шнекороторных вездеходов для работы в Арктике. Шнекоход в таких непроходимых местах, как крайний север, позволил бы перевозить не только людей и какие-то грузы, но и важное оборудование, для освоения, изучения Арктики.

В космической сфере раннее шнекороторные вездеходы использовались лишь частично. То есть шнекоходы отправлялись на спасение космонавтов, вернувшихся на Землю, так как приземлиться они могли в совершенно непро-

ходимых, ни человеком, ни другой техникой местах. Однако, возможно в ближайшем будущем, для шнекороторных вездеходов найдется другое предназначение в космической сфере. Например, освоение поверхности другой планеты.

Более того, в районах Крайнего севера или Сибири использование шнекороторов может служить как индивидуальное транспортное средство [Документ из интернета №3]. Это идеальное решение для непроходимой болотистой, тундровой и лесистой зон.

Заключение.

В ходе выполненного в данной работе изучения литературных источников по тематике развития и использования шнекороторных вездеходов и исследования путей дальнейшего совершенствования шнекороторных машин были сделаны следующие выводы.

1. В ходе работы выявлено, что современные шнекороторные машины имеют ряд существенных, но устранимых недостатков, таких как: непригодность при передвижении по твердым поверхностям, плохая маневренность и вред окружающей среде. Были приведены несколько методов модернизации конструкции: применение пневмопривода, реконструкция кабины водителя и внедрение дополнительных винтов.

2. Установлено, что шнекоротные вездеходы перспективны для нетрадиционного использования, а именно в космической и военных сферах, а также в районах Крайнего севера.

Список литературы

1. Шнекоходы: самые редкие вездеходы. URL: https://www.popmech.ru/technologies/11541-vvinchivayas-v-gryaz-shnekokhod/ (дата обращения 19.12.2017)

2. Маркеев А. П. Теоретическая механика. М.: ЧеРо, 1999. 572 с.

3. Новый проект: Модифицируемый шнекороторный вездеход. URL: http://fablab.spbstu.ru/ru_RU/2013/01/post392/ (дата обращения 20.12.2017)

4. Новая техника. URL: https://masterok.livejournal.com/584743.html (дата обращения 25.01.2018)

Моделирование процесса торцового прессования древесины в программе Solid Edge

Лучинина Е.К.[a], Рублева О.А.[b]
магистрант[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология деревообработки»[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: katena-102@mail.ru[a], ru_olga_ru@mail.ru[b]

Аннотация: Торцовое прессование древесины позволяет получить отпечатки высокого качества и может применяться для производства шиповых соединений и декоративных деталей. Однако использование процесса в производстве сдерживается его недостаточной изученностью. Целью данной работы является исследование влияния формы сечения пуансона на напряжения, возникающие в заготовках при его внедрении. Моделирование проводилось в программе Solid Edge для пуансонов квадратного, круглого и треугольного сечений. В результате моделирования получены данные о поведении заготовок из древесины сосны в виде оценок максимальных напряжений и коэффициентов запасов прочности. Определены наиболее удачные формы сечения пуансона – треугольная и квадратная. Результаты исследования рекомендуется использовать при проектировании инструмента для прессования древесины вдоль волокон с целью получения качественных рельефных отпечатков, в частности, для формирования элементов шиповых соединений.

Ключевые слова: штампование древесины, напряжения, пуансон.

Введение. **Современные предприятия нацелены на сокращение затрат на изготовление продукции путем внедрения в производство ресурсо- и энергосберегающих технологий. В то же время производители продукции, в том числе в сфере деревообработки, понимают важность поддержания высокого качества изделий, поскольку это определяет эксплуатационные характеристики, стоимость изделия, и, в конечном итоге, его востребованность. Инновационная технология формирования рельефов на поверхности деревянных заготовок способом торцового прессования позволяет изготавливать изделия высокого качества с экономией за счёт снижения затрат на инструмент и отказа от систем аспирации [Рублева[1], с. 126].**

Однако использование данного способа в производстве сдерживается недостаточной изученностью процесса. Исследовательские работы в данной области по большей части посвящены процессам прессования, тиснения и штам-

пования древесины поперёк волокон [Gaff, с. 163; Кирилина, с. 155], в том числе с использованием химико-термического модифицирования [Rautkari, с. 4780, Blomberg, с. 307; Кошелева, с. 126]. Моделирование процессов также в основном проведено для случаев поперечного прессования [Nairn, с. 576; Дорняк, 177]. Торцовое прессование древесины (прессование вдоль волокон) более широко исследовано на экспериментальном уровне [Ковалёв, с.86; Yamashita, с. 5239; Рублева[2], с. 194], чем на теоретическом [Рублева[1], с. 127]. Ещё менее исследованным является местное прессование древесины с целью получения отпечатков на поверхности [Gaff, с. 163], в том числе вдоль волокон [Рублева[2], с. 195].

Для внедрения в производство технологии формирования рельефов на поверхности деревянных заготовок способом торцового прессования необходимо проведение исследований, направленных на определение состояния древесины в процессе внедрения пуансона с целью определения рациональных режимов обработки.

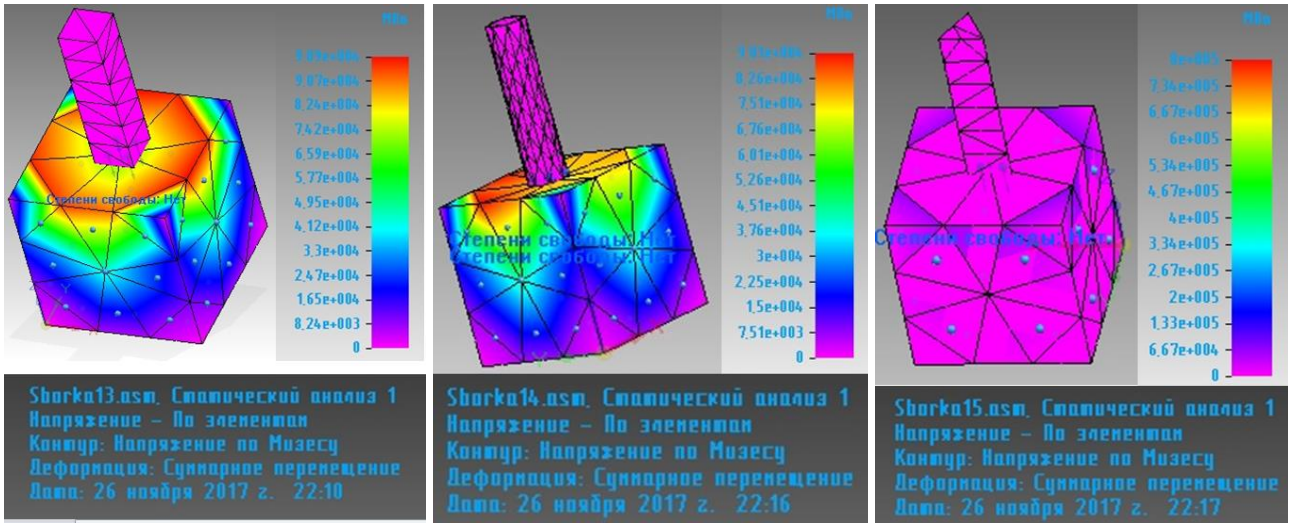
Постановка цели и задач исследования. Целью данной работы является исследование влияния формы сечения пуансона на напряженно-деформированное состояние древесины при его внедрении. Задачи работы – моделирование ситуаций внедрения пуансонов различной формы сечения: квадратного, круглого и треугольного.

Методы исследования. Моделирование процесса прессования проведено в программе Solid Edge. В качестве исходных данных приняты: размеры заготовки 40×40×40 мм, материал – древесина сосны влажностью 12% с плотностью 520 кг/м^3, теплопроводностью 0,09 вт/м·С^0, удельной теплоемкостью 2,3 кДж/кг·с, модулем упругости 100000 кгс/см^2, коэффициентом Пуассона 0,5, пределом прочности 48,5 МПа. В качестве материала пуансона принята сталь 40 с плотностью 7850кг/м^3, теплопроводностью 0,049кВт/м×С, удельной теплоемкостью 469 Дж/кг·с, модулем упругости 21999,998 МПа, коэффициентом Пуассона 0,28, пределом текучести 340 МПа, пределом прочности 590 МПа. Форма и размеры сечений пуансонов: квадрат 10×10 мм, круг диаметром 10 мм,

равносторонний треугольник 10×10×10 мм. Глубина внедрения при моделировании принята равной 20 мм. В качестве допущения структуру древесины приняли условно равномерной.

Результаты исследований, их обсуждение. Пуансон – одна из основных деталей комплекта оснастки, используемый в штамповке и прессовании материалов [ГОСТ 16675-80, с. 1]. Его форма оказывает влияние на напряжённо-деформированное состояние прилегающих слоёв древесины [Рублева[2], с.206; Gaff, с. 165].

На рис. 1 представлены результаты моделирования процесса внедрения пуансонов трёх форм сечений с целью определения максимального напряжения в древесине.



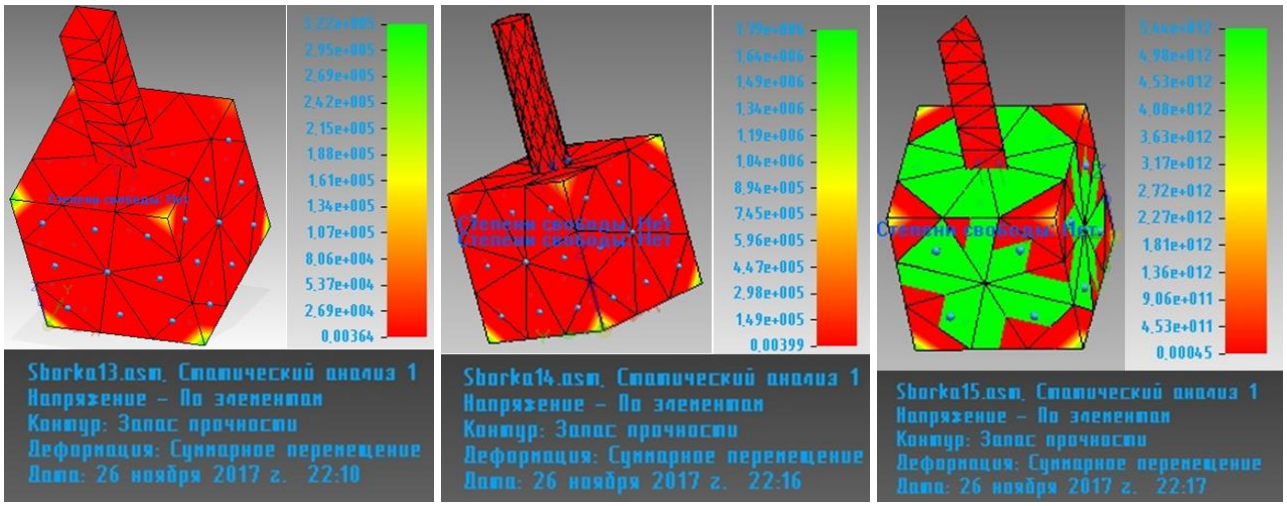
а б в

Рисунок 1. Максимальные напряжения в заготовках при внедрении пуансона по Мизесу:
а – 9,98×10^4 МПа, б – 9,01×10^4 МПа, в – 8×10^5 МПа

На начальном этапе внедрения пуансона заготовка упруго деформируется; далее упругие деформации переходят в пластические. Максимальные напряжения возникают на верхней пласти заготовки, а затем распределяется по плоскостям скольжения боковых граней пуансона, т.е. по граням гнезда под шип. Анализируя результаты моделирования, представленные на рис. 1, можно

отметить, что максимальное напряжение в заготовке наблюдается при внедрении пуансона треугольной формы (рис. 2 в). Оно составляет 8×10^5 МПа.

Коэффициент запаса прочности – это величина, характеризующая способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки. Наличие запаса прочности обеспечивает дополнительную надёжность заготовки, позволяющую избежать разрушения в случае возможных ошибок изготовления или эксплуатации. На рис. 2 представлены результаты моделирования процесса внедрения пуансонов трёх форм сечений с целью определения коэффициентов запаса прочности в заготовках из древесины.



а б в

Рисунок 2. Коэффициент запаса прочности: а – $3{,}22\times10^5$, б – $1{,}79\times10^6$, в – $5{,}44\times10^{12}$

Анализируя результаты моделирования, можно отметить, что наибольший коэффициент запаса прочности имеет заготовка при внедрении пуансона треугольной формы (рис. 2 в).

Заключение. Из рассмотренных сечений пуансона наиболее удачным вариантом является квадратная и треугольная формы. Максимальное напряжение, которое может выдержать заготовка до начала разрушения, в этих двух вариантах выше, нежели у пуансона цилиндрического сечения. Следующим этапом исследований предполагается моделирование процесса внедрения с учётом не-

равномерности структуры древесины и экспериментальная проверка полученных данных.

Список литературы

1. Рублева О.А. Формирование прямоугольных шипов способом торцового прессования // Лесотехнический журнал. 2013. №4 (вып.12). С. 126–133.

2. Gaff M., Sarvašová-Kvietková M., Gašparík M., Slávik M. Dependence of roughness change and crack formation on parameters of wood surface embossing // Wood Research. 2016. Vol. 61 [1]. P. 163–174.

3. Кирилина А.В. Особенности деформации древесины при формировании рельефного оттиска // Лесотехнический журнал. 2017. № 2: С. 155-159.

4. Rautkari L., Laine K., Laflin N., Hughes M. Surface modification of Scots pine: the effect of process parameters on the through thickness density profile // Journal of materials science. 2011. Vol. 46 [14]. P. 4780–4786.

5. Blomberg J., Persson B. Plastic deformation in small clear pieces of Scots pine (Pinus sylvestris) during densification with the CaLignum process // Journal of Wood Science. 2004. Vol. 50 [4]. P. 307–314.

6. Кошелева Н.А., Шейкман Д.В. Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины // Вестник технологического университета. Т.18, № 14. 2015. С. 126–130.

7. Nairn J.A. Numerical simulations of transverse compression and densification in wood // Wood and fiber science. 2007. Vol. 38 [4]. P. 576–591.

8. Дорняк О.Р. Математическое моделирование процесса пресования древесины // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 75. С. 177–191.

9. Ковалев, Н.Н. Исследование деформирования древесины при сжатии: сб. науч. тр. Бел. технол. ин-та им. С.М.Кирова. 1983. (вып. 13). С. 86–89.

10. Рублева О.А. Изменения структуры древесины сосны при внедрении призматического индентора вдоль волокон // Advanced science. 2014. №1 (вып.4). С. 194–208.

11. Yamashita O. et al. The pliability of wood and its application to molding //Journal of Materials Processing Technology. 2009. V. 209. №. 12-13. P. 5239-5244.

12. ГОСТ 16675-80. Пуансоны, матрицы, державки, подкладные плитки и шпонки штампов для разделительных операций. Технические условия. Прин. 04.03.1980; действ. с 01.01.1981. М.: Стандартинформ, 1999. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200015174 (дата обращения 19.11.2017).

Анализ и оценка качества алгоритмов скелетизации изображений

Лялина В.А.[a], Курбатова Е.Е.[b]
студент группы ИКТм-1301-01-00[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных средств[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: veronika.lyalina@yandex.ru[a], kurbatova@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Данная работа посвящена оценке качества алгоритмов скелетизации изображений. Проведен обзор и сравнительный анализ основных подходов к построению скелетного описания изображений, выявлены их преимущества и недостатки. Исследование алгоритмов проводилось с точки зрения точности соответствия скелета эталону, связности линии скелета и быстродействия. Для оценки качества используется эмпирическая оценка, основанная на сравнении результатов скелетизации с эталонным изображением. В качестве критериев оценки выбраны: точность, полнота, параметр F-меры, относительное количество концевых точек найденного скелета, время обработки. Для исследования используются тестовые и эталонные изображения из базы изображений SK506. Показано, что по выбранным критериям наилучшие результаты обеспечивает алгоритм на основе морфологических преобразований. Данный алгоритм наилучшим образом соответствует сформулированным требованиям.

Ключевые слова: скелетизация, F-мера, быстродействие, оценка качества.

Введение

С развитием систем технического зрения виден большой интерес к разработке и применению алгоритмов скелетизации изображений. Скелетизация - это построение срединных линий (скелетов) объектов на изображениях. Она представляет собой один из способов описания объекта и является важной ступенью в процессе распознавания объектов в системах технического зрения.

Описание объектов на изображении с помощью их скелетов имеет ряд преимуществ, и позволяет эффективно решить задачи цифровой дактилоскопии, распознавания текстов, обработки медицинских изображений, обработки изображений в биометрических системах и системах мониторинга. Особенностью такого представления является то, что оно позволяет более компактно представить объект, при этом подчеркиваются геометрические и топологические свойства объекта, такие как соединения, связность, длина, направление, ширина [Гудков, с.12].

В настоящее время существует более 300 различных алгоритмов скелетизации [Болтенков, с.103]. Такое разнообразие подходов объясняется тем, что каждая система обработки изображений обладает определенной спецификой используемых изображений. Они могут существенно отличаться сложностью и конфигурацией объекта, качеством, источником получения изображений (от специализированных установок, таких как, например, цифровые рентгеновские устройства, до стандартных средств, например, простейшие web-камеры). Для решения каждой задачи разрабатывался свой алгоритм скелетизации, который обеспечивает наилучшие результаты в конкретных условиях.

Поэтому сравнительный анализ существующих алгоритмов скелетизации изображений и выявление особенностей их использования является важным при выборе алгоритма.

Алгоритмы скелетизации изображений

Существуют разные подходы к классификации алгоритмов скелетизации [Waleed, p.705], наиболее распространенным вариантом является их деление на две группы: итеративные и неитеративные алгоритмы. Неитеративные алгоритмы осуществляют построение скелета в один проход по изображению, анализируются не отдельные пиксели, а все изображение или группа пикселей. К таким методам можно отнести метод дистанционных карт Блюма [Blum, P.362], методы на основе диаграмм Воронового [Местецкий, с.103]. Основным их недостатком является то, что они не могут гарантировать корректное восстановление топологии исходного объекта, а полученные скелеты очень чувствительны к любым локальным изменениям и шуму на изображении.

Итеративные алгоритмы [Мучник, с.23] составляют наиболее обширную группу алгоритмов, основанных на топологическом утончении. Эти алгоритмы заключаются в последовательном удалении граничных точек объекта, если удаляемый элемент не является концевым и при его удалении не нарушается связность объекта. На данном принципе основаны метод Щепина [Щепин, с.13], шаблонный метод Ву-Цаи [Wu, P.715], метод Зонга-Суня [Zhang, P.236], алгоритм Стентифорда [Stentiford, P.81]. В итеративных алгоритмах обычно приме-

няется маска размером 3×3, которая постепенно перемещается по всему изображению. На каждой итерации удаляется один слой граничных точек до тех пор, пока не будет получен скелет. Из-за необходимости многократного прохода по изображению такие алгоритмы требуют значительного времени на обработку изображения.

По способу реализации итеративные алгоритмы в свою очередь можно разделить на два класса: параллельные и последовательные. В параллельных алгоритмах значения пикселей, полученные на текущей итерации, используются только при вычислении следующей итерации. В последовательных алгоритмах новые значения пикселей используются при обработке последующих пикселей на текущей итерации. Использование последовательных алгоритмов позволяет быстрее удалить граничные точки, но при этом результат скелетизации зависит от последовательности обработки пикселей изображения. В параллельных алгоритмах в пределах итерации каждый пиксель обрабатывается независимо, поэтому для повышения скорости обработки могут применяться механизмы распараллеливания вычислений[Waleed, p.705].

Алгоритмы скелетизации должны соответствовать определенным требованиям:

- полученный скелет должен соответствовать топологии объекта;
- каждому объекту на изображении должен соответствовать свой скелет с минимальным количеством разрывов;
- толщина скелета должна составлять один пиксель;
- обработка изображения должна осуществляться за приемлемое время.

В данной работе исследуются наиболее популярные алгоритмы скелетизации изображений.

Морфологическая скелетизация с последовательным применением процедур эрозии и дилатации [Soille, P.63]. Исходное изображение подвергается обработке морфологическим фильтром с учетом ряда условий, чтобы сохранить связность скелета.

Алгоритм Зонга-Суня [Zhang, P.236] - это итеративный параллельный алгоритм. Используется маска размером 3x3, которая накладывается последовательно на каждый пиксель изображения. Каждая итерация включает два этапа. На первом удаляются северо-западные угловые точки и точки на юго-восточной границе. На втором этапе удаляются юго-восточные угловые точки и точки на северо-западной границе. Возможность удаления граничных точек проверяется на основе ряда условий исходя из окрестности элемента.

Алгоритм Стентифорда [Stentiford, P.81] также является итеративным параллельным алгоритмом и использует четыре логические маски размером 3x3.

Эти алгоритмы являются наиболее распространенными и во многих современных работах предлагаются различные пути их модификации. Например, применение метода выделения контуров на основе цепей Маркова [Медведева, с.47] на первом этапе алгоритма Зонга-Суна позволяет уменьшить количество вычислений.

Критерии оценки результатов скелетизации

Оценка результатов работы алгоритмов скелетизации является сложной и неоднозначной ввиду отсутствия единого подхода к выбору методики и критериев оценки качества. В данной работе используется эмпирическая контролируемая методика оценки [Кольцов, с.544], которая заключается в оценивании результатов работы алгоритма на наборе тестовых изображений. При этом используются количественные меры различия результата скелетизации и эталонного изображения.

Для исследования алгоритмов скелетизации выбрано пять критериев. Три из них характеризуют соответствие полученного скелета эталонному (точность, полнота, F-мера (мера Ван Ризбергена)), критерий характеризующий связность полученного скелета (относительное количество концевых точек), критерий быстродействия (время обработки изображения).

Точность P – отношение количества верно определенных элементов в скелете к общему количеству элементов полученного скелета.

Полнота *R* - отношение количества верно определенных элементов в скелете к общему количеству элементов эталонного скелета.

$$P = \frac{TP}{S}, R = \frac{TP}{B}, \quad (1)$$

где *TP* – количество верно найденных скелетных элементов; *S* – общее количество элементов скелета, найденных в результате действия алгоритма, *B* – общее количество элементов скелета на эталонном изображении.

Наиболее эффективно использовать параметр F-мера, потому что он является комплексным и учитывает как характеристику точности, так и характеристику полноты.

Для вычисления параметра F-мера [Martin, P.536], необходимо получить среднее взвешенное значение между точностью и полнотой:

$$F = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R}. \quad (2)$$

Чем ближе параметр F-мера к 1, тем выше степень соответствия полученного скелета эталонному.

Связность оценивается количеством концевых точек скелета на изображении. Концевая точка – это точка, которая имеет только одну соседнюю точку скелета. Если произошел разрыв, то количество концевых точек будет увеличиваться.

$$C = \frac{N_S}{N_B}, \quad (3)$$

где C – связность контура, N_S – количество концевых точек найденного скелета, N_B – количество концевых точек эталонного скелета.

Результаты исследования

Выбранные для исследования алгоритмы скелетизации: алгоритм Стентифорда, алгоритм Зонга-Суня, модифицированный алгоритм Зонга-Суня (с применением на первом этапе выделения контуров на основе цепей Маркова), алгоритм на основе морфологических преобразований, реализованы в среде Matlab.

В качестве тестовых использовались изображения из базы SK506 [Shen, P.1], которая содержит полутоновые изображения и соответствующие им эталонные скелеты. Выбранные алгоритмы предназначены для скелетизации бинарных изображений, поэтому при обработке полутоновых изображений требуется предварительная бинаризация. Исследование проводилось с использованием компьютера с характеристиками: операционная система Windows 10, процессор Intel(R) Core(TM) i3-5005U @ 2.00 GHz 2.00 GHz и 4 Гб памяти ОЗУ, видеокарта GeForce GT 640M.

Скелеты, полученные с помощью выбранных алгоритмов для тестового изображения размером 140*213 пикселей, представлены на Рис. 1.

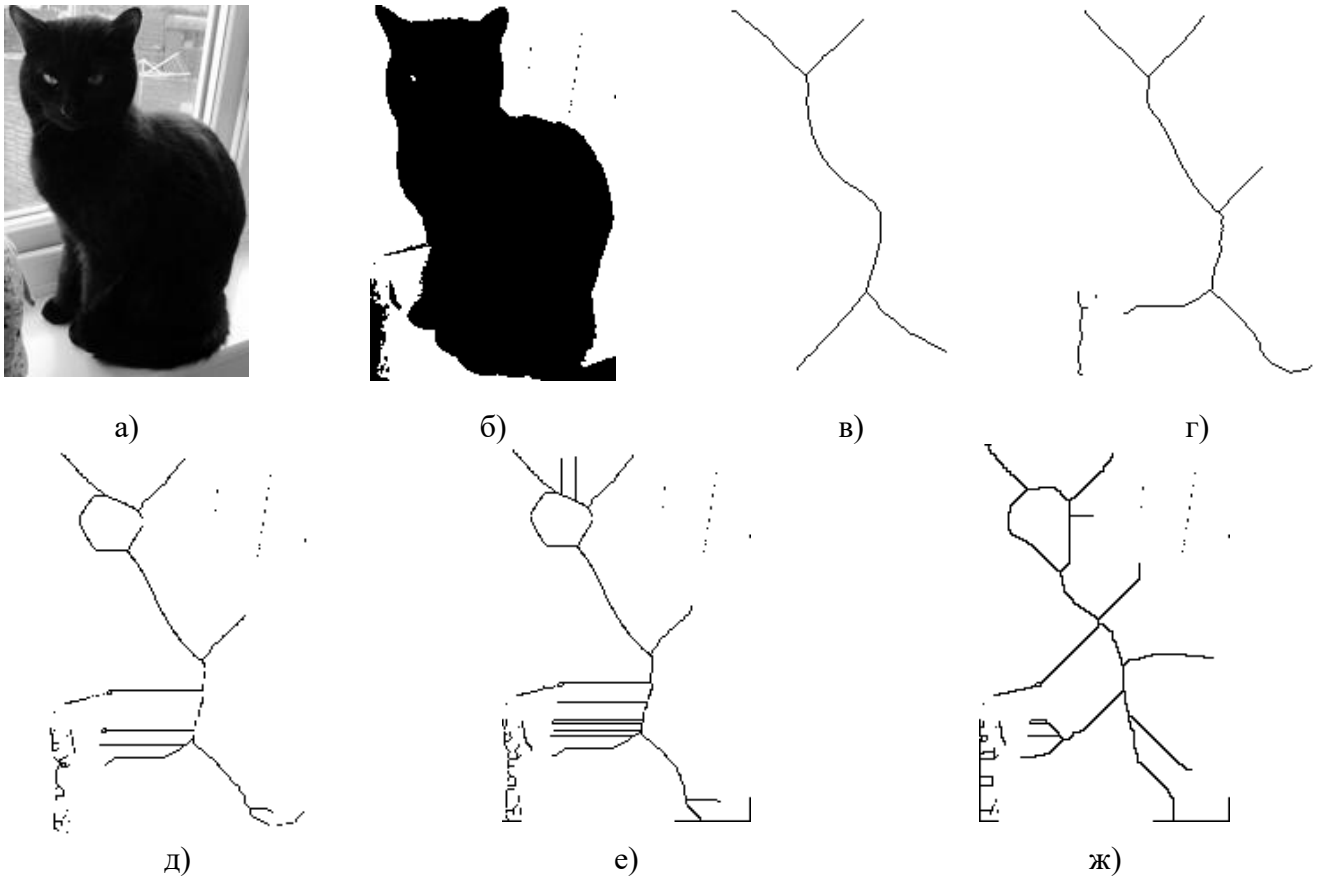


Рисунок 1. Пример работы алгоритмов скелетизации: а) исходное полутоновое изображение; б) изображение после бинаризации; в) эталонный скелет; г) результат морфологических преобразований; д) результат алгоритма Зонга-Суня; е) результат модифицированного алгоритма Зонга-Суня; ж) результат алгоритма Стентифорда.

Результаты вычисления критериев оценки качества приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Значения критериев оценки качества алгоритмов скелетизации

	C	Время выполнения, с	*P*	*R*	*F*-мера
Алгоритм Стентифорда	6,75	73,55	0,9295	0,9567	0,943
Алгоритм Зонга Суня	15	7,59	0,9295	0,9426	0,936
Модифицированный алгоритм	13,25	3,21	0,9295	0,9530	0,941
Морфологические преобразования	2,5	0,136	0,9295	0,9325	0,931

Из результатов исследований, приведенных в табл. 1 следует, что все выбранные алгоритмы с точки зрения параметра F-мера показали одинаково хорошие результаты. Однако с точки зрения визуального анализа можно сделать вывод, что меньшее количество ложных ветвей обнаружено при использовании морфологических преобразований. Кроме того, скелет полученный с помощью данного алгоритма обладает наилучшей связностью, что подтверждается минимальным отношением количества концевых точек полученного скелета к количеству концевых точек эталонного скелета.

Проанализировав результаты в Табл. 1, можно сделать вывод, что итеративные алгоритмы не могут использоваться в системах требующих обработки изображений в реальном времени, при этом повышение качества результатов скелетизации часто приводит к значительному повышению времени обработки. Например, алгоритм Стентифорда позволяет получить связный скелет, но при этом требует больше времени на обработку изображения среди всех рассмотренных алгоритмов. Наиболее быстродействующим является алгоритм на основе морфологических преобразований.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного анализа наилучшим алгоритмом с точки зрения соотношения качества полученного скелета и времени, затрачиваемого на обработку изображения, можно назвать алгоритм на основе морфологических преобразований. Применение итеративных алгоритмов, ос-

нованных на последовательном утончении границ, возможно только в системах, которые не предъявляют высоких требований к скорости обработки.

Список литературы

1. Гудков В.Ю., Клюев Д.А. Скелетизация бинарных изображений и выделение особых точек для распознавания отпечатков пальцев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2015. Т. 15. № 3. С. 11–17.

2. Болтенков В. А., Нгуен Гуи Кионг, Малявин Д. В. Анализ алгоритмов скелетизации бинарных изображений // Электротехнические и компьютерные системы. 2015. № 17 (93). С. 102–109.

3. Skeletonization algorithm for binary images / Abu-Ain Waleed et al.// Procedia Technology. 2013. Vol. 11. P. 704–709.

4. Blum H. A transformation for extracting new descriptors of shape // Models for the perception of speech and visual form. Cambridge: MIT Press, 1967. P. 362-380.

5. Местецкий Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений. Фигуры. Скелеты. Циркуляры. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 287 с.

6. Мучник М.М. Скелетизация графических образов печатных и рукописных символов // Інженерія програмного забезпечення. 2012. № 3-4 (11-12). С. 22–26.

7. Щепин Е.В., Непомнящий Г.М. К топологическому подходу в анализе изображений. Геометрия, топология и приложения // Межвузовский сборник научных трудов. М.: Московский институт приборостроения, 1990. с. 13-25.

8. Wu R.-Y., Tsai W.-H. A new one-pass parallel thinning algorithm binary images // Pattern Recognition Letters. 1992. Vol. 13 (10). P. 715-723.

9. Zhang T., Suen C. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns // Communications of the ACM. 1984. Vol. 27. №3. P. 236-239.

10. Stentiford F.W.M., Mortimer R.G. Some new heuristics for thinning binary hand printed characters for OCR // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1983. Vol. 13. Iss.1. P. 81-84.

11. Soille P. Morphological Image Analysis. Berlin: Springer–Verlag, 1999. P.434.

12. Медведева Е. В., Курбатова Е.Е. Метод сегментации изображений в прикладных телевизионных системах // T-Comm. Телекоммуникации и транспорт. 2010. №2. С.46-49

13. О количественной оценке эффективности алгоритмов анализа изображений / П.П. Кольцов и др.// Компьютерная оптика. 2015. Т. 39. №4. с. 542-556.

14. Martin D., Fowlkes C., Malik J. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color and texture cues // IEEE Trans. on Pattern analysis and Machine Intelligence. 2004. Vol. 26. P. 530-549.

15. Object skeleton extraction in natural images by fusing scale-associated deep side outputs / W. Shen et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 9.

Исследование температурного поля коллектора машины постоянного тока

Малышева Н.М.[a], Тимина Н.В.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a, b]
E-mail: nm_malysheva@vyatsu.ru[a], timina@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Коллектор и щетки выполняют важные функции в машине постоянного тока, обеспечивают ее работоспособность, определяют ее надежность. Цель статьи – получить картину температурного поля коллектора в стационарном и нестационарном режиме, провести численные эксперименты для исследования влияние щеток на нагрев коллектора. Выполнена постановка задачи расчета температурного поля, предложена расчетная область определения температуры коллектора с эквивалентной щеткой, эквивалентными потерями и граничными условиями. Расчет выполнен численным методом конечных элементов. Представлены результаты исследования температурного поля коллектора, определена максимальная температура коллекторных пластин и элементов крепления, проведено исследование влияния щеток на нагрев коллектора. Результаты можно использовать для расчета коллекторов машин постоянного тока, а также коллекторных двигателей переменного тока. Результаты работы можно использовать при исследовании узлов токосъема турбогенераторов, гидрогенераторов и других электрических машин.

Ключевые слова: нагрев, щетка, электрическая машина.

Коллектор и щетки выполняют следующие основные функции в машине постоянного тока: обеспечивают передачу электрической энергии со щеток на коллектор, и наоборот; участвуют в коммутационном процессе секций и обеспечивают выполнение двух предыдущих функций в течение заданного промежутка времени.

Надежность машины постоянного тока во многом определяется надежностью работы щеточно-коллекторного узла. При высоких значениях потерь в скользящем контакте при повышенной плотности тока под щетками и окружной скорости увеличивается нагрев элементов коллектора и щеток. При повышенном нагреве изменяются физико-механические свойства щеток, происходит их температурное расширение, происходит ускоренный износ коллекторных пластин, распайка петушков коллектора, повреждение изоляции, нарушение

цилиндрической формы и монолитности коллектора, возникают температурные напряжения в элементах коллектора, расстройство коммутации.

Щеточно-коллекторный узел включает коллектор и щеточный аппарат и является наиболее сложным узлом в машине. Коллектор состоит из медных пластин, изолированных друг от друга миканитовыми прокладками, а от корпуса миканитовыми манжетами. Для крепления коллекторных пластин используются нажимные конусы и втулка, изготовленные из стали. Теплофизические свойства материалов коллектора существенно отличаются. Так коэффициент теплопроводности меди, из которой изготовлены коллекторные пластины, составляет 380 Вт/(м·°С), стали – (30 ÷ 50) Вт/(м·°С), миканита – 0,2 Вт/(м·°С), что обуславливает неравномерность нагрева элементов коллектора, значительный перепад температур между медью и сталью. На рис. 1 показаны тепловые потоки, от которых зависит нагрев коллектора и щеток.

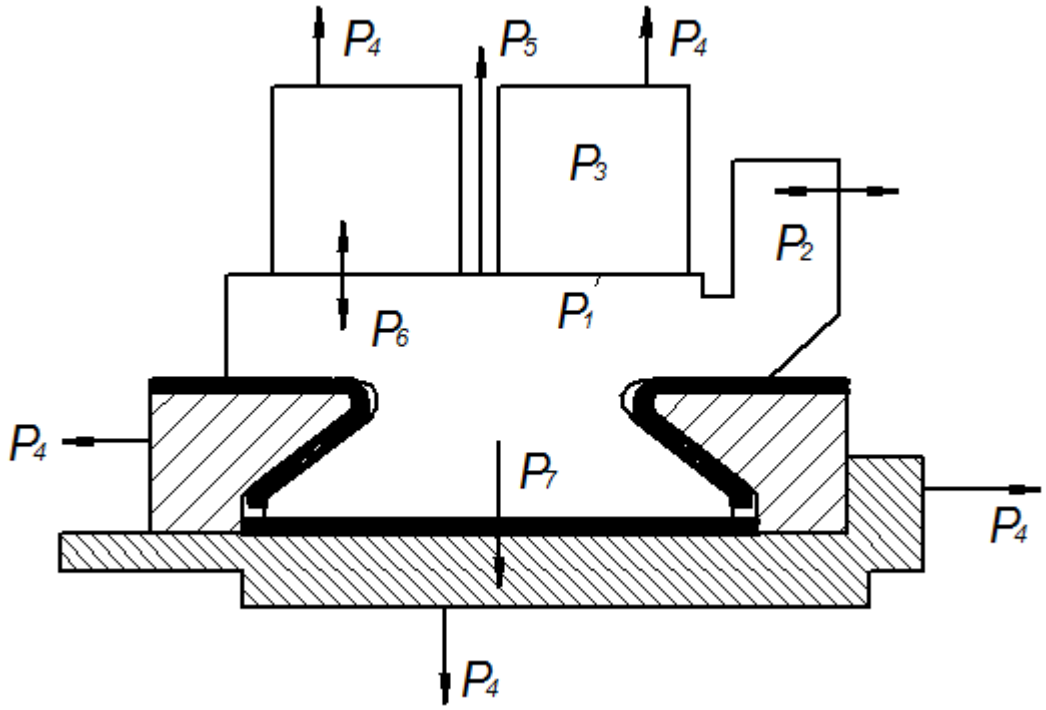


Рисунок 1. Тепловые потоки щеточно-коллекторного узла:
P_1 – потери в скользящем контакте; P_2 – тепловой поток между обмоткой якоря и коллектором; P_3 – потери в щетках от прохождения электрического тока; P_4 – конвективный тепловой поток; P_5 – тепловой поток, обусловленный излучением; P_6 – тепловой поток, обусловленный теплообменом со щетками; P_7 – тепловой поток в элементы крепления

При расчете температурного поля коллектора следует учесть, что при работе машины в момент времени τ только часть коллекторных пластин находит-

ся в контакте со щетками. Время контакта щетки с коллекторной пластиной ограничено периодом коммутации, то есть только в этот период времени между ними может произойти теплообмен. Расчетная область в период коммутации имеет вид, представленный на рис. 2, а в межкоммутационный период – на рис. 3. При этом изменяются дифференциальные уравнения и граничные условия, которые описывают процесс нагревания.

Для расчета температурного поля была разработана расчетная область с эквивалентной щеткой, которая находится в непрерывном контакте с коллекторной пластиной, с эквивалентными граничными условиями и эквивалентными потерями.

Расчет температурного поля сводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений относительно превышения температуры T.

$$c \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_v ,$$

где c - удельная теплоемкость материалов, ρ - плотность, λ - коэффициент теплопроводности, q_v - потери в щетке.

На границах с окружающей средой задан конвективный теплообмен - граничные условия III рода, в области контакта щетки с коллектором заданы потери в скользящем контакте - граничные условия II рода.

Начальное условие

$$T(r,z,0)= T_0.$$

Поставленная задача решена методом конечных элементов.

Для оценки математической модели температурного поля коллектора проведено сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными. Экспериментальные исследования заключались в снятии кривых нагревания элементов макета коллектора с косвенным жидкостным охлаждением. Измерение температуры проводилось с помощью термодатчиков, схема установки которых изображена на рис. 4. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных представлены на рис. 5.

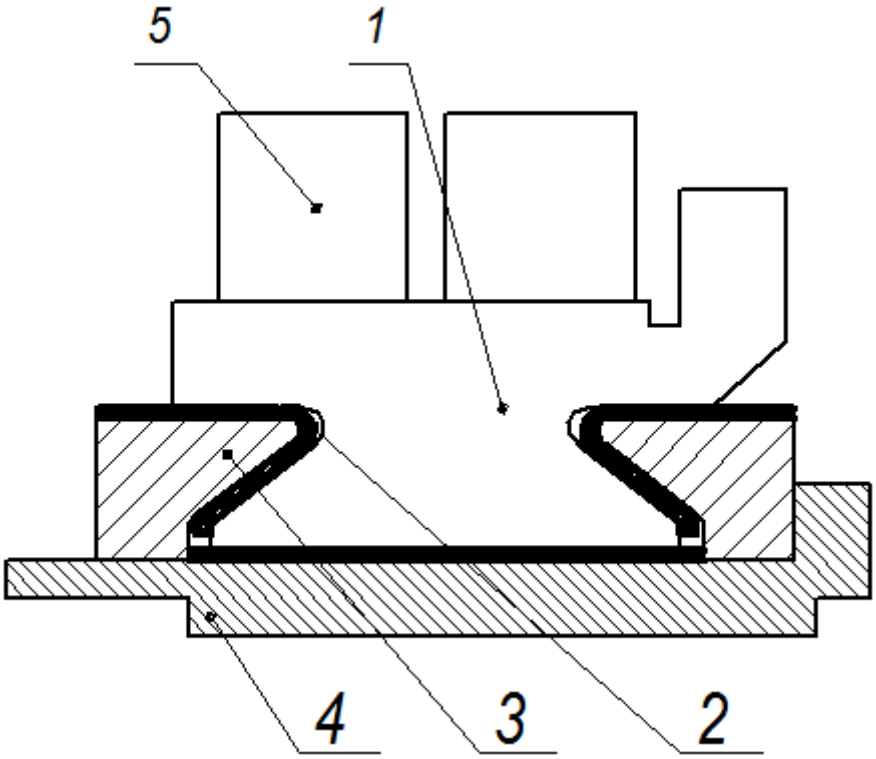


Рисунок 2. Расчетная область в коммутационный период: 1 – коллекторная пластина; 2 – корпусная изоляция; 3 – нажимной конус; 4 – втулка; 5 - щетка

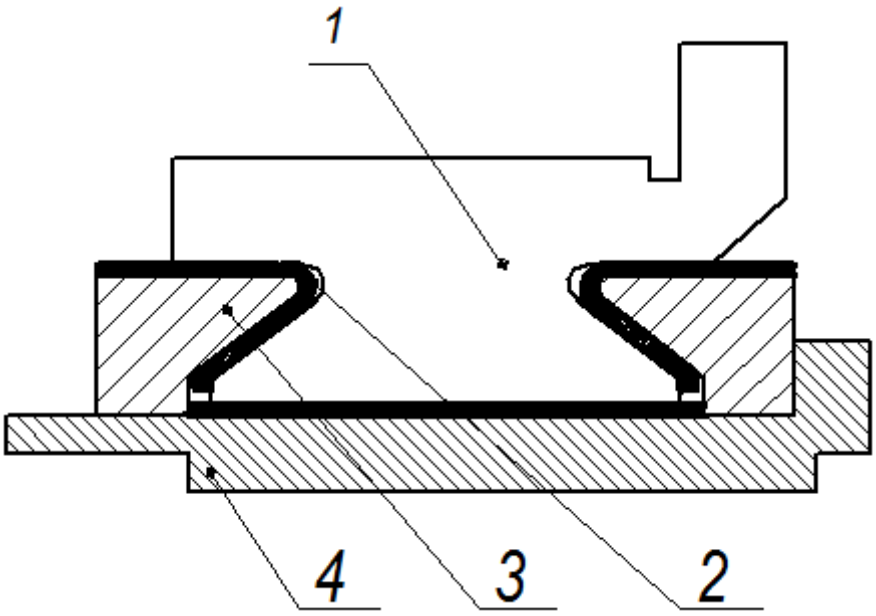


Рисунок 3. Расчетная область в межкоммутационный период: 1 – коллекторная пластина; 2 – корпусная изоляция; 3 – нажимной конус; 4 – втулка

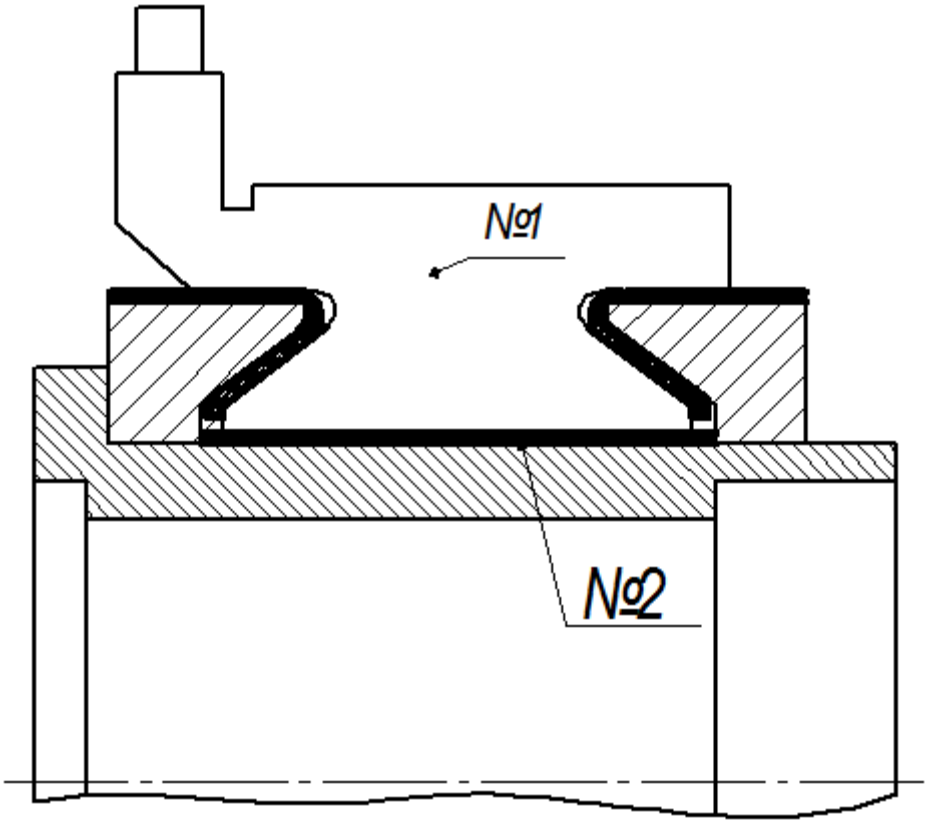


Рисунок 4. Расположение датчиков температуры в элементах коллектора:
№1, №2 – номера датчиков

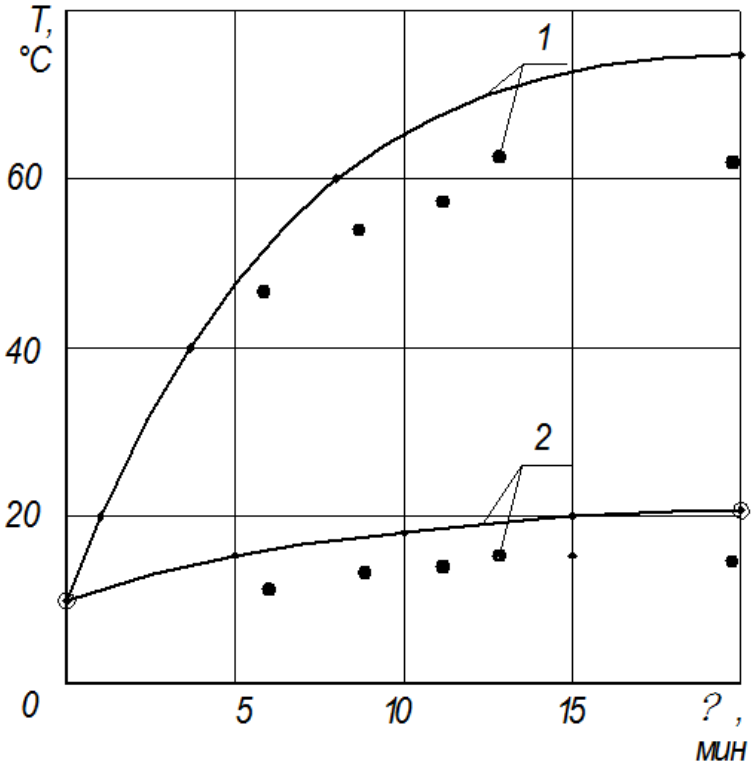


Рисунок 5. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных:
——— - расчет; · - эксперимент; 1, 2 – номера датчиков

По графикам видно качественное совпадение расчетных и экспериментальных данных. В количественном отношении погрешность составляет 20%, куда входит погрешность расчета и погрешность измерения.

Результаты расчетов температурного поля коллектора двигателя постоянного тока с косвенным жидкостным охлаждением представлены на рис. 6, 7, 8.

График изменения максимальной температуры коллектора во времени показан на рис. 6.

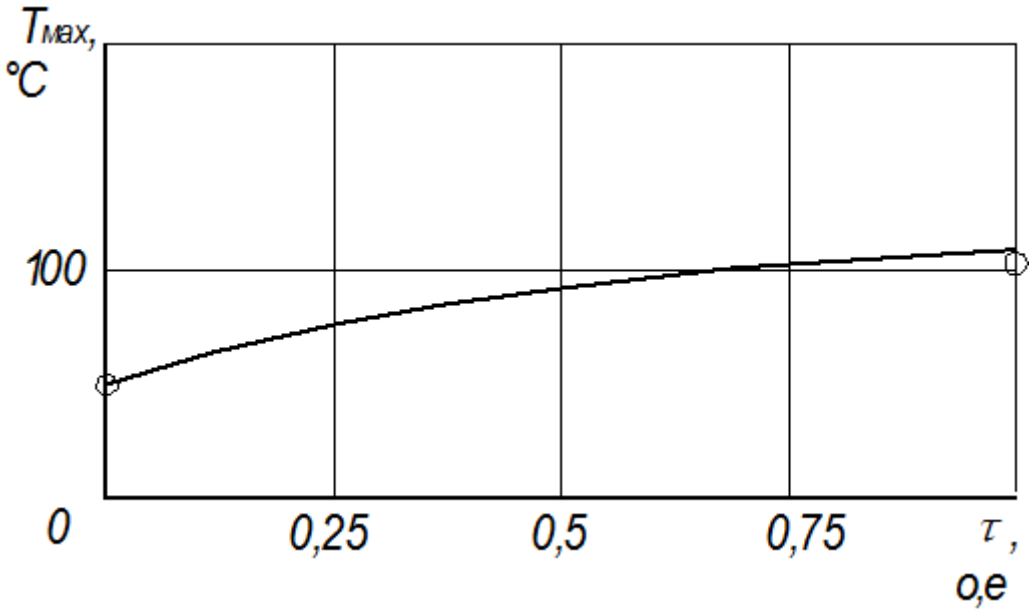


Рисунок 6. Нагрев коллектора во времени

Стационарное температурное поле коллектора показано на рис. 7. По графику видно, что область максимальных температур находится на рабочей поверхности коллекторной пластины под левой щеткой. Перепад температуры по пластине в радиальном направлении составляет 3°С, в осевом - 5°С; перепад температуры по изоляции - 60°С в области контакта пластины с нажимным конусом и 105°С в области контакта пластины со втулкой; перепад температур по втулке коллектора в радиальном направлении - 15°С, в осевом направлении поле симметрично относительно середины втулки и значения температур по краям практически равны между собой.

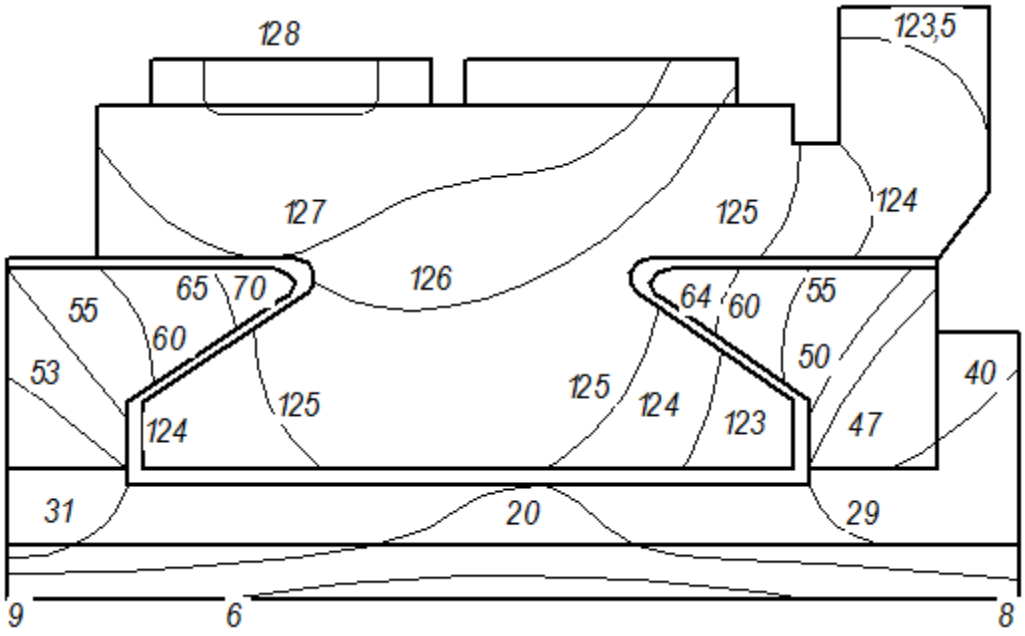


Рисунок 7. Стационарное температурное поле коллектора

Для оценки влияния щетки на нагрев коллектора были проведены расчеты температурного поля коллектора без щетки, при этом все потери в скользящем контакте относились к коллектору. Температурное поле представлено на рис. 8.

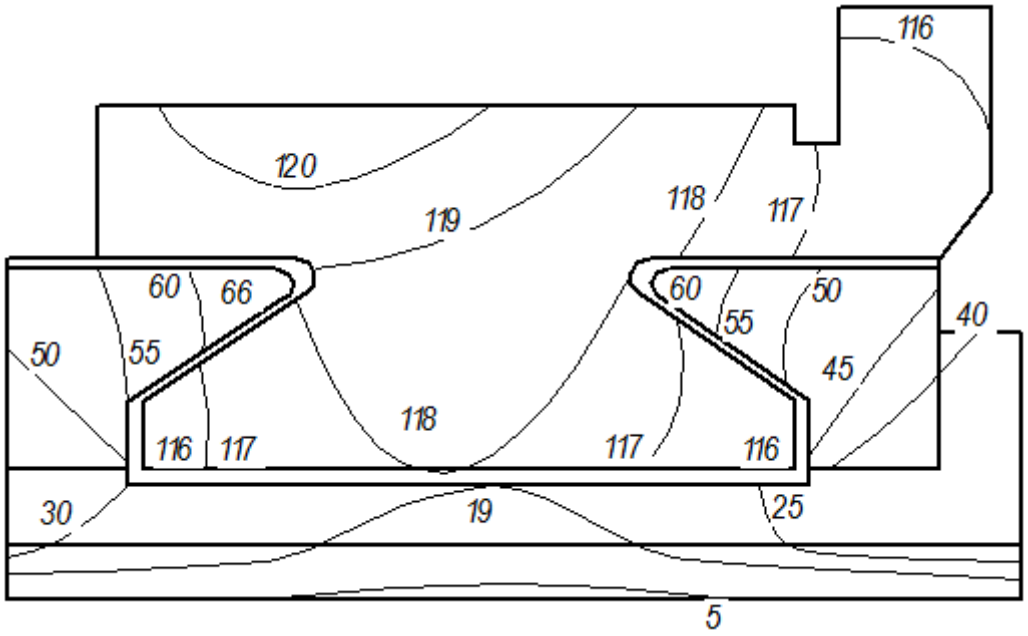


Рисунок 8. Стационарное температурное поле коллектора без учета щетки

При сопоставлении графиков видно, что характер распределения температур не изменяется, но значение максимальной температуры меньше на 8°С, что составляет 6%. Влияние щетки на температуру коллектора зависит от марки

щетки и условий ее охлаждения. Также проведены численные эксперименты для случая теплоизоляции внутренней поверхности коллектора, которые показали, что уменьшается перепад температуры между коллекторной пластиной и втулкой, но увеличивается температура элементов крепления коллектора.

Таким образом, проведенные исследования показали существенное влияние щетки на нагрев коллектора. Результаты можно использовать для расчета коллекторов машин постоянного тока, а также коллекторных двигателей переменного тока.

Определение рациональной зоны установки основного решета в обводном канале дробилки

Медведев О. Ю.[a], Турубанов Н. В.[b], Исупов А. Ю.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[a,b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: usr08307@vyatsu.ru, nikolaytu@mail.ru, usr10468@vyatsu.ru

Аннотация: актуальной проблемой в процессе измельчения сыпучих материалов является получение качественного продукта с высокой пропускной способностью дробилки и низким уровнем удельных энергозатрат; цель исследований: определение рациональной зоны установки решета в обводном канале дробилки; при проведении экспериментов использовалось методика планирования однофакторных исследований для определения значимых параметров работы дробилки в процессе измельчения; в результате исследований получен соответствующий требованиям ГОСТ готовый продукт посредством вставки решета в область между шнеком и ротором; статья в первую очередь предназначена для учёных, определяющих оптимальные параметры устройств измельчения сыпучих материалов в процессе их работы, а также может быть интересна инженерам, занимающимся разработкой машин для дробления и измельчения растительных материалов и их внедрением в сельскохозяйственной отрасли.

Ключевые слова: основное решето, помольные характеристики, гранулометрический состав.

Введение

Несвоевременный отвод из дробильной камеры измельчённого продукта по мнению В.И. Сыроватки является главным изъяном молотковых зернодробилок. Это неизбежно приводит к тому, что повышается энергоёмкость процесса дробления и, как следствие, уменьшается пропускная способность устройств для измельчения сыпучих материалов. Для исключения содержания мелкой фракции, а также повышению результативности работы нужно площадь поверхности решета сделать больше [Сыроватка, с. 90].

Процессом измельчения растительных материалов занимались такие учёные как И.В. Макаров, В.П. Горячкин, С.Д. Хусид, также немаловажный вклад привнесли В.Р. Алёшкин, Н.Ф. Баранов, В.А. Елисеев, С.В. Мельников, П.М. Рощин В.И., Сыроватка.

Постановка цели и задач исследования

Цель исследований: определение рациональной зоны установки решета в обводном канале дробилки.

Задачи:

1. получить готовый продукт, соответствующий требованиям ГОСТ;

2. построить помольные характеристики;

3. определить оптимальный диапазон угла установки решета.

Методы исследований

Экспериментальные исследования рабочего процесса молотковой дробилки открытого типа с обводным каналом, определение оптимального сочетания параметров и режимов ее работы проводили методом планирования эксперимента. Данный метод позволяет получить математические модели, описывающие рабочий процесс, сократить число опытов и время на их проведение.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе раннее проведённых экспериментов по исследованию дробления растительных материалов выявили [Медведев, с. 890, Исупов, с 12], что получаемый продукт не всегда соответствует требованиям ГОСТ, поэтому для достижения продукта достаточного качества в межпространственную область ротора и шнека включили основное решето 1 с диаметром отверстий 10 мм, а длиной 200 мм (рис. 1).



Рисунок 1. Решето

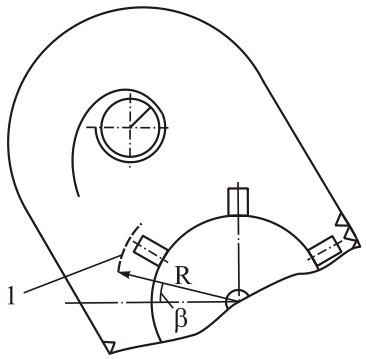


Рисунок 2. Схема дробилки с решетом: 1 – основное решето; β – угол установки решета;

R – радиус установки решета

Первоначально при угле установки решета β=60° (рис. 2) провели исследование по определению воздействия длины дефлектора L в диапазоне 230...365 мм, при этом радиус установки решета зафиксировали R=285 мм во всех опытах. При указанных параметрах, установленных заранее, провели ряд однофакторных экспериментов. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

Из анализа полученных зависимостей видно, что увеличение длины дефлектора L приводит к повышению пропускной способности Q от 0,28 до 0,63 т/ч, содержания целых зёрен m с 1,2 до 6,5 %, среднего размера частиц $d_{ср}$ от 0,96 до 1,23 мм и уменьшению удельных энергозатрат $Э$ с 4,49 до 2,46 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.).

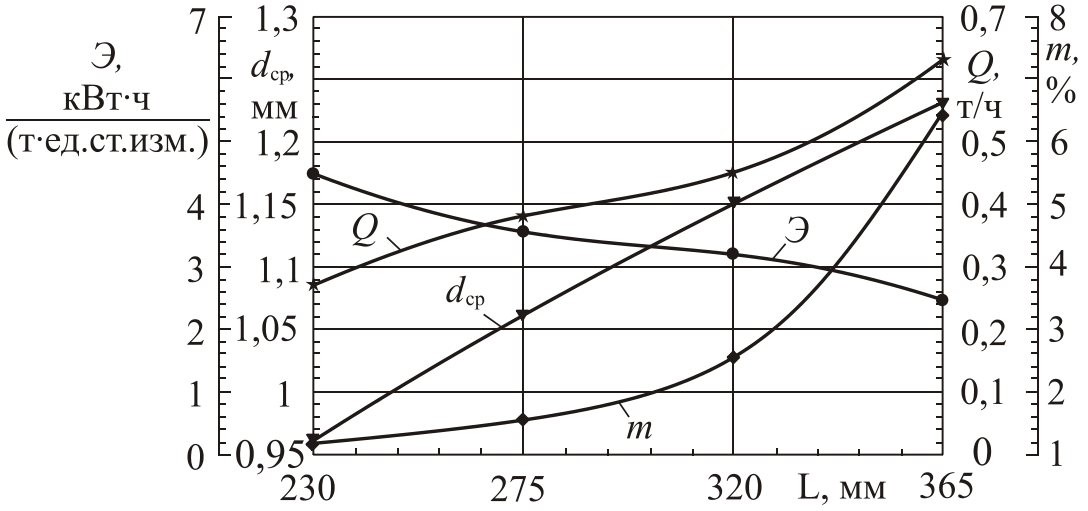


Рисунок 3. Зависимости показателей работы дробилки от длины дефлектора L

В таблице 1 и на рисунке 4 представлены гранулометрический состав полученного продукта и помольные характеристики.

Построенные помольные характеристики крупности (рис. 4) показывают, что при увеличении длины дефлектора возрастает процентное содержание крупной фракции размером 1,5...2,0 мм от 9,66 до 41,11 %. Одновременно снижается содержание тонкой фракции с 22,54 до 12,42 %, частиц размером 0,224...1,0 мм от 17,42 до 8,99 %, среднего размера частиц 1,0...1,5 мм с 27,08 до 17,24 %.

Таблица 1

Гранулометрический состав готового продукта при изменении длины дефлектора L

Размер частиц, мм	Длина дефлектора L, мм							
	230		275		320		365	
	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %
до 0,244	22,54	22,54	19,58	19,58	16,80	16,80	12,42	12,42
0,244...0,5	17,42	39,96	14,88	34,45	14,36	31,15	10,92	23,34
0,5...1,0	16,19	56,16	14,40	48,85	12,60	43,75	8,99	32,33
1,0...1,5	27,08	83,24	25,72	74,57	20,90	64,65	17,24	49,57
1,5...2,0	9,66	92,90	17,95	92,51	27,54	92,19	41,11	90,69
2,0...3,0	6,63	99,53	6,72	99,23	6,84	99,02	7,49	98,18
3,0...4,0	0,47	100,00	0,77	100,00	0,98	100,00	1,82	100,00

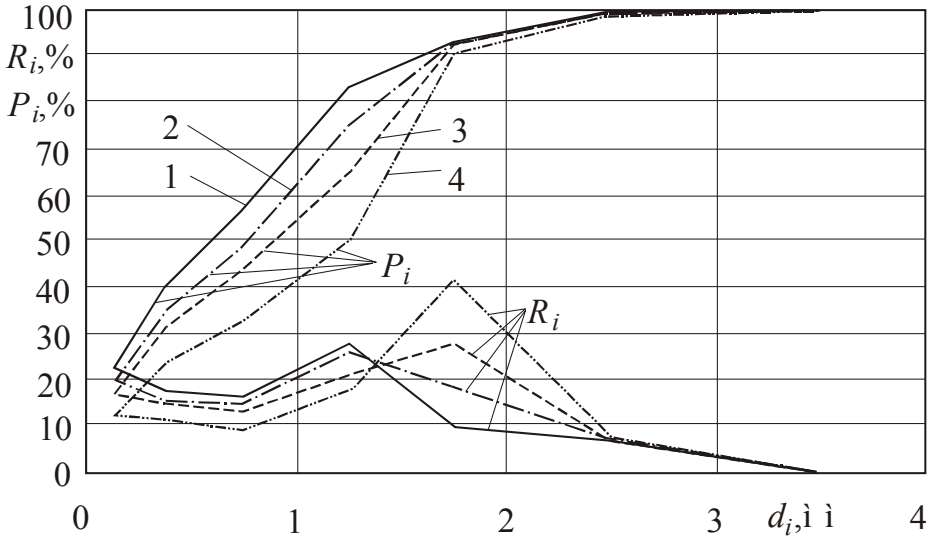


Рисунок 4. Помольные характеристики крупности при длине дефлектора L:
1 - 230 мм; 2 - 275 мм; 3 - 320 мм; 4 - 365 мм

Последующий этап экспериментов заключался в определении влияния угла установки решета β (рис. 2). Величину угла β изменяли в интервале от 15 до 60° с шагом 15°, установив при этом для исследований длину дефлектора L величиной 365 мм.

В результате получены зависимости показателей работы: средний размер частиц готового продукта $d_{ср}$, пропускная способность Q, удельные энергозатраты Э, содержание в готовом продукте целых зёрен m от угла установки решета β (рис. 5).

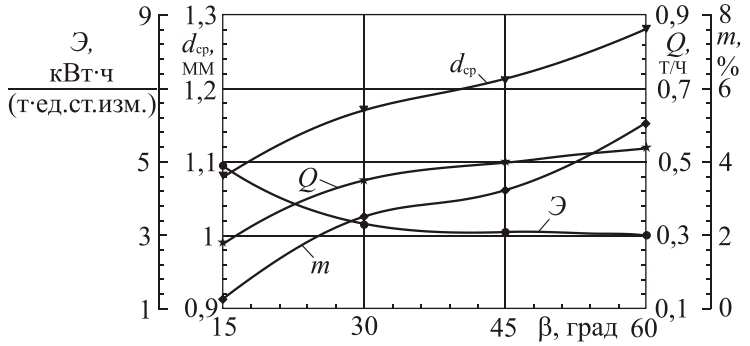


Рисунок 5. Зависимости показателей работы дробилки от изменения угла установки решета β

Проанализировав зависимости, пришли к выводу, что с увеличением угла β с 15 до 60° также растёт пропускная способность Q от 0,28 до 0,54 т/ч, средний размер частиц $d_{ср}$ с 1,08 до 1,28 мм; содержание целых зёрен m с 0,27 % до 5,1 %. Это можно объяснить воздействием установки основного решета на передвижение потока воздуха в камере дробилки.

При снижении угла установки основного решета β измельчённая фракция направляется на повторное измельчение, повышая тем самым удельные энергозатраты Э с 3,05 до 4,89 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.) [Турубанов, с. 146], на рисунке 6 и в таблице 2 приведены характеристики помола и гранулометрический состав.

Полученные результаты позволили сделать вывод (рис. 6) о том, что с повышением угла установки основного решета происходит также и повышение доли крупной фракции с 21,55 до 41,30 %, снижению мучной части с 19,09 до 11,95 %, средний же размер частиц (1,0 мм) располагается в диапазоне 13,0...18,0 %.

Таблица 2

Гранулометрический состав готового продукта при изменении угла установки решета β

Размер частиц, мм	Угол установки решета β, град.							
	15		30		45		60	
	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %	P_i, %	R_i, %
до 0,224	19,09	19,09	16,80	16,80	15,12	15,12	11,95	11,95
0,224...0,5	16,35	35,44	14,36	31,15	12,94	28,06	11,64	23,58
0,5...1,0	14,27	49,72	12,60	43,75	10,25	38,31	8,44	32,03
1,0...1,5	21,83	71,55	20,90	64,65	20,30	58,61	17,30	49,33
1,5...2,0	21,55	93,10	27,54	92,19	32,84	91,44	41,30	90,63
2,0...3,0	6,62	99,72	6,84	99,02	6,97	98,41	7,21	97,84
3,0...4,0	0,28	100,00	0,98	100,00	1,59	100,00	2,16	100,00

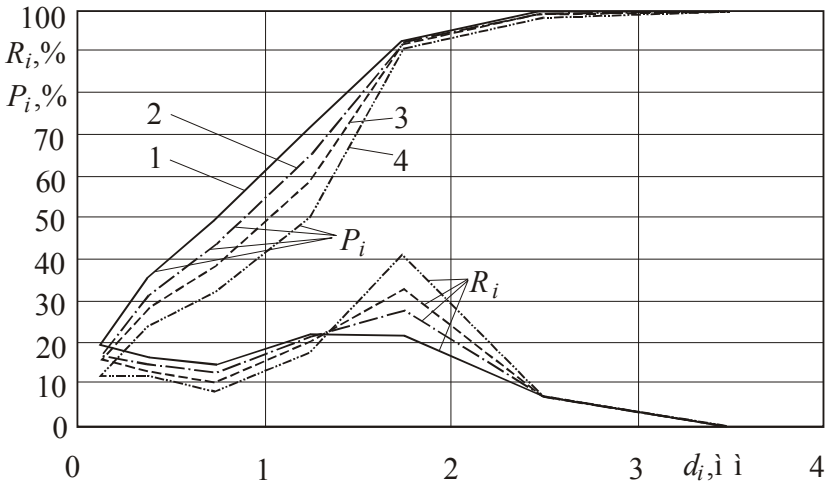


Рисунок 6. Помольные характеристики крупности при угле установки решета β:

1 - 15°; 2 - 30°; 3 -45°; 4 - 60°

В ходе исследований вместе с основным решетом также использовано дополнительное решето с отверстиями различного диаметра (рис. 7). Оно устанавливалось в корпусе шнека в области дефлектора. Для исключения забивания частицами зерна поверхности дополнительного решета 4 на витках шнека зафиксированы чистики 3.

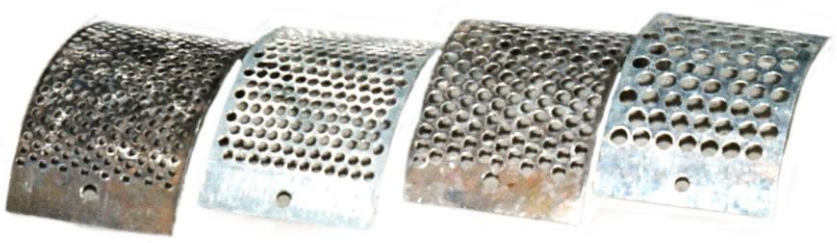


Рисунок 7. Дополнительные решёта

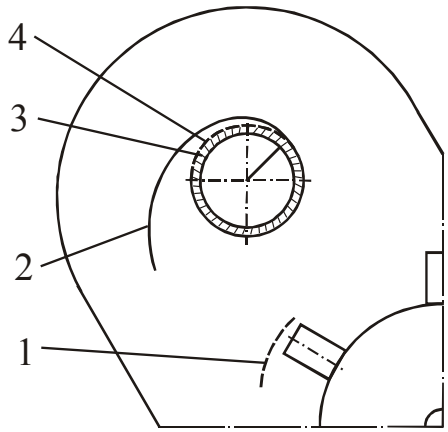


Рисунок 8. Установка дополнительного решета: 1 - основное решето; 2 дефлектор; 3 - чистики; 4 - дополнительное решето

В процессе исследований при различных схемах установки основного 1 и дополнительного решёт 4 (рис. 8) итог получается один, то есть происходит забивание измельчённой фракцией в междефлекторной 2 и решетной 4 области.

Заключение:

1. Включение основного решета в межпространственную зону ротора и шнека позволило получить соответствующий требованиям ГОСТ конечный продукт

2. Угол установки основного решета и длина дефлектора оказывают в целом схожее влияние на состав измельчённого материала.

3. В ходе исследований установлен рациональный интервал угла установки β основного решета в диапазоне 45...60°.

Список литературы

1. Сыроватка В.И. Основные закономерности процесса измельчения зерна в молотковой дробилке. Электрификация сельского хозяйства: Тр. ВИЭСХ. Т. 14. М.: Колос, 1964. С. 89 – 145.

2. Медведев О.Ю. Экспериментальные исследования угла разворота дефлектора в обводном канале дробилки. ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ. (НПК – 2016) [Электронный ресурс]: всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2016. С. 888-892.

3. Обоснование параметров и режимов работы устройства для фракционирования и очистки зернового вороха перед плющением: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Исупов Алексей Юрьевич; Киров, 2013. 20 с.

4. Турубанов Н.В., Медведев О.Ю. Исследования формы дробильной камеры // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Межвузов. сб. науч. тр. Киров: Вятская ГСХА, 2005. Вып. 5. С. 145-148.

Безопасность труда при прохождении студентами производственной практики

Михайловская С.А[a], Митенёв Ю.Н[b].
старший преподаватель кафедры ПромБИС[a]
кандидат с.-х наук, доцент кафедры ПромБИС[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a,b]
E-mail: usr000847@vyatsuu.ru[a], usr10453@vyatsuu.ru[b]

Аннотация: В статье показа роль производственной практики в учебном процессе высшей школы и её основные задачи, а также должностные лица, ответственные за организацию и проведение производственной практики на предприятиях и в университете. Идентифицированы опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на студентов-практикантов. Указаны наиболее распространенные группы несчастных случаев во время прохождения студентами производственной практики и причины их возникновения. Представлены примеры несчастных случаев, происшедшими со студентами-практикантами, вследствие нарушений правил внутреннего трудового распорядка и требований по охране труда. Рассмотрена роль качественного инструктажа по охране труда со студентами-практикантами, проводимых ответственными за производственную практику как со стороны представителей вуза, так и со стороны линейных руководителей предприятий. Выделены основные меры безопасности при организации трудовой деятельности учащейся молодежи в целях предотвращения несчастных случаев.

Ключевые слова*:* производственная практика, инструктаж по охране труда.

«Везде, где есть жизнь, есть и опасность» [Ральф Уолдо Эмерсон, с. 5]. Действительно, где есть жизнь, происходят несчастные случаи, отравления, травмы. Они неискоренимы и являются социальными явлениями во все времена и среди всех народов мира, независимо от социального положения граждан и политического строя в мире.

Статистические сведения по всем странам мира по этому явлению настолько велики, что они уже не воспринимаются сознанием, потому что не существует такого «динамометра», по которому можно измерить физические и духовные страдания человека. Да, можно по коэффициенту частоты несчастных случаев сравнивать, в каком вузе их больше, в каком-меньше, но невозможно устранить их полностью.

Согласно Федеральному закону №273—ФЗ «Организация, осуществляющая образовательную деятельность, обязана создавать условия, гарантирующая охрану здоровья обучающихся и несет ответственность за их жизнь и здоровье во время образовательного процесса. Ответственность за создание условий, гарантирующих охрану здоровья обучающихся во время образовательного процесса, *несет руководитель организации, осуществляющий образовательную деятельность*» [ФЗ № 273, статья 51, пункт 8].

Важнейшим элементом учебного процесса высшей школы, обеспечивающим её связь с современным уровнем производства, является производственная практика.

Практика обучающихся является составной частью профессиональных учебных программ подготовки специалистов. Проводится в соответствующих организациях и направлена на закрепление знаний, полученных в процессе обучения, приобретение практических навыков и освоение передового опыта, необходимых для получения квалификации итоговой аттестации учащегося, как будущего специалиста [Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 №1383, пункт 4]. Виды, сроки и содержание профессиональной практики определяются рабочими программами и рабочими учебными планами, разработанными для каждой специальности. В каждой из них указывается перечень рабочих мест, на которых проходят практику студенты. На каждое рабочее место разрабатывается программа инструктажа по охране труда, в её состав включаются инструкции и информационные материалы по охране труда. Студенты вузов проходят производственную практику в режиме реальной рабочей деятельности.

Основными видами практики высших учебных заведений, обучающихся по основным образовательным программам высшего профессионального образования, являются: учебная и производственная практики, включая преддипломную практику.

Вопросы организации прохождения практики учащимися высших учебных заведений регламентирует «Положение о практике обучающихся», осваи-

вающих основные профессиональные программы высшего образования [Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 №1383, пункт 6].

Производственную практику студентов проводит организация, с которой учебное заведение заключило договор. В организации имеются рабочие места, которые расположены в различных помещениях, на площадках территории проводятся различные работы, эксплуатируется различное оборудование, инструмент, приборы, приспособления.

Специалисты организации обучают практикантов, контролируют соблюдение ими доведенных до их сведения инструкций по охране труда, накладывают на практикантов дисциплинарные взыскания, а когда с практикантами произошел несчастный случай, то спасают их, оказывают им первую помощь, отправляют их в лечебное учреждение, создают комиссию по расследованию несчастного случая, регистрируют несчастный случай и т.д.

Руководители практики от высших учебных заведений несут ответственность совместно с руководителем практики от организации за соблюдением студентами правил техники безопасности [Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 №1383, пункт 13].

Поскольку инициатива проведения производственной практики идет от вуза, последний обязан взять на себя обучение студентов безопасности при передвижении их пешком в населенных пунктах и вне их, на транспорте (железнодорожном, автомобильном) при следовании к месту прохождения производственной практики, а не давать указания, чтобы студенты самостоятельно изучили документы, регламентирующие эти вопросы. Во многих случаях место прохождения производственной практики может находиться в другом, неизвестном для студентов районе города, за городом, в другом населенном пункте. Нередки случаи, когда студенты при передвижении пешком и на транспорте к месту прохождения производственной практики *травмируются*, *подвергаются насилию.* В связи с этим *служба охраны труда вуза обязана разработать инструкции по безопасности* и провести со студентами соответствующий инструктаж.

Как показывает анализ травматизма, одними из самых травмоопасных в вузах являются кафедры физического воспитания, химии и те кафедры, где обучающиеся проходят производственную практику на предприятиях, практические занятия в полевых условиях. Несчастные случаи с учащимися происходят во всех учебных заведениях и во всех возрастных группах [Приказ Минобрнауки России от 27.06.2017№ 602, пункт 11].

Приказом Минобрнауки России от 27.06.2017 № 602 утвержден Порядок расследования и учета несчастных случаев с обучающимися во время пребывания в организации, осуществляющей образовательную деятельность [Приказ Минобрнауки России от 27.06.2017№ 602, пункт 13].

«Расследованию и учету подлежат несчастные случаи, повлекшие за собой временную или стойкую утрату трудоспособности, здоровья в соответствии с медицинским заключением и, как следствие, освобождение от занятий не менее чем на один день, либо смерть обучающегося, если указанные несчастные случаи произошли, в частности: при прохождении обучающимися образовательной организации учебной или производственной практики, сельскохозяйственных работ, общественно-полезного труда и выполнении работы под руководством и контролем представителей организации» [Приказ Минобрнауки России от 27.06.2017№ 602, пункт 21].

Наиболее распространенными несчастными случаями, приводящими к увечьям обучающихся во время прохождения практики, являются: ушибы, растяжения, вывихи; ожоги; падения с высоты; отравления; поражения электрическим током; несоблюдение правил дорожного движения (переход дороги в неустановленных местах и через автодорогу перед движущимся транспортом).

Возникновению несчастных случаев способствуют: психологические особенности обучающихся; большая подвижность, любознательность, эмоциональность, недостаток жизненного опыта, отсутствие чувства усталости;

наличие отрицательных эмоций (страх, тревога, скука), усталость, болезненное состояние; употребление лекарств, алкоголя, потеря ориентации, состояние апатии, безразличия.

С учетом указанных причин одним из направлений по предупреждению травматизма является *систематическое обучение студентов навыкам здорового образа жизни*, которое заключается, прежде всего, в проведении инструктажей с обучающимися во время пребывания на объектах, территории университета, учебной и производственной практик.

Обучение безопасности труда направлено на формирование, закрепление и развитие знаний, умений, мотиваций и навыков безопасного поведения, выполнения трудовых операций и (или) управления обеспечением безопасности других лиц в процессе трудовой деятельности.

Безопасность обучающихся является важной и необходимой составляющей частью образовательного процесса

Огромное число травм и заболеваний, происходящих с работающими, в том числе со студентами-практикантами, по причинам, связанным с их трудовой деятельностью, является обучение вопросам безопасности труда в сочетании с внутренней мотивацией работающих на строгое соблюдение требований безопасности.

Основное обучение студентов безопасности труда проводится на местах производства.

Согласно ч.2. ст. 225 ТК РФ для всех поступающих на работу лиц, связанных с их трудовой деятельностью (включая и тех, кто проходит производственную практику) работодатель или уполномоченное им лицо обязаны проводить инструктаж по охране труда, организовывать обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказания первой помощи, что является обоснованным, с целью предотвращения несчастных случаев на производстве [ТК РФ, ФЗ № 197, ч. 2, ст.225].

Вуз не имеет юридического права разрабатывать требования охраны труда при прохождении производственной практики студентами на предприятии. Их *разрабатывает предприятие*.

Работа студентов при прохождении производственной практики может сопровождаться наличием следующих опасных и вредных факторов: повышен-

ная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте; отсутствие или недостаток естественного освещения; работа на персональных компьютерах (ограничение двигательной активности, монотонность и значительное зрительное напряжение); работа с электроприборами (приборы освещения, бытовая техника, принтер, сканер); повышенное значение напряжения в электрической цепи; неудовлетворительное состояние дорожного покрытия (гололед, неровности дороги).

Одним из направлений по предупреждению травматизма среди обучающихся является *систематическое обучение навыкам здорового образа жизни*, которое заключается в проведении инструктажей с обучающимися, о правилах и мерах поведения во время пребывания на объектах, территории университета, учебной и производственной практик.

Инструктаж студентов является важнейшим мероприятием по управлению производственной практикой, от качества проведения которого во многом зависит качество практики в целом, отношение студентов к практике на предприятиях, учебная и производственная дисциплина [ГОСТ 12.0.004-2015, пункт 4.4].

По прибытию в организацию с практикантами проводят вводный инструктаж. Студентов знакомят с возможными опасностями, причинами несчастных случаев и мерами по их предупреждению, а также с характерными причинами и мерами по предотвращению аварий и пожаров на объекте практики, со способами использования имеющихся средств пожаротушения и противоаварийной защиты, а также местами их расположения.

Студенты знакомятся с правилами внутреннего распорядка и ответственностью за их нарушение. При невыполнении требований студентами правил внутреннего распорядка и (или) иных требований охраны труда, а также распоряжений руководителя практики, администрация организации имеет право в одностороннем порядке прервать договор, уведомив об этом ректора учебного заведения [Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 №1383, пункт 34].

Пример, на комбинат под руководством преподавателя приехала группа студентов кафедры «Подъёмно-транспортные машины». Был проведен вводный инструктаж и группа перешла в арматурный цех, где для учебных целей был выделен мостовой кран. Студентам было запрещено самостоятельно передвигаться по цеху, они стояли и записывали объяснения преподавателя. Один из студентов, отошел от группы, прошел по цеху несколько метров, что-то бросил - и раздался оглушительный взрыв. Все рабочие прекратили работу. План выпуска продукции был сорван. Начальник цеха немедленно доложил директору об инциденте. В ходе расследования на комбинате было установлено: студент (любитель пиротехники) изготовил взрывпакет и взорвал его в цехе. После этого случая директор аннулировал договор с учебным заведением о предоставлении базы для прохождения студентам практики на комбинате [Дейнега, с. 10].

После прохождения вводного инструктаж по охране труда студент совместно с руководителем практики (от организации) определяет свое рабочее место и проходит первичный инструктаж. Рабочее место практиканта должно соответствовать требованиям охраны труда, пожарной безопасности и санитарным нормам. При невыполнении требований охраны труда на рабочих местах по вине администрации студент может отказаться от прохождения практики в данной организации [Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 №1383, пункт 37].

При проведении первичного инструктажа и проверке знаний основное внимание следует уделять *опасным моментам в работе*, умению пользоваться средствами индивидуальной защиты, первичными средствами пожаротушения, а также оказанию первой медицинской помощи.

Молодые люди, приходя на производство, не имеют достаточного трудового опыта, в большинстве случаев не обучались безопасным методам работы, не знают специфики производства, а в силу юношеского максимализма не обращают внимание на предостерегающие, например, на производственном участке или на строительной площадке опасности. Это приводит к печальным последствиям, как, например, в описанной ситуации: «В октябре 2012 г. в Ар-

хангельской области возбуждено уголовное дело в отношении сотрудника ОАО «Н», подозреваемого в нарушении правил и норм по охране труда. По заданию руководителя практики сварщик-практикант проводил сварку отвала для грейдера, который был установлен с нарушением на подручные деревянные опоры. При извлечении куска арматуры из-под деревянной опоры отвал от грейдера с неё сорвался. В результате практикант получил перелом обеих костей правого предплечья и другие, которые в совокупности расцениваются как тяжкий вред здоровью» [Информационное письмо № 02-15/273, с. 1]. В свою очередь, многие линейные руководители также *не имеют надлежащих знаний в вопросе обеспечения безопасных условий труда для учащейся молодежи*. Не осознают, что данная категория работников подвержена повышенному риску травмирования, вследствие перечисленных выше причин, так как не чувствуют особой ответственности за безопасную адаптацию к процессу производства принятых на практику лиц.

Все без исключения работающие на предприятии и организации, в том числе студенты-практиканты должны хорошо знать и выполнять правила и инструкции по технике безопасности, противопожарной технике, промышленной санитарии и гигиене труда.

Продолжительность рабочего времени при прохождении практики не может превышать 40 часов при пятидневной рабочей неделе с двумя выходными.

Запрещается переносить тяжести сверх установленной нормы для мужчин -30 кг, для женщин 10 кг.

Во избежание травм практикант обязан обращать внимание на знаки безопасности и надписи установленного содержания, которыми обозначаются опасные зоны.

При обнаружении опасности студентам–практикантам необходимо предупредить о ней окружающих и администрацию организации. При несчастном случае, студент должен обратиться в медицинский пункт для получения первой помощи и сообщить об этом руководителю предприятия. Обучение студентов-

практикантов безопасным приемам работ, а также систематический инструктаж способствуют предупреждению аварий и несчастных случаев.

В заключении обобщим основные меры безопасности при организации трудовой деятельности молодежи, которыми являются: предварительное обучение молодых лиц профессиям и видам работ, которые им предстоит выполнять, с разъяснением основ законодательства об охране труда; проведение медицинского осмотра с подтверждением отсутствия противопоказаний к выполнению предстоящей работы; разъяснение молодым людям обязанностей работающего в области охраны труда, установленных действующими законодательными актами; качественное проведение инструктажа, особенно первичного на рабочем месте; проведение стажировки и проверки знаний по охране труда; закрепление молодых лиц за наиболее квалифицированными и опытными специалистами организации; контроль за выполнением трудящейся молодежи требований норм, правил и инструкций по охране труда; обеспечение специальной одеждой и обувью, коллективными и индивидуальными средствами защиты; контроль организации трудовой деятельности студентов со стороны учреждений образования.

Нужно признать, что *качественное проведение* мер безопасности с обучающимися на производственной практике - явный пример коренного улучшения всей системы управления охраной труда в образовательном учреждении. Позитивные тенденции по проведению мер по безопасности с обучающимися с успехом пробивают себе дорогу среди многих негативных факторов.

Список литературы

1. Ральф Уолдо Эмерсон/Коллекция «Нового Акрополя» -Афоризмы, цитаты, крылатые выражения –www.newacropol.ru>aphorism>emerson.

2. *Федеральный закон* от 29 12. 2012 № 273–ФЗ (ред. от 29.12. 2017) «Об образовании в Российской Федерации».

3. *Приказ Минобрнауки* России от 27.11.2015 №1383 «Об утверждении Положения о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные программы высшего образования».

4. *Трудовой кодекс* Российской Федерации, Федеральный закон № 197-ФЗ от 31 декабря 2001г.

5. *ГОСТ* 12.0.004-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения, который вступил в действие 1 марта 2017г.

6. *Приказ Минобрнауки России* от 27.06.2017№ 602 «Об утверждении Порядка расследования и учета несчастных случаев с обучающимися во время пребывания в организации, осуществляющих образовательную деятельность» (вступил в силу 13.10.2017).

7. *Статья из журнала*-один автор: В.И. Дейнега Система управления охраной труда в высшей школе//*Ежемесячный производственно-технический журнал «*Библиотека инженера по охране труда».2014. №12 стр.10.

8. *Информационное письмо* Департамента государственной инспекции труда и соц. защиты РФ от 03.06. 2013 № 02-15/273.

О разработке установки для гидропневматической промывки систем теплопотребления

Мицкевич А.А.
старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация
E-mail: amickevich@yandex.ru

Аннотация: Вода, получаемая из природных источников и используемая в качестве теплоносителя, содержит различные примеси. При работе теплообменного оборудования примеси выделяются в твердую фазу в виде накипных отложений на внутренних поверхностях местных систем теплопотребления. В результате происходит изменение проходных сечений, ухудшение циркуляции, теплопередачи, и в итоге снижается эффективность работы системы отопления. Для восстановления работоспособности систем теплопотребления рекомендуется их периодическая гидропневматическая промывка после окончания отопительного периода. Гидропневматический способ представляет собой промывку системы водовоздушной смесью. Метод гидропневматической промывки системы отопления даёт хороший результат при минимальных затратах. При анализе имеющегося на рынке оборудования для гидропневматической промывки был выявлен ряд недостатков у предлагаемых установок. В результате разработана установка УГП-МИКС для проведения гидропневматической промывки. Установка проста в эксплуатации, удовлетворяет условию безопасности для эксплуатирующего персонала.

Ключевые слова: накипные отложения, шлам, компрессор, гидропневматическая установка, модуль управления.

Введение.

Основным теплоносителем в системах теплоснабжения является пресная вода, получаемая из природных источников, которая содержит различные примеси – от растворенных минеральных солей до органических соединений. В процессе работы теплообменного оборудования примеси выделяются в твердую фазу в виде накипных отложений непосредственно на поверхности и в виде шлама. Несмотря на то, что перед подачей в местные системы потребления теплоты вода, как правило, проходит предварительную обработку, со временем происходит изменение проходных сечений системы отопления за счет накипи и шлама, так как мероприятия по водоподготовке не обеспечивают полной защиты от отложений.

В результате образования отложений на внутренних поверхностях системы трубопроводов и радиаторов отопления происходит ухудшение циркуляции теплоносителя. Отложения вызывают ухудшение теплопередачи, так как они обладают высоким термическим сопротивлением. В целом снижается эффективность работы системы отопления.

Постановка цели и задач исследования.

Целью данной работы является поиск эффективного способа очистки внутренних поверхностей местных систем теплопотребления от накипных отложений, а также разработка технической установки для проведения промывки.

Задачами данной работы являются:

1) Обзор и анализ применяемых методов очистки оборудования от накипных отложений;

2) Оценка эффективности применяемых методов, изучение эксплуатационных характеристик применяемого оборудования;

3) Разработка простой в эксплуатации установки для промывки систем теплопотребления, её испытания.

Методы исследования.

На данном этапе был проведен аналитический обзор методов очистки оборудования от накипных отложений для систем теплоснабжения и теплопотребления. После обобщения информации предложен эффективный способ решения проблемы накипных отложений. Далее был произведен обзор и анализ имеющегося на рынке оборудования для гидропневматической промывки, выявлены основные недостатки предлагаемых установок. В результате разработана установка УГП-МИКС.

Результаты исследований, их обсуждение.

Для восстановления работоспособности систем отопления требуется проведение периодической промывки. Согласно правилам и нормам технической эксплуатации жилищного фонда: «Промывка систем теплопотребления производится ежегодно после окончания отопительного периода, а также монтажа,

капитального ремонта, текущего ремонта… Подключение систем, не прошедших промывку, не допускается». [Постановление Госстроя России № 170, п. 5.2.10]

Принципиально существует два метода промывки – химический и физический. Для всех применяемых методов обязательными требованиями являются: полное удаление отложений из системы теплопотребления и сохранение целостности конструкций. Кроме того, должно выполняться условие безопасности для персонала и потребителей теплоты.

Согласно правилам технической эксплуатации тепловых энергоустановок обязательной является ежегодная гидропневматическая промывка систем отопления после отопительного периода с соблюдением следующих условий: «При проведении гидропневматической промывки расход водовоздушной смеси не должен превышать 3-5-кратного расчетного расхода теплоносителя. Для промывки систем используется водопроводная или техническая вода». [Приказ Минэнерго России № 115, п. 9.2.9]

Гидропневматический способ представляет собой промывку системы водовоздушной смесью, которая может быть получена в результате барботажа водопроводной или технической воды сжатым воздухом. В результате создается высокая турбулентность движения. При прохождении такой смеси по трубам происходит взрыхление внутренних отложений, которые затем выносятся потоком воды за пределы промываемой системы отопления. Загрязненная в процессе промывки вода может сливаться в канализацию, либо специальную дренажную емкость. Промывку проводят до полного осветления воды.

На данный момент на рынке представлено следующее оборудование для гидропневматической промывки: установка Ropuls ROTHENBERGER, Германия; гидропневматическая установка УГП-ЭНЕРГО, г. Санкт-Петербург, установка комплексной очистки «Буча», г. Новосибирск. При анализе представленного оборудования выявлены основные недостатки, разработана совместно с инженерами ООО «Ами-энерго» установка УГП-МИКС для гидропневматической промывки систем теплопотребления.

Внешний вид установки УГП-МИКС представлен на Рис. 1. Установка проста в эксплуатации и удовлетворяет условию безопасности для персонала. Установка состоит из двух частей:

1) кейс, в котором находятся: модуль гидропневматического смесителя; модуль управления смесителем; блок питания 220/24 В; быстросъемные гидравлические и пневматический соединители;

2) комплект гидравлических шлангов для присоединения к системе водоснабжения и промываемому оборудованию; пневматический шланг для соединения установки с компрессором. Шланги имеют ответные быстросъемные соединители.

Установка дополнительно может комплектоваться компрессором.



Рисунок 1. Установка УГП-МИКС для гидропневматической промывки

Входной патрубок установки шлангом соединяют с краном системы водоснабжения, выходной патрубок установки – со штуцером на входе в систему отопления здания; штуцер на выходе системы отопления здания соединяют шлангом с канализацией. Компрессор пневматическим шлангом соединяют с установкой. Режим подачи воздуха задают переключателем модуля управления установки - циклический (задается время включения и паузы), или постоянный. Промывку проводят в прямом и обратном направлении, заканчивается промывка при осветлении воды, выходящей на слив в канализацию.

Заключение.

Ежегодная промывка оборудования и коммуникаций теплопотребляющих установок прописана как обязательное условие эксплуатации этих систем в нормативных документах, в том числе и в правилах оценки готовности к отопительному сезону. [Приказ Минэнерго России « 103, п. 4.16.2]

При оценке эффективности применяемых методов выявлено, что метод гидропневматической промывки системы отопления даёт хороший результат при минимальных затратах. По результатам обзора рынка применяемого оборудования были выбраны основные принципы, являющиеся основой при разработке установки для промывки систем теплопотребления. В результате разработана установка УГП-МИКС для гидропневматической промывки систем теплопотребления, собран и испытан опытный образец. По результатам проведенных испытаний опытного образца подтверждена работоспособность установки.

Список литературы

1. Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда [Электронный ресурс] : постановление Госстроя России от 27.09.2003 № 170 // Российская газета. 2003. № 214. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

2. Об утверждении правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок [Электронный ресурс] : приказ Минэнерго России от 24.03.2003 № 115 // Российская газета. 2003. № 184. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

3. Об утверждении правил оценки готовности к отопительному сезону [Электронный ресурс] : приказ Минэнерго России от 12.03.2013 № 103 // Российская газета. 2013. № 101. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Оценка возможности применения дозаторов полифосфата натрия для коррекционной обработки воды

Мицкевич А.А.[a], Каргапольцев В.В.[b]
старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики[a]
магистрант кафедры теплотехники и гидравлики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация[a,b]
E-mail: amickevich@yandex.ru[a], vkargapoltsev@mail.ru[b]

Аннотация: Коррозия металла и образование отложений на теплопередающих поверхностях теплообменного оборудования – основные проблемы, которые требуют решения при эксплуатации источников и систем теплоснабжения. Отсутствие грамотной системы водоподготовки, решающей обозначенные проблемы, в конечном счете приводит к снижению срока службы оборудования, снижению энергетической эффективности процессов теплопередачи, увеличению потребления топлива. Кроме того, существует значительная опасность разгерметизации оборудования. Универсальным и простым в применении средством для умягчения воды и ингибирования коррозии является полифосфат натрия. Для пропорционального дозирования полифосфата предложены простые в эксплуатации дозаторы полифосфата натрия, в основе действия которых лежит эффект сопла Вентури. Применение дозаторов полифосфата натрия продлевает срок эксплуатации теплотехнического оборудования, является одним из простых и эффективных способов энергосбережения. Применение полифосфата натрия продлевает срок эксплуатации котлов, препятствует снижению пропускной способности трубопроводов, предотвращает забивание продуктами коррозии и различного типа отложениями радиаторов отопления местных систем теплопотребления.

Ключевые слова: коррозия, накипные отложения, пропорциональное дозирование, сопло Вентури.

Введение.

Растворенные в воде вещества вызывают те или иные неполадки в работе теплообменного оборудования. В основном это связано с коррозией и образованием накипных отложений на поверхностях оборудования и трубопроводов.

Образующиеся накипные отложения значительно снижают теплопроизводительность теплообменного оборудования вследствие высокого термического сопротивления, увеличивают потери напора в трубах, приводят к аварийным ситуациям. Зависимость потерь топлива от толщины отложений для водогрейного котла показана на Рис. 1.

Применяемые для изготовления теплоэнергетического оборудования металлы и сплавы обладают способностью вступать во взаимодействие с водой, содержащей те или иные коррозионно-агрессивные примеси. В результате происходит коррозионное разрушение металла или сплава вследствие электрохимических и химических процессов, которое обычно начинается с поверхности и более или менее быстро продвигается вглубь. При эксплуатации теплоэнергетического оборудования всегда существуют условия для протекания коррозии, в том числе неоднородность поверхности металла, нарушение кристаллической решетки металла, неравномерность температурного поля, и другие факторы.

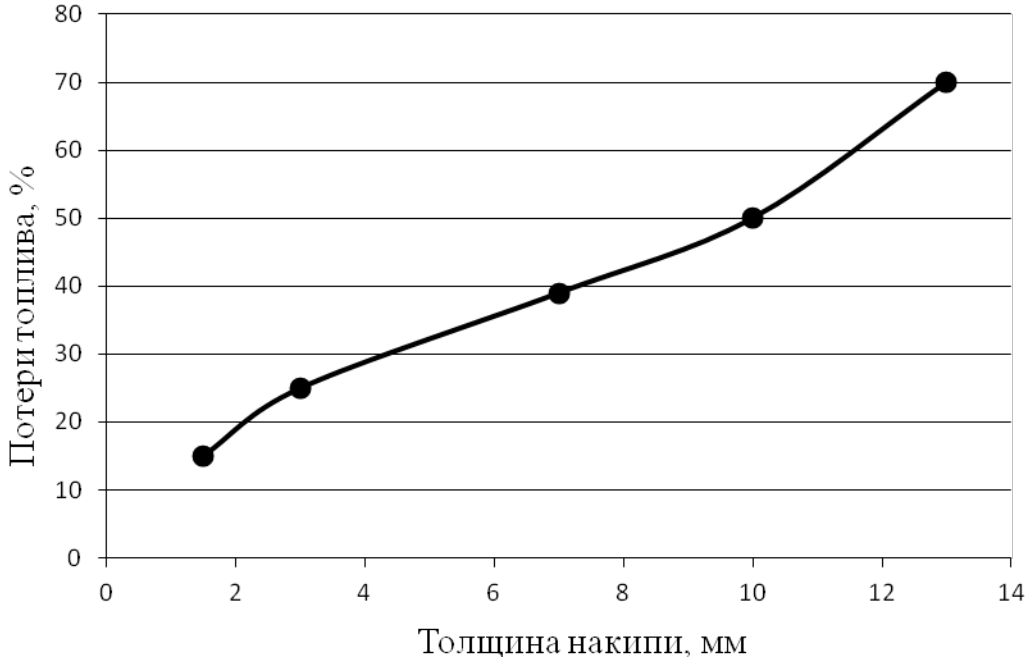


Рисунок 1. Зависимость потерь топлива от толщины отложений

При эксплуатации теплообменного оборудования немалые неприятности также причиняет обогащение воды продуктами коррозии, что может вызывать скопление их в застойных местах или на участках с малыми скоростями движения. Забивание коррозионными отложениями местных систем отопления целиком выводит из работы отдельные приборы и стояки.

Перечисленные факторы приводят к снижению срока службы оборудования, снижению энергетической эффективности процессов теплопередачи, уве-

личению потребления топлива. Кроме того, существует значительная опасность разгерметизации оборудования.

Постановка цели и задач исследования.

Целью данной работы является поиск оптимального варианта решения проблемы отложений на внутренних поверхностях систем теплопотребления и оборудования и проблемы коррозионного разрушения металла для предотвращения аварийных ситуаций для объектов теплоэнергетики малой мощности и систем теплоснабжения.

Задачами данной работы являются:

1) Обзор и анализ применяемых методов водоподготовки для объектов теплоэнергетики малой мощности и систем теплоснабжения;

2) Оценка эффективности применяемых методов, изучение эксплуатационных характеристик применяемого оборудования;

3) Анализ и разработка простого в эксплуатации и эффективного метода водоподготовки, предназначенного для решения двух основных эксплуатационных проблем – накипных отложений и коррозии.

Методы исследования.

Был проведен аналитический обзор технологий водоподготовки, применяемых на объектах малой мощности и для систем теплоснабжения и теплопотребления. При сравнении методов выявлены основные недостатки применяемых технологий водоподготовки. В результате обобщения информации предложен простой в эксплуатации и эффективный способ решения проблемы накипных отложений и коррозионного разрушения металла для объектов малой мощности и систем теплоснабжения.

Результаты исследований, их обсуждение.

Наиболее универсальным и простым в применении средством для умягчения воды и ингибирования коррозии является полифосфат натрия. Уменьшение отложений при применении полифосфата натрия достигается за счет его способности к образованию хелатов, характеризующихся повышенной устойчивостью в растворах, что обеспечивает поддержание твердой фазы солей во

взвешенном состоянии, тем самым предотвращая кристаллизацию малорастворимых солей на поверхности оборудования и трубопроводов. Антикоррозионное действие полифосфата обусловлено образованием на поверхности металла тончайшей защитной пленки. [Феденко, с.29]

Полифосфат натрия не является токсичным, кроме того биологически разлагаем. Для обработки воды технического назначения концентрация натрия полифосфата составляет от 0,5 до 10 мг/л. В отличие от обработки технической воды, для питьевой воды согласно санитарным нормам допускается дозирование полифосфата натрия в количестве не более 3,5 мг/л. [СанПиН 2.1.4.1074-01, п.3.4.2]

Поэтому при применении полифосфата натрия на источниках и в системах теплоснабжения и теплопотребления необходимо выполнение принципа пропорциональности дозирования. Кроме того, должна обеспечиваться требуемая точность дозирования.

Для пропорционального и точного дозирования полифосфата предлагается применение простых в эксплуатации дозаторов полифосфата Рис.2,3.

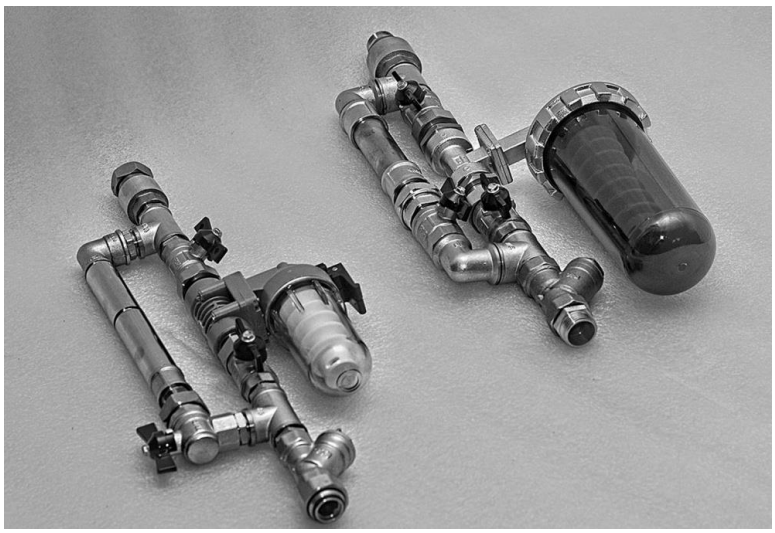


Рисунок 2. Дозатор полифосфата с монтажной сборкой для вертикальной установки

Полифосфатные дозаторы рекомендуется применять при жесткости исходной воды от 4 до 9 мг-экв/л в водогрейных котлах любого типа с расходом подпитки котельной, не превышающим 3 $м^3$/ч.

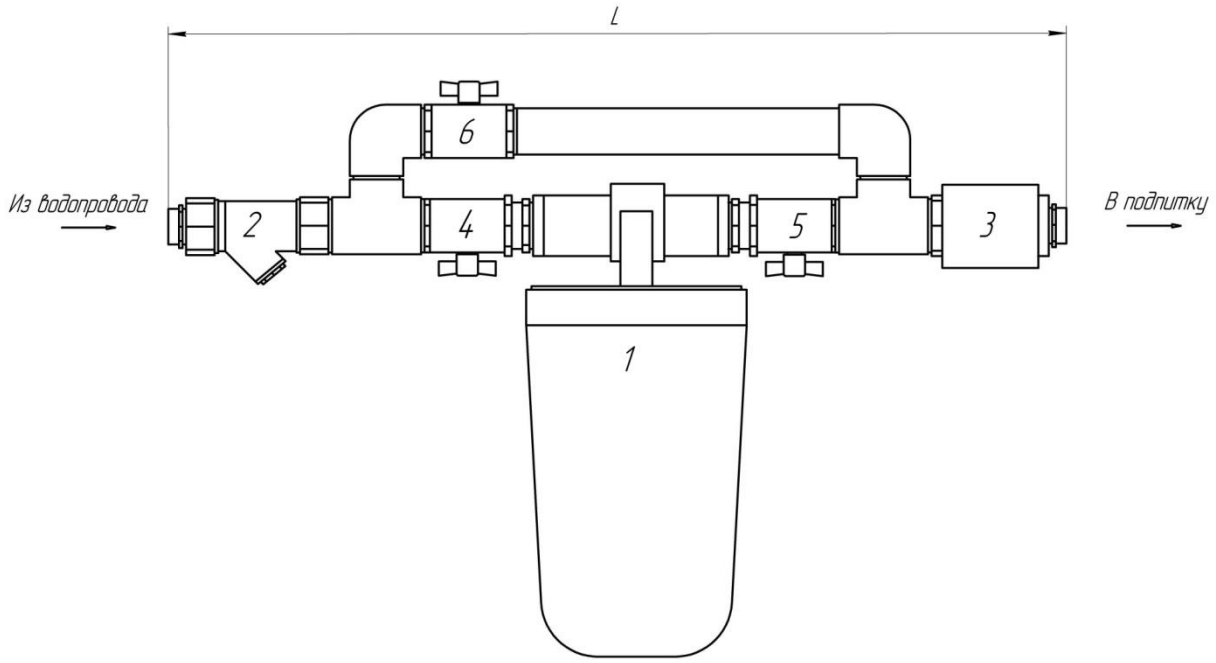


Рисунок 3. Схема горизонтальной установки дозатора:
1 – дозатор полифосфатов колбовый с соплом Вентури; 2 – фильтр; 3 – обратный клапан;
4, 5, 6 – шаровые краны

В основу принципа действия такого дозатора положен эффект сопла Вентури. В процессе эксплуатации происходит подсасывание насыщенного раствора полифосфата из колбы пропорционально потоку воды, протекающему через верхнюю часть дозатора. Дозирование раствора полифосфата происходит автоматически и не требует каких-либо настроек и регулировок. Во время эксплуатации дозатора происходит постепенное растворение засыпанного в него мелкодисперсного полифосфата. Для контроля уровня полифосфата колба дозатора выполнена из прозрачного пластика. По мере растворения полифосфат досыпается без перекрытия трубопровода подпитки.

Основными достоинствами применения таких дозаторов полифосфата для умягчения воды и снижения скорости коррозии металлических поверхностей оборудования являются:

- простота монтажа и обслуживания;
- небольшие габариты дозатора;

- за счет дозирования полифосфата небольшими порциями обеспечивается его экономный расход, тем самым затраты на обслуживание незначительны;
- за счет пропорционального дозирования достигается оптимальная концентрация полифосфата в воде, что не ухудшает качество воды.

Согласно правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации «среднегодовая утечка теплоносителя из водяных тепловых сетей должна быть не более 0,25 % среднегодового объема воды в тепловой сети и присоединенных к ней системах теплопотребления в час независимо от схемы их присоединения…». [Приказ Минэнерго № 229, п. 4.12.30]

Таким образом, полный объём воды, находящейся в системе теплоснабжения, полностью заменяется с определенной периодичностью. На практике фактическая величина утечки, как правило, значительно превышает нормативное значение. Поэтому необходима организация непрерывного дозирования полифосфата натрия на весь срок эксплуатации источника и системы теплоснабжения пропорционально расходу подпиточной воды.

Дозаторы полифосфата натрия могут использоваться и в индивидуальном теплоснабжении частных домов.

Заключение.

В результате обзора и анализа применяемых методов водоподготовки, их оценки, предложен оптимальный вариант технологии водоподготовки для объектов теплоэнергетики малой мощности и систем теплоснабжения и теплопотребления. Применение полифосфата натрия продлевает срок эксплуатации котлов, препятствует снижению пропускной способности трубопроводов, предотвращает забивание продуктами коррозии и различного типа отложениями радиаторов отопления. Простота конструкции и принципа действия не требует от эксплуатирующего дозатор каких-либо специальных навыков и умений. Таким образом, предложенный способ решения двух основных проблем эксплуатации теплотехнического оборудования (коррозии и образования отложе-

ний на стенках теплопередающих поверхностей) является простым в эксплуатации и эффективным.

Список литературы

1. А.Н. Феденко. Применение полифосфата натрия в химводоподготовке: особенности, практика, и экономическая эффективность // Новости теплоснабжения. 2002. № 11. С. 29 – 30.

2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения [Электронный ресурс] : с Изменениями № 3. Прин. 28.06.2010 ; действ. с 01.01.2002. М., 2001. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

3. Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229 // Российская газета. 2003. № 229. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Способы предварительной температурной подготовки дизельного топлива в системе топливоподачи

Мотовилова М.В.
кафедра машин и технологии деревообработки
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: mv_Motovilova@vyatsu.ru

Аннотация: Автомобильный транспорт является одной из важных отраслей в экономике. Применение на автомобильном транспорте двигателя внутреннего сгорания актуально и перспективно. В настоящее время дизельный двигатель является одним из востребованных. Для надежной и эффективной работы дизельного двигателя к топливу предъявляют ряд требований.

Цель - теоретический обзор и определение влияния передачи дополнительного тепла к топливу в системе топливоподачи влияющего на процесс его сгорания в цилиндре.

Произведен теоретический анализ способов предварительного подогрева топлива в системе топливоподачи. Предоставлены преимущества и недостатки способов подогрева. При подогреве топлива давление нарастает постепенно, двигатель работает стабильно, повышается ресурс работы двигателя. Применение такого двигателя в промышленности и народном хозяйстве целесообразно и экономически выгодно.

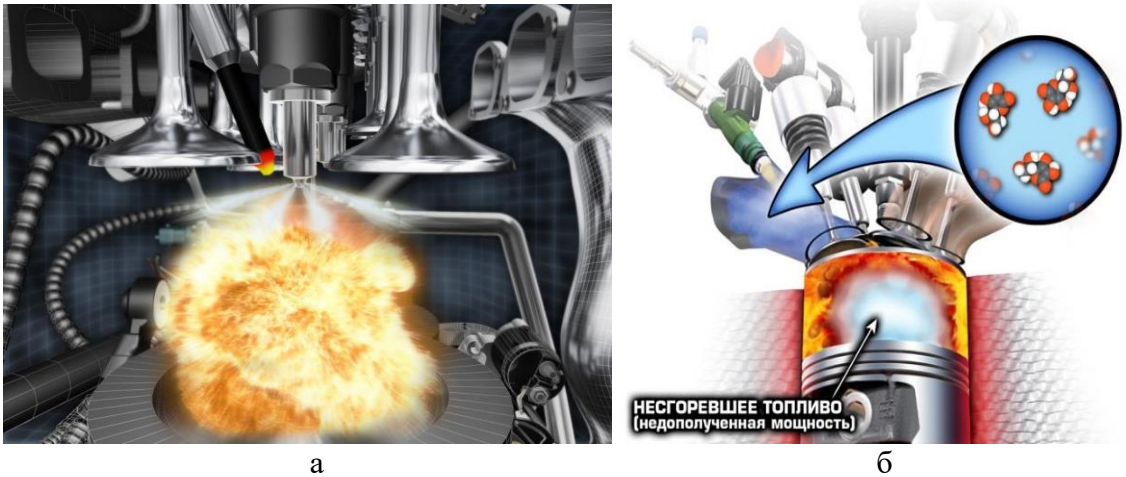
Ключевые слова: дизельное топливо, предварительный подогрев, сгорание, система топливоподачи.

Из разных типов, существующих двс, большое распространение получили двигатели, работающие на дизельном топливе. Во многих отраслях экономики применение дизельного двигателя целесообразно и экономически обосновано. Бесперебойная работа двигателя обеспечивается правильной его эксплуатацией и обслуживанием в течении всего его ресурса [Plotnikov, 2017].

Материалы, которые обеспечивают надежную работу двигателя и выполнение им своих функций – называют эксплуатационными. К основным эксплуатационным материалам относят: топливо, смазочные материалы, технические и специальные жидкости, пластические смазки… Для повышения эффективности работы двигателя, а также улучшения его технических показателей необходимо повышение уровня технической эксплуатации [Плотников, 2011]. Для эффективной работы двигателя к эксплуатационным материалам предъявляются особые требования [Болотов, 2006].

При сгорании топлива в двигателе тепловая энергия преобразуется в механическую. Топливо для тепловых двигателей должно отвечать основным условиям: бесперебойно поступать в цилиндр, полностью испаряться, сгорать с максимальным количеством выделения теплоты и минимальным образованием токсических продуктов в результате сгорания. Для надежной и эффективной работы дизельного двигателя к топливу предъявляют ряд требований в процессе его сгорания.

Процесс сгорания топлива происходит за сотые доли секунды. В течение этого времени топливу необходимо распылиться, прогреться, испариться и перемешаться с подаваемым воздушным потоком, воспламениться и полностью сгореть, с минимальным образованием в отработанных газах токсических веществ (Рис.1, а). На процесс сгорания отрицательно сказываются некоторые факторы: теплопотери в стенках цилиндров, неоднородность состава горючей смеси, время для подготовки смеси к воспламенению (Рис.1, б). Топливо должно сгорать максимально эффективно. Есть необходимость в улучшении свойств топлива при сгорании.



а б

Рисунок 1. Процесс сгорания топлива в цилиндре:
а – процесс распыления топлива; б – не полный процесс сгорания

Задачей исследования (теоретический анализ) - рассмотреть и проанализировать влияние предварительного подогрева топлива по всей системе топливоподачи и сравнить получаемый эффект на процесс сгорания топлива в цилиндре.

Таблица 1

Способ подогрева топлива в системе топливоподачи

№ п/п	Способ подогрева топлива	Получаемый эффект	Влияние на процесс сгорания топлива в цилиндре
1	2	3	4
1	Подогрев топлива в баке, за счет нагревательного элемента, который устанавливается в самом баке. (Патент РФ № RU 691666 U1)	Сокращается время подготовки двигателя к пуску.	Имеются теплопотери при движении топлива в системе топливоподачи. Нагрев топлива не высокий, не оказывает влияние на процесс сгорания.
2	Подогрев топлива в топливопроводе перед ТНВД, за счет устройства с жидким теплоносителем. (Патент РФ № RU 91381 U1)	Снижается вязкость топлива, увеличивается незначительно кпд, улучшаются пусковые свойства двигателя.	Имеются теплопотери при движении топлива в системе топливоподачи. Нагрев топлива не высокий, не оказывает влияние на процесс сгорания.
3	Подогрев топлива в топливопроводе между насосом и фильтром второй ступени, за счет дополнительно устройства (теплообменник).	Уменьшается вязкость топлива, немного снижается расход топлива за счет его объемного расширения.	Применение дополнительного теплоизолирующего материала, для уменьшения теплопотери при движении топлива в системе топливоподачи. Применение дополнительного теплоизолирующего покрытия на фильтре второй ступени для избежания теплопотерь. Нагрев топлива не высокий, не оказывает влияние на процесс сгорания.
4	Подогрев топлива в фильтре тонкой нагревательного элемента (установка непосредственно в фильтр). (Патент РФ № RU 1295664 U1)	Уменьшается вязкость топлива, улучшается проходимость топлива через фильтры топливной системы.	Имеются теплопотери при движении топлива в системе топливоподачи. Нагрев топлива не высокий, не оказывает влияние на процесс сгорания.
5	Подогрев топлива в трубопроводе, за счет теплообменника (с внутренним расположением дополнительных пластин)	Уменьшается вязкость топлива, увеличивается кпд двигателя.	Имеются теплопотери при движении топлива в системе топливоподачи. Улучшаются условия для испаряемости топлива.
6	Предварительный подогрев топлива после ТНВД	Уменьшается время на прогрев топлива до температуры самовоспламенения.	Самовоспламенение топлива в камере сгорания начинается раньше. Уменьшается период задержки воспламенения.

Для устойчивого равномерного процесса сгорания топлива, желательно увеличить время на сам процесс сгорания, уменьшив время на нагрев топлива в самом цилиндре двигателя.

Для воспламенения топлива в дизельном двигателе необходимо, чтобы температура сжатого воздуха была выше температуры самовоспламенения топлива. Возникает период задержки воспламенения, в связи с процессом нагрева топлива до температуры его самовоспламенения в камере сгорания. Объем смеси, прогревшись, воспламеняется мгновенно, с быстрым нарастанием давления. При поступлении предварительно нагретого топлива процесс горения нарастает более плавно, так как воспламенение идет еще при впрыскивании топлива [Плотников, 2015; Плотников, 2017].

Предварительный прогрев топлива может осуществляться различными способами (Табл.1).

Предварительный подогрев топлива, в системе топливоподачи на разных этапах топливной системы (Табл.1, строки 1-5) не влияет на процесс сгорания, а время на прогрев и испарение топлива в цилиндре не уменьшается. При данном использовании подогрева имеются теплопотери при движении топлива в системе, а также необходимо применение и обслуживание дополнительных устройств для подогрева топлива в системе топливоподачи. Положительный эффект при данном подогреве - снижается вязкость топлива, улучшаются пусковые свойства двигателя.

Для уменьшения периода нагрева топлива до температуры его самовоспламенения в цилиндре, температуру предварительного подогрева следует увеличить и прогрев осуществлять на последнем этапе топливоподачи. Процесс сгорания протекает равномерно, топливо сгорает полностью. Не происходит резкого взрывного горения, давление нарастает постепенно, двигатель работает стабильно, повышается ресурс работы двигателя. Применение такого двигателя в промышленности и народном хозяйстве целесообразно и экономически выгодно. [Плотников, 2015; Плотников, 2017; Плотников, 2014]

Выводы:

1. Предварительный нагрев топлива до 100°С в системе топливоподачи на различных этапах приводит к снижению вязкости топлива и облегчению пуска двигателя, не оказывает влияние на процесс сгорания.

2. При предварительном нагреве топлива до высоких температур и подачи его в цилиндры двигателя - уменьшается время на прогрев топлива до температуры самовоспламенения. За счет этого сокращается период задержки воспламенения.

3. При уменьшении периода задержки воспламенения, период процесса сгорания увеличивается, топливо сгорает с максимальным количеством выделения теплоты и минимальным образованием токсических продуктов в результате сгорания, что ведет к улучшению экологических показателей выхлопных газов.

Список литературы

1. Plotnikov S. A., Kartashevich A. N, Kuimov E. A. Development of diesel-engine bio-fuel supply-line components and systems. //Procedia Engineering, 206 (2017). - P. 1648-1653.

2. Плотников С. А. Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования топливоподающей аппаратуры. //Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Нижний Новгород: НГТУ, 2011. – 40 с.

3. Болотов А. К., Лопарев А. А., Судницын В. И. Конструкция тракторов и автомобилей. М.: Машиностроение, 2006. 304 с.

4. Плотников, С. А., Бузиков Ш. В., Атаманюк В. Ф. Исследование показателей работы дизеля с термофорсированием // Журнал Вестник Марийского государственного университета. 2015. С 39-43.

5. Плотников, С. А., Бузиков Ш. В., Бирюков А. Л. Анализ процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля с предварительной термической подготовкой топлива. // Молочнохозяйственный вестник. 2017. №3 (27). С. 114-124.

6. Плотников, С. А., Бузиков Ш. В., Атаманюк В. Ф. Исследование процесса сгорания и тепловыделения дизеля с термофорсированием // Журнал Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 7. С. 25-27.

Подготовка и публикация электронных изданий

Мякишев С. Л.
кандидат педагогических наук, доцент кафедры технологии и дизайна
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: s.l.myakishev@gmail.com

Аннотация: Начинающие авторы часто встречаются с проблемой публикации своих произведений. В какое издательство обратиться, как правильно оформить издание, сколько это будет стоить? Автор, желающий заявить о себе, обычно ориентируется на всем известные книжные и журнальные издательства. Но в массовую прессу трудно пробиться, поэтому молодые авторы все чаще выбирают доступные электронные сервисы по публикации и размещению электронных книг и статей. В данной статье проводится обзор технологий подготовки электронных изданий и вариантов их публикации. Рассмотрены наиболее распространенные форматы электронных изданий PDF, HTML, ePub, FB2 и программное обеспечение для реализации изданий в данных форматах. Описаны онлайн-сервисы по подготовке и публикации изданий – интернет-издательства «ЛитРес», «Электробук.Ру» и «Ridero».

Ключевые слова: интернет-издательство, формат электронного издания, электронная публикация.

Электронная публикация стала популярной за последние десять лет, автор получил независимый от традиционных издательств информационный канал. Это могут быть публикации на форумах, в социальных сетях, на персональных сайтах, в специализированных сетевых издательствах. Как правило, электронное издание можно будет читать при помощи компьютера или специальных устройств для чтения, получивших название электронных книг или ридеров.

Алгоритм рассмотрения рукописей в традиционном издательстве следующий – регистрация материалов, рецензирование, чтение материалов редактором и, в случае положительного решения, – заключение договора. Затем начинаются технические процедуры – редактирование, корректура, выбор дизайна и верстка. Немаловажную роль играют маркетинговые работы, реклама и презентация издания, а также практическая реализация в типографии. Все эти процедуры составляют бизнес-процесс, в котором главная задача – получение прибыли. Статистика продаж бумажных изданий показывает, что прибыльными

становятся только 20% изданий, а издательство заинтересовано в росте продаж. По этой причине попасть в традиционный процесс начинающим авторам очень трудно, очевидным выходом из создавшейся ситуации становится публикация электронного издания.

При электронной публикации автор может выбрать самостоятельный вариант, когда все процедуры он выполняет сам, или же автор может обратиться в электронное издательство. Рассмотрим вариант самостоятельной публикации.

Когда автор самостоятельно подготавливает издание, он же является и редактором, и корректором, может быть художником, дизайнером, маркетологом. Первым делом необходимо выверить текст, исправить стилистические, орфографические, грамматические и другие ошибки. Оформление должно быть приведено к стандартному виду, текст должен быть удобочитаемым, содержать оглавление, заголовки, нумерацию страниц, колонтитулы и авторские данные. В тексте необходимо правильно разместить иллюстративный материал и разработать обложку издания. Обложка и название в дальнейшем станут инструментами продвижения издания.

Выполняя первичную работу по подготовке издания, авторы используют традиционные текстовые редакторы и форматы файлов. Например, редактор Microsoft Word и формат docx или редактор OpenOffice Writer и формат odt. Чуть реже авторы используют программы верстки, такие, как Adobe InDesign или QuarkXPress, и их бесплатные аналоги – Scribus, LaTeX и другие. Для работы с иллюстративным материалом обычно применяются графические редакторы Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDraw и их бесплатные аналоги GIMP, Inkscape и другие. Кроме того, автор имеет возможность разместить в своем издании анимацию, видео и звук, настроить переходы по гиперссылкам, предусмотреть установку пароля, например, при помощи программы eBook Maestro, предназначенной для создания интерактивных книг.

После подготовки макета автору необходимо выбрать формат будущего издания. Наиболее известными форматами являются PDF, HTML, ePub, FB2 и другие. Перед выбором формата автор должен определиться с тем, на каких

устройствах чаще всего будет открываться его издание и ознакомиться с ними – как выглядят страницы, иллюстрации, какой набор функций имеет устройство, работающее с данным форматом.

Формат PDF (Portable Document Format) разработан компанией Adobe как издательский формат описания страниц на языке PostScript. Он является самым распространенным, издания в этом формате могут быть просмотрены практически на любом устройстве. Перевести издание в этот формат возможно в любом современном текстовом редакторе или издательской системе. Создать и редактировать PDF файлы позволяет программа Adobe Acrobat. Открыть PDF-документ можно будет в текстовом редакторе Microsoft Word и во всех популярных браузерах, например, Google Chrome и Microsoft Edge.

Формат HTML (Hyper Text Markup Language) представляет реализацию электронных документов при помощи языка разметки веб-страниц. Соответственно, он предназначен для размещения изданий в сети Интернет. HTML-документ можно подготовить, используя ручное описание, в простейшем текстовом редакторе, например, в Блокноте, но для этого необходимо знать специальные конструкции языка – теги. Автору, не знакомому с HTML-тегами, помогут специализированные редакторы, такие как Microsoft FrontPage или Adobe Dreamweaver, а также условно бесплатные HotDog компании Sausage Software или Macromedia HomeSite. На основе формата HTML имеется возможность создавать издания в формате исполняемого файла EXE. Для этого потребуется программа-компилятор, например, SunRav BookEditor или бесплатное приложение sBookBuilder.

Формат ePub (Electronic Publication) разработан Международным форумом цифрового издательского дела (форум IDPF) и первоначально был ориентирован на профессиональные издательства. Он позволяет создавать цифровые книги на основе расширяемого языка разметки XML. Формат в первую очередь ориентирован на устройства чтения, такие как Amazon Kindle, Sony Reader, и предназначен для продажи электронного текста. Создать документ в формате ePub можно при помощи текстового редактора Pages для Mac OS. В формат

ePub текст издания можно конвертировать, например, при помощи программы Calibre. Для подготовки более качественных изданий потребуется платное приложение, например, программа-ассистент литератора Scrivener компании Literature and Latte.

Формат FB2 (FictionBook или FeedBook) – формат, распространенный на российском рынке электронных книг, в первую очередь художественных. Он также основан на языке XML и может быть открыт на таких устройствах чтения, как PockedBook. Подготовить издание в этом формате можно при помощи редактора художественных книг Fiction Book Editor.

После того, как файл издания готов, его нужно разместить для опубликования и, если необходимо, для продажи. Обычно авторы продают свои издания через интернет-магазины или через персональные сайты. В сети можно найти большое количество интернет-магазинов, публикующих издания начинающих авторов, например, «litres.ru», предлагающий сервис ЛитРес: Самиздат, который помогает авторам разместить книгу в онлайн-библиотеках и книжных интернет-магазинах. Еще одним известным ресурсом является интернет-магазин и интернет-издательство «Электробук.Ру». Эти сервисы предлагают бесплатные публикации, но авторы будут должны подтвердить свои авторские права и в дальнейшем делиться частью доходов с интернет-издательствами.

В случае самостоятельного распространения издания можно воспользоваться сервисами для торговли, например, Glopar, justclick, info-dvd, предлагающими организовать торговлю через создаваемый сайт. Поддержка и развитие персонального сайт является трудоемким занятием, но позволяет выкладывать только ознакомительную часть текста и осуществлять рассылку полного текста после оплаты. На персональном сайте возможна организация читального зала, когда книга читается только с сайта без скачивания.

Наибольший интерес для авторов могут представлять специализированные сервисы, например, такие как ridero.ru. Ridero предлагает выполнить все процедуры по публикации бесплатно и разместить издание в известных интернет-магазинах Ozon.ru, Amazon, Bookmate и других. Так, например, для реги-

страции на Amazon.com, если автор заинтересован в международных публикациях, он обязательно должен быть резидентом и иметь счет в американском банке. А библиотека Bookmate принимает публикации только от издательств и агентов.

Большинство интернет-магазинов и издательств заключают с авторами договор, согласно которому часть доходов получает правообладатель, а часть – продавец. Конечно, автор может продавать свои произведения через персональный сайт, но, скорее всего, он получит меньшую аудиторию и прибыль, а большую часть своего времени будет тратить на рекламу. Наиболее часто встречающаяся цена книг молодых авторов в интернет-магазине около трех долларов. Если электронная книга будет дорогой, то рассчитывать на большую аудиторию автору не придется.

Список литературы

1. Вуль В.А. Электронные издания. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 560 с.

Оценка контроля качества при монтаже грузоподъемных механизмов внутри промышленных зданий

Нелюбина А.С.[a], Новосельцева Е.Л.[b], Шалагинова Е.В.[c]
магистрант кафедры строительного производства [a]
старший преподаватель кафедры строительного производства[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: n.neliubina@yandex.ru[a], n6623591@yandex.ru[b], shelenvit@mail.ru[c]

Аннотация: В статье рассмотрены проблемы, возникающие у конструкторов при разработке и проектировании путей передвижения механизмов внутри промышленных зданий. Представлены и описаны виды рельсовых путей, а также рекомендации по их проектированию. Детально описаны способы крепления путей и помимо преимуществ выделены их недостатки, на которые следует обращать внимания при разработке проектного решения. Рассмотрены способы стыковки рельсов между собой и требования, предъявляемые к ним при монтаже. Обозначены предельные величины отклонений рельсов от требуемых параметров, при которых запрещается использование пути. Сделаны выводы о перспективах применения рассмотренных данных конструкторами, в проектных организациях, специализирующихся на работах связанных с проектированием, наладкой путей передвижения и собственно самих внутрицеховых механизмов.

Ключевые слова: Проектирование рельсового пути, пути передвижения внутрицеховых механизмов, требования к подкрановым путям.

Проблема монтажа грузоподъемных механизмов для промышленных предприятий является особенно актуальной на сегодняшний день. На практике с ней «сталкиваются» довольно часто не только при закупке новых механизмов, но и переносе «старых», при модернизации предприятия или же просто при необходимости. Каждый механизм требует определенные, характерные для своей специфики и типа, условия монтажа. Краны, работающие непосредственно внутри цехов различают: мостового типа, а также, не входящие в общую классификацию кранов - металлургические. Последние в свою очередь в большинстве своем используются в мартеновских цехах, поэтому должны обладать повышенной устойчивостью к статическим, динамическим, ударным и технологическим нагрузкам.

Процесс монтажа начинается с подготовки будущего места эксплуатации механизма и проектирования путей его передвижения. Прежде всего, на первом

этапе, необходимо определить и освободить место для производства монтажных работ, а также установить ограждение. Поскольку кран передвигается по рельсовым путям, следует рассмотреть особенности их проектирования.

Пути передвижения грузоподъемных механизмов работающих внутри зданий, подразделяют на крановые и однорельсовые подвесные. Особенностью крановых рельсов является более широкая подошва, по сравнению с обычным рельсом и усиленная головка. Такие рельсы имеют достаточно большой момент инерции при относительно не большой высоте. Крановые рельсы нашли применение в качестве путей передвижения мостовых электрических кранов, грузоподъемность которых может достигать 630 т. Подвесные однорельсовые пути получают штамповкой. Профилем таких путей чаще всего является двутавр, однако, используется и специальный тавровый профиль, но гораздо реже. Подвесной путь, как правило, применяется для перемещения кран-балки, в тех. паспортах которых рекомендуемым профилем является использование балок с индексом «М» по ГОСТ 19425-74.

Проект устройства рельсового пути должен быть составлен проектной организацией, имеющей лицензию на выполнение данного вида работы. В проекте должны содержаться рабочие чертежи, предполагающие планы, разрезы, узлы, конструкцию рельсового пути; прописанные предельные величины отклонений контролируемых параметров, данные о периодичности проверок и осмотров путей, сведения о допустимых значениях эксплуатационных нагрузок на строительные конструкции и крановые пути. Проверка «возможности применения» рельсов сводятся к определению прочности и жесткости рельса (балки). В случае, когда краны находятся вплотную друг другу, необходимо просчитывать изгибающие моменты в самом «не выгодном» положении. Прогиб от крановых нагрузок мостового крана, следует дополнительно рассчитать посередине пролета, по формуле:

$$f_1 = \frac{l^3 \cdot P_н \cdot \Sigma y}{E \cdot I}$$ [Мельникова, с. 191, ф. 10.19]

Просчитав прогиб балки от собственного веса f_2, с учётом вида её закрепления, и суммарный полученный результат ($f_1 + f_2 = f$) необходимо сравнить с допустимым прогибом балки по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Рельсовый путь для передвижения кран-балки чаще всего имеет внушающую длину, исходя из этого, путь просчитывается на устойчивость как двутавровый составной. В расчете наибольшее напряжение при изгибе сравнивается с расчетным коэффициентом двоякосимметричного двутавра:

$$\varphi_б = \psi \cdot \frac{J_y}{J_x} \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot 10^3$$ [Дукельский, с.264, ф. 3.109]

Помимо всего прочего, при проектировании рельсов, следует просчитывать тупиковые упоры, предназначенные для остановки механизма в аварийной ситуации или же из-за небрежности управления. В случае с деревянными и резиновыми амортизаторами, нет достаточного смягчения удара, поэтому наиболее применимые для этой цели пружинные амортизаторы. Не смотря на простую конструкцию, они дают большую отдачу, т.к. в теплоту переходит лишь малая часть кинетической энергии. Гидравлические, почти не имеют отдачи, поскольку практически вся энергия переходит в тепло, благодаря этому их амортизационную способность более чем в два раза больше пружинных. Перед упорами на крановых путях закрепляют выключающие линейки, которые отключают механизм в случае наезда.

Рационализаторами предложено большое количество эффективных способов крепления рельсовых путей, предохраняющие рельс от бокового и продольного сдвигов при работе крана. Крепление рельсов к подкрановым балкам чаще всего осуществляется прижимами и болтами: Рис.1.

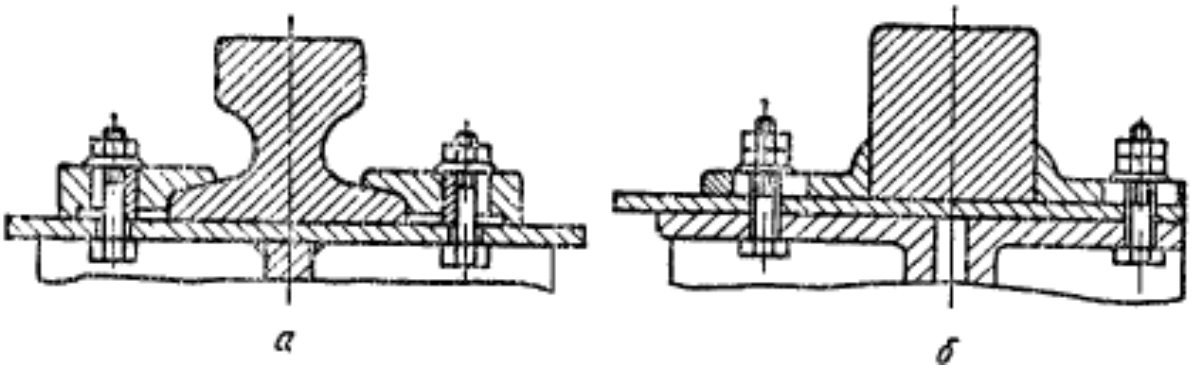


Рисунок 1. Крепление рельса к металлической подкрановой балке:
а - железнодорожного; б – брускового [Ушаков, Бродский, с. 116, рис. 4.28].

Существует способ крепления рельсов к подкрановым балкам с помощью крючьев: Рис.2, однако широкого применения он не нашел, поскольку во время эксплуатации происходит вытягивание крючьев или их срез по резьбе, что делает данный способ не ненадежным.

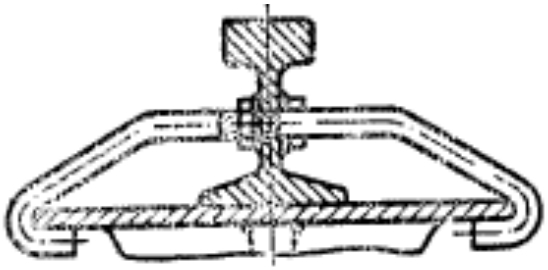


Рисунок 2. Крепление рельса к крючьям [Ушаков, Бродский, с. 116, рис. 4.29].

На Азербайджанском трубопрокатном заводе применяется способ крепления рельсов к железобетонным балкам с применением упругой прокладки из прорезиненной ткани и металлической пластины: Рис.3.

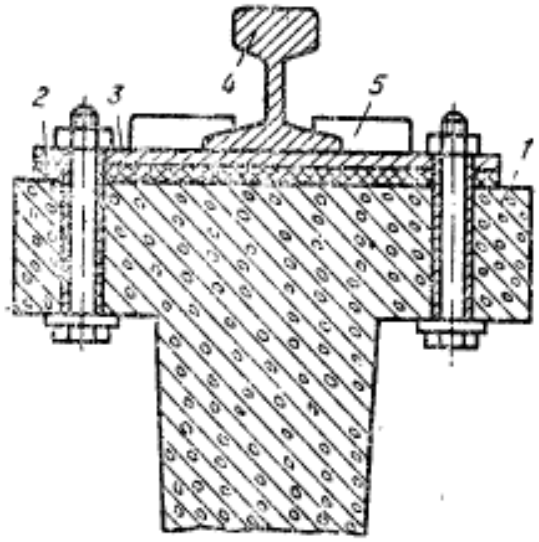


Рисунок 3. Схема крепления рельса к железобетонной балке, используемая на трубопрокатном заводе в Азербайджане: 1 – подкрановая балка; 2 – упругая прокладка из прорезиненной ткани толщиной 10 мм; 3 – металлическая пластина толщиной 16 мм; 4 – крановый рельс; 5 – металлические прижимы [Ушаков, Бродский, с. 116, рис. 4.30].

Сборка пластин и рельсов, а также приварка прижимов производится заранее на ремонтной площадке. После установки рельсов на подкрановые балки осуществляется их рихтовка. В горизонтальной плоскости рихтовка рельса производится с помощью овальных отверстий, предусмотренных именно с этой целью в пластине (поз.3). В вертикальной же плоскости рихтовка достигается путем установки металлических подкладок под подошву рельсов. Возможность регулировки положения рельсовых путей в вертикальной плоскости с помощью подкладок имеет большое значение при подъеме их до проектных отметок в случае неравномерной осадки рельсовых путей.

Для мостовых кранов легкого режима работы грузоподъемностью до 16тс. Ленинградским институтом «Промстройпроект» была разработана последовательность крепления рельса через упругую прокладку из прорезиненной ткани с двухсторонней обкладкой: Рис.4. Однако и данный способ не идеален, поскольку для обеспечения надежности конструкции необходимо периодически производить затяжку болтов.

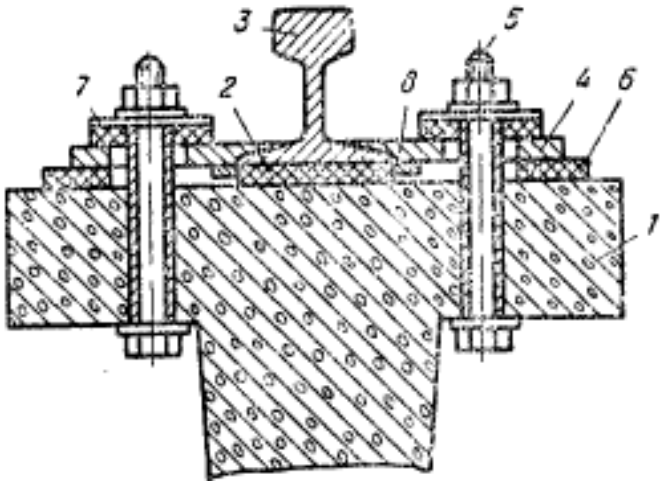


Рисунок 4. Схема крепления рельса к железобетонной балке, разработанная институтом «Промстройпроект»: 1 – подкрановая балка; 2, 6, 7 – прокладки толщиной 8 мм; 3 – крановый рельс; 4 – прижимы; 5 – болт; 8 – фиксаторы – металлические пластины толщиной 4 мм [Ушаков, Бродский, с. 117, рис. 4.31].

Уралмашзавод разработал способ крепления рельса к металлическим подкрановым балкам: Рис.5. Несмотря на то, что трудоемкость изготовления башмаков, ограничивает применение указанного выше способа, этот недостаток легко устраняется в случае использования рельсового скрепления, применяемого на железных дорогах для установки рельсов на железобетонных шпалах: Рис.6. В данном случае прокладка рельсового скрепления приваривается к подкрановой балке, а под подошву рельса устанавливается дополнительная резиновая подкладка.

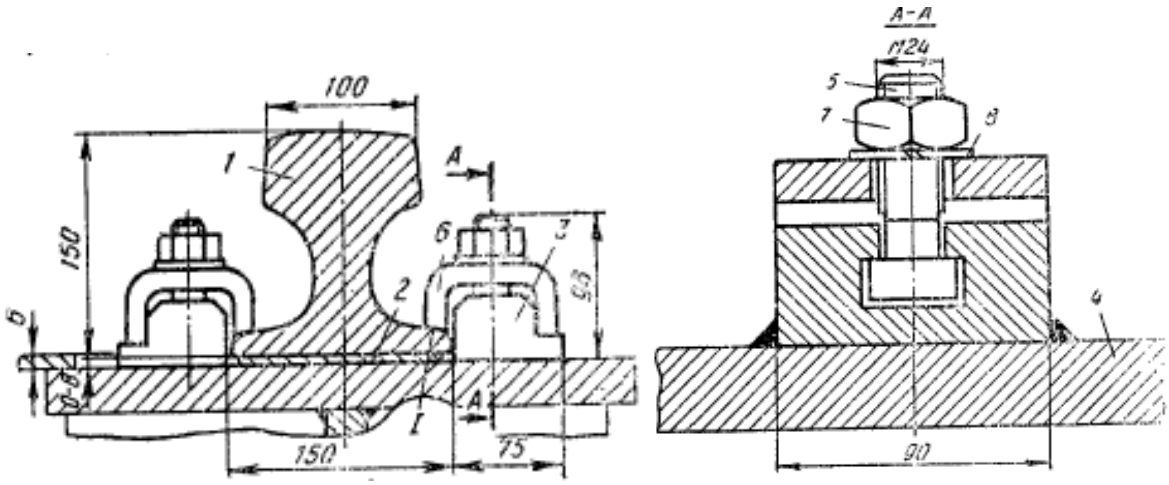


Рисунок 5. Схема крепление рельса разработанная Уралмашзаводом:1 – крановый рельс; 2 – подкладка эластичная; 3 – башмаки; 4 – подкрановая балка; 5 – болт; 6 – клемма (прижим); 7 – гайка; 8 – пружинная шайба [Ушаков, Бродский, с. 117, рис. 4.32].

Крепления рельсов, следует предусматривать разъемные для возможного ремонта пути или же при изменении технологического назначения цеха. Подвесные пути следует крепить к несущим конструкциям покрытия зданий с учетом возможности их регулировки по высоте при возможном прогибе балок, ферм, усадке фундаментов и т.п.

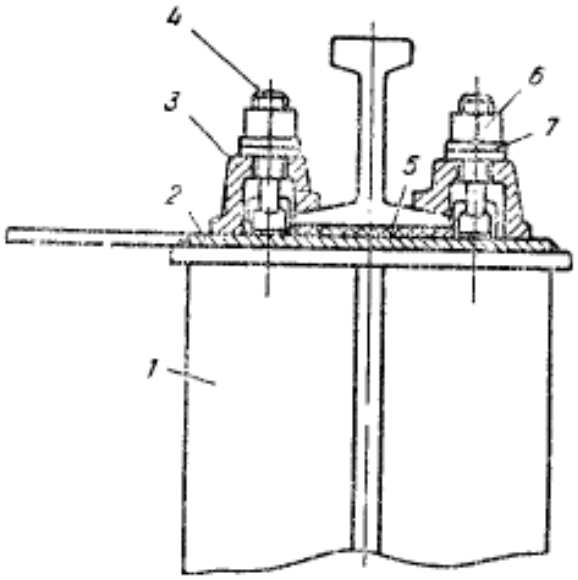


Рисунок 6. Крепление рельса с помощью железнодорожных подкладок: 1 - балка подкрановая; 2 - подкладка; 3 - клемма промежуточная; 4 - болт нажимной; 5 -резиновая подкладка под рельс; 6 – гайка; 7 – шайба пружинная [Ушаков, Бродский, с. 117, рис. 4.33].

Стыковка рельсов между собой происходит с помощью двухсторонних накладок и болтов, сварки. Стыки рельсовых должны быть смонтированы, а соответственно запроектированы, таким образом, чтобы обеспечить плавный переход колес при попадании их на стыковые участки. Взаимные стыки торцов рельсов в стыках в плане и по высоте не должны превышать 1-2 мм. Поскольку рельсовый стык подвержен интенсивному воздействию ударных нагрузок, предпочтительнее стык сваривать, что увеличит долговечность пути и снизит ударные нагрузки в 2 раза. Сварные швы следует располагать в шахматном порядке (в плане) со смещением одного относительно другого не менее чем на 3метра. Эксплуатация крановых путей запрещена в следующих случаях: рельсы имеют обмятые головки или провисшие более чем на 3 мм концы; имеются трещины в головке или шейке рельса, а также по соединительным отверстиям; присутствует коррозия на глубине более 3 мм; головка рельса более чем на 6

мм по высоте и более 3 мм по ширине с каждой стороны, а также при других дефектах. При монтаже рельсового пути необходимо проводить контроль на всех этапах строительства и по окончании каждого этапа составлять акт выполненных работ. Допуски на укладку рельсов крановых путей и максимально допустимые отклонения их положения при эксплуатации должны соответствовать данным приложений в техпаспорте. Для защиты производственных работников от поражения электрическим током в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56944-2016 крановые пути обязательно заземляют по правилам устройства электроустановок [ГОСТ Р 56944-2016, п.5.1.13.3].

Производством монтажных работ должны заниматься крановщик и ремонтные рабочие, имеющие на это специальное разрешение, оформляемое в установленном порядке с выдачей наряда-допуска. О предстоящих монтажных работах необходимо ставить в известность всех крановщиков, работающих в данном и смежных пролетах цеха, и обязательно делать соответствующие записи в вахтенных журналах этих кранов.

Итогом исследования стало рассмотрение возможных путей решения проблем, которые возникают при монтаже грузоподъемных механизмов внутри цеха, в частности проектирование путей их передвижения. Однако существует еще огромное количество проблем, с которыми могут «столкнуться» проектировщики и конструкторы в ходе выполнения технического задания заказчика. Проверка несущих конструкций зданий цехов на способность выдержать нагрузки от устанавливаемых механизмов; решение проблем, возникающих в процессе установке механизма на рельсовые пути, – и это лишь малая часть вопросов, которые будут рассмотрены в ходе дальнейших исследований.

От правильности и точности укладки подкрановых путей во многом зависят надежность и долговечность ходовых колес. Исходя из этого, их монтаж должен выполняться особенно тщательно, а в процессе эксплуатации необходим постоянный надзор за их исправным состоянием.

Список литературы

1. Ушаков П.Н., Бродский М.Г.Краны и лифты промышленных предприятий [Текст]: справочник /Ушаков П.Н., Бродский М.Г.-М.: Металлургия, 1974.-352с.

2. СТО НОНСТРОЙ 2.2.78-2012 Крановые пути. Требования к устройству, строительству и безопасной эксплуатации надземных крановых путей. Общие технические требования [Электронный ресурс]. – Действ. с 25.10.2012.-М:.Издательство БСТ, 2014 г.- Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

3. Металлические конструкции [Текст]: справочник / под ред. Н.П. Мельникова.-2-е изд., перераб и доп.-М.: Стройиздат, 1980.-191с.

4. Справочник по кранам. Том 1. Общие расчеты, материалы, приводы, металлические конструкции [Текст]: справочник под ред. Дукельский А.И.-М.: Машиностроение. Ленинград, 1971. - 399с.

5. ГОСТ Р 56944-2016 Краны грузоподъемные. Пути рельсовые крановые надземные. Общие технические условия. [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.04.2017.-М:.Стандартинформ, 2016 г.- Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

6. Цейтлин Н.И. Подъемно-транспортные машины [Текст]: учеб. пособие / Н.И. Цейтлин.-М.: Высшая школа, 1962. – 191 с.

7. РД 50:48:0075.02.05 Тупиковые упоры. Рекомендации к проектированию, изготовлению и эксплуатации. [Электронный ресурс]: Г. М. Банных, А. Г. Банных, Л. Р. Кудряшов, В.Г. Жуков, А. В.Ширкевич, Д.А.Ведерников. – Действ. с 05.11.2005.-М,2005.

Формальный язык описания правил игр и игровых задач реального мира

Нечаев А.А.[a], Мельцов В.Ю.[b]
магистрант кафедры электронных вычислительных машин[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: dapqa@yandex.ru[a], meltsov@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В настоящее время активно ведутся разработки различного рода интеллектуальных аппаратно-программных комплексов, предназначенных для максимального снижения участия человека при решении определённых задач. Например, автопилоты для самолетов и автомобилей, роботы для сборки конструкций и механизмов, системы автоматического планирования и т.д. Одно из таких направлений – создание программ-ботов, заменяющих человека в играх. Подобные разработки необходимы не только в области развлечений, но и для исследований, проводимых в сфере искусственного интеллекта, в частности – машинного обучения и многоагентных систем. Кроме того, боты, способные эффективно играть в некоторую интеллектуальную игру, могут быть применены и в реальном мире, решая схожие задачи. В статье формулируется и обсуждается гипотеза, согласно которой формального описания правил игры достаточно для автоматической генерации таких ботов. Разработка соответствующего формального языка полезна как для определения ограничений подобного генератора, так и в качестве фундамента для его дальнейшего создания. Это необходимо для достижения двух главных целей описываемого исследования. Во-первых, язык должен быть применим для описания игр в битвах логических стратегий – соревнованиях по разработке интеллектуальных ботов. Во-вторых, ограничения языка можно рассматривать как ограничения, присущие некоторым задачам реального мира. В статье проанализированы особенности подобных задач и существующие языки описания правил игр. Произведена классификация игр по различным критериям, а затем выделены возможные значения основных характеристик для задач реального мира и игр в серии битв логических стратегий. На основе проведённого анализа определены требования к формальному языку и его ограничения. Разработана грамматика языка и реализован его парсер.

Ключевые слова: теория игр, битва логических стратегий, формальная грамматика, многоагентные системы.

В основе многих исследований и разработок, связанных с совершенствованием игрового искусственного интеллекта (ИИ), лежит идея, согласно которой боты, способные эффективно играть в некоторую игру, могут быть применены и в реальном мире, решая схожие задачи. В настоящее время существуют примеры применения такого подхода к созданию многих интеллектуальных си-

стем [Meltsov, с.6]. Например, проект «Mars Auto», разрабатываемый в Южной Корее, посвященный созданию самоуправляемого грузового автомобиля [2]. Для управления используется интеллектуальная система europilot, обучающаяся вождению в игре Euro Truck Simulator 2. Также компаниями при разработке автопилота для легковых автомобилей часто используется игра «The Open Racing Car Simulator».

В статье [3], опубликованной в журнале «Games Are a Playground for Artificial Intelligence», упоминается множество примеров обучения интеллектуальных систем на основе игровых платформ. В их число можно включить платформу VizDoom, на основе которой было выполнено множество разработок в области машинного обучения с подкреплением: работы компании DeepMind, использовавших игры при разработке DQN, успешное улучшение работы автопилота Tesla при его обучении в Grand Theft Auto V, Project Malmo для исследования взаимодействия интеллектуальных агентов в игре Minecraft.

Игры могут использоваться при решении большого количества и других проблем, не указанных выше. Например, очевидна польза их применения при решении задачи управления роем [Corne, с.23], по условиям которой множество автономных агентов (роботов) стремятся к общей цели, подобно рою насекомых. Тестировать различные реализации роевого интеллекта значительно проще в игровой среде.

В данной работе рассматривается гипотеза, согласно которой специального формального описания правил интеллектуальной игры может быть достаточно для того, чтобы автоматически создать бота, способного эффективно в неё играть. Разрабатываемое формальное описание правил позволит четко ограничить класс игр, к которым должен быть применим бот. Описание должно быть универсально, так как описание задачи реального мира одновременно описывает игру, в которой можно тестировать бота. Разработка языка для таких описаний может послужить основой для дальнейшей разработки генератора ботов, способного значительно ускорить и упростить их проектирование, повысить качество программного обеспечения.

Тема формального языка описания правил игры по большей части рассматривалась в рамках попыток реализовать процедурную генерацию игр. При анализе проблемной области наибольшее внимание было обращено на три существующих языка описания правил игр [Меженин, с.5].

Во-первых, язык из системы METAGAME, способной генерировать игры, подобные шахматам. Множество игр, которые можно описать с помощью указанного языка, сильно ограничено. Тем не менее, это первая описанная подобная система и она интересна тем, что повлияла на дальнейшую разработку универсальных игровых правил (УИП) и генераторов игр.

Многие дальнейшие разработки в этой области похожи друг на друга. Исключение составляет, например, разработанный в начале двухтысячных проект Extensible Graphical Game Generator (EGGG), в рамках которого реализован язык для описания двумерных графических игр. Грамматика языка описывает различные поведения, заложенные в системе (использование карт, порядок ходов, условие победы и т.д.), и позволяет пользователю добавлять свои правила.

Подавляющее большинство остальных языков являются разновидностями языков логического программирования Prolog и Lisp, сочетающими в себе как заложенные в них декларативные возможности, так и наборы заданных грамматикой блоков.

На сегодняшний день самым успешным проектом в рассматриваемой области можно признать систему эволюционного игрового дизайна Ludi. С её помощью были созданы коммерчески успешные игры Yavalath и Pentalath. Работа системы основана на описаниях специальных правил игр, задаваемых на языке Ludi GDL. Он позволяет описать конечные, дискретные, пошаговые, детерминированные игры с полной информацией. Таким критериям отвечает большинство настольных игр. Согласно работе [Browne, с.7] одного из авторов Ludi, этот язык ориентирован на определенные разновидности игр на досках и для описания классических игр он требует усовершенствования.

Использовать какую-либо из уже существующих грамматик нельзя, поскольку задаваемые ими языки преследуют другие цели. Они используются для

описания достаточно узкого класса игр, как правило двумерных или подобных настольным, а главная цель их создания – возможность генерации новых игр. Качество и функциональные возможности разрабатываемого языка оцениваются по другим критериям. Язык должен быть одновременно понятным человеку и простым для машинного разбора. С его помощью разработчик должен быть способен описывать различные характеристики игроков и игрового мира, показывать зависимости между ними, явно указывая на неоднозначности. Это условие важно для того, чтобы была возможна автоматическая генерация бота по описанию правил.

Очевидно, что разрабатываемый язык должен иметь ограничения на класс игр, задаваемые спецификой задачи. С одной стороны, преследуется цель генерации ботов, способных выполнять действия в реальном мире, с другой стороны, разработка представляет интерес для исследования многоагентных систем и игрового ИИ. При этом создаваемые боты должны тестироваться и обучаться в некоторой программной среде. Для этих целей хорошо применимы платформы для проведения игр из серии «Битвы логических стратегий» (БЛС). Например, при использовании AIBattle [Нечаев, с.215], универсальной платформы БЛС, создаваемых ботов можно легко тестировать в различных играх. Игры можно добавлять самостоятельно, следуя указанным процедурам, либо использовать существующие игры, с готовым набором ботов-противников, загруженных участниками во время соревнований и работающих на основе различных алгоритмов.

Перед разработкой грамматики языка была проведена классификация игр по различным критериям. Сопоставляя значения выделенных особым образом характеристик для задач реального мира и игр в БЛС, были определены искомые ограничения. Подобный подход к «разделению игр» приведён в статье Game Classification And Game Design [Elverdam, с.3]. На его основе были определены основные универсальные характеристики игр и их возможные значения (Табл.1).

Таблица 1

Основные характеристики игр

Основание для классификации	Критерии
Организация виртуального пространства игры	Позиционирование (абсолютное, относительное). Изменение среды (свободное, ограниченное, отсутствует)
Организация внешнего времени игры	Течение игры (конечное, бесконечное). Соответствие реальному времени (измененное, реальное)
Организация внутреннего времени игры	Отложенность (игрок изменяет текущее состояние, игрок изменяет следующее состояние). Синхронность действий игроков (Одновременно, поочерёдно). Ограничение времени на одно действие (Без ограничений, с ограничениями)
Количество игроков	Возможное количество игроков (Одиночные, кооперативные, для двух игроков, для двух команд, мультиплеерные, мультиплеерные кооперативные). Возможность как одиночной, так и кооперативной игры (отсутствует, присутствует).
Продолжительность изменений в игровом окружении	Время сохранения изменений (На время одной игры (сессионное), временное, бесконечное). Возможность сохранения изменений для отдельного игрока (полная, ограниченная, отсутствует)

Для разработки формального языка описания игр важны также и более конкретные параметры. В качестве основы были использованы наработки статьи Facet Analysis of Video Game Genres [Lee, с.125]. В ней игры разделяются на несколько больших групп (жанров), значительно различающихся по геймплею. Затем внутри этих групп выделяются подгруппы (стили), определяющие более конкретные особенности игрового процесса. Например, жанр MMORPG определяется, как дочерний для RPG. В табл. 2 показана полученная классификация игр по жанрам.

Многие существующие игры сложно строго отнести к одному из приведённых жанров. Тем не менее, при такой классификации просто составить списки характерных действий и возможных условий окончания, с помощью которых затем охарактеризовать подавляющие большинство существующих игр.

Таблица 2

Классификация игр по жанрам

Жанр	Краткая характеристика
Action	Успех игрока в большей степени определяется быстротой его реакции и степенью концентрации внимания.
Шутер	Во многом похож на action, но игровой процесс сфокусирован на стрельбе и контроле ресурсов (здоровье, патроны)
Приключение (adventure)	Интерактивная история, в которой игрок управляет главным героем, исследуя игровой мир и решая головоломки.
Файтинг	Имитируется бой небольшого числа персонажей в пределах закрытой арены. Для достижения победы нужно комбинировать атакующие и защитные приемы в зависимости от поведения оппонентов.
Ролевая игра (RPG)	Игрок управляет одним или несколькими персонажами, каждый из которых описан набором численных характеристик, списком способностей и умений. Персонаж совершенствуется по одному из возможных сценариев.
Спортивная игра	Имитирует проведение соответствующих игр из физического мира (футбол, хоккей, теннис и т.д.)
Гонки, симулятор вождения	Игрок управляет автомобилем и должен проехать по определённому маршруту, выполнив определённые условия. К ним могут относиться время, скорость, соблюдение ПДД, выполнение управляемых заносов и т.д.
Стратегия	Для достижения победы игроку требуется создавать и совершенствовать объекты, разрабатывать тактику достижения цели. Игровой процесс зависит от правильного управления определёнными ресурсам и их использования для расширения набора возможных действий и их характеристик.
Логическая игра	Жанр, включающий в себя симуляторы классических карточных и настольных игр, а также различные игры, для достижения победы в которых участник должен решить некоторую логическую задачу.

Были выделены наборы таких характеристик, применимые к БЛС и к задачам реального мира. На пересечении множеств этих характеристик находятся ограничения, которые необходимо наложить на класс игр, к описанию правил которых применим разрабатываемый язык. В табл. 3 показаны полученные требования.

Таблица 3

Требования к описанию правил игры с помощью разрабатываемого языка

Характеристика игры	Возможные значения
Характеристики объекта игры	Положение в игровом мире; принадлежность какому-либо участнику; виды ресурсов объекта; список свойств; список действий, которые может выполнять объект
Характеристики действия	Тот, кто выполняет действие (игровая среда, участник игры или объект); тот, на кого направлено действие (игровая среда, участник игры или объект); условия возможности выполнения действия; изменения в состоянии игры в результате выполнения действия.

Общие характеристики игры	Количество команд; количество членов команды; система координат игрового мира; продолжительность игры (конечная или бесконечная); виды объектов в игровом мире, над которыми участник не имеет контроля; виды объектов в игровом мире, которые контролирует участник; свойства участника; виды ресурсов участника; свойства игрового окружения (время, список дискретных состояний и т.д.); условие окончания игры (включая его отсутствие для игр с бесконечным течением).

В табл. 4 перечислены возможные действия, характерные каким-либо объектам, а также возможные условия окончания игры.

Таблица 4

Возможные характерные действия и условия окончания

Характеристика игры	Возможные значения
Характерные действия объектов	Перемещение; поиск объекта; применение атакующих и защитных способностей; собирание предметов; ограниченное изменение окружающей среды (включая изменение свойств объектов); изменение участником собственных свойств (или свойств подконтрольных объектов); изменение количества ресурсов; обмен информацией между участниками или объектами
Возможные условия окончания игры	Достижение определенного положения в игровом мире; нахождение определённых объектов; получение определённых предметов; уничтожение или создание определённых объектов (в указанном количестве); ведение игры на протяжении указанного количества времени; достижение максимума (или минимума) значения какого-либо свойства (в любой момент, по истечению указанного времени или при достижении определённого положения)

Выше под свойствами понимаются некоторые переменные значения, которые могут иметь различные типы данных. С помощью таких свойств можно задавать не только характеристики объектов в игре, но и их модель состояний.

На основе поставленных требований был разработан формальный язык описания правил игры. Структура описания игры содержит следующие блоки: значения основных характеристик игры; определённые пользователем типы; описание типов объектов; свойства игрока; действия игрока; свойства окружения; действия окружения; цель игры. Определены различные базовые типы данных, глобальные переменные и коллекции, арифметические и логические операции.

Грамматика языка описана на диалекте EBNF (Расширенная форма Бэкуса-Наура) библиотеки Grammatica [Strabykin, с.203] для языка программирования Java, благодаря чему автоматически был создан парсер, строящий синтаксическое дерево из входного файла с описанием правил игры. На рис. 1 показано описание правил игры «Крестики-Нолики» на разработанном языке.

```
game $TicTacToe is

    teamCount 2..2;
    teamMemberCount 1..1;
    coordinateSystem int2;
    coordinateBounds 0..2 0..2;
    continuance finite;

    objectTypes {
        $XO is {
            holder {
                players[side = any] 0..9;
                environment 0..0;
            };
        };
    };
```

```
playerActions {
        $drawXO is create {
            object $XO;
            count 1;
            position playerDefined;
            availablePositions empty;
        };
    };

    goal is positioning {
        objects players[side =
current].objects[type = $XO];
        positioned inARow 3
diagonallyReachable;
    };

end game;
```

Рисунок 1. Описание правил игры «Крестики-Нолики» на разработанном языке

Созданный формальный язык позволяет описать правила большого круга игр. Результат понятен человеку и легко поддаётся машинному разбору. Получаемое описание позволяет анализировать зависимости состояния внешней среды и участников от производимых действий, что будет очень полезно для понимания способа достижения целевой функции при генерации ботов. Описание также применимо для задания правил работы агентов при решении задач реального мира.

Круг рассматриваемых игр имеет некоторые ограничения. Например, на разработанном языке можно описать правила несложной гонки автомобилей, но проблематично определить правила оптимального размещения кораблей для игры «Морской бой». Тем не менее, грамматику предлагаемого языка легко расширять и одновременно автоматически усовершенствовать синтаксический анализатор.

Список литературы

1. Meltsov V. Yu. High-performance systems of deductive inference: Monograf. -Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. -216 p.

2. Create self-driving trucks inside Euro Truck Simulator 2 / Medium [Электронный ресурс] // URL: https://medium.com/mars-auto/create-self-driving-trucks-inside-euro-truck-simulator-2-c64424d528ed (дата обращения 31.01.2018)

3. Games Are a Playground for Artificial Intelligence / How We Get To Next [Электронный ресурс] // URL: https://howwegettonext.com/games-are-a-playground-for-artificial-intelligence-c0a53f2c9cc4 (дата обращения 31.01.2018)

4. D. W. Corne, A. Reynolds and E. Bonabeau. Swarm intelligence. Handbook Natural Computing. Berlin, Germany, Springer, 2012, P. 1599–1622.

5. Меженин М.Г. Обзор систем процедурной генерации игр / Меженин М.Г. // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2015. – №1. – С.5-20

6. C. Browne, Automatic Generation and Evaluation of Recombination Games, Ph.D. Thesis, FIT, QUT, Brisbane, Australia, 2008.

7. Нечаев А.А. Модель взаимодействия процессов для платформы проведения битв логических стратегий. [Электронный ресурс] / А.А. Нечаев // ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ. (НПК – 2016) : всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 215-219.

8. Christian Elverdam, Espen Aarseth. Game Classification and Game Design. Games and Culture, 2007, vol. 2, no. 1, P. 3-22.

9. Jin Ha Lee, Natascha Karlova, Rachel Ivy Clarke, Katherine Thornton, Andrew Perti. Facet Analysis of Video Game Genres. iConference, 2014, P. 125-139.

10. Strabykin D., Meltsov V., Dolzhenkova M., Chistyakov G., Kuvaev A. Formal verification and accelerated inference//Advances in Intelligent Systems and Computing. -2016. -T. 464. -C. 203-211.

Метод расчета условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва путем решения интегральных уравнений с применением программных средств

Никулин А.В.[a], Шилова З.В.[b]
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного производства[a]
кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры фундаментальной и компьютерной математики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: docent043@yandex.ru[a], zoya@soi.su[b]

Аннотация: В статье рассматривается современное состояние нормативной базы МЧС в части расчетов пожарного риска. Описывается проблема расчета условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва при значениях пробит-функций менее 2,67, при которых требуется проведение расчетов путем решения интегрального уравнения, отражающего вероятностную связь между интенсивностью воздействия опасного фактора и его последствиями для человека. Дается краткий анализ математических методов решения данного уравнения и приводится метод решения данного уравнения с использованием табличного процессора Microsoft Excel. Формулируется вывод о том, что внедрение данного метода в практику проведения расчетов пожарного риска будет способствовать повышению достоверности и качества расчетов пожарного риска, и, как следствие, повышению пожарной безопасности людей на производственных объектах.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожарный риск, пробит-функция, стандартная функция распределения нормально распределенной случайной величины, функция Лапласа.

Современная стратегия развития России предполагает обеспечение роста промышленности путем внедрения эффективных методов управления производством на фоне снятия излишних административных барьеров, что может быть достигнуто, в частности, введением риск-ориентированного подхода в государственной контрольно-надзорной деятельности.

С 1 мая 2009 года вступил в силу Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] (далее – Технический регламент). Данный нормативный документ впервые ввел в практику одного из видов государственной контрольно-надзорной деятельности – государственного пожарного надзора, понятие пожарного риска. Под пожарным риском понимается мера возможности реализации пожарной

опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей [1].

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 272 от 31 марта 2009 года, «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [2], определение пожарного риска проводится по методикам, утверждаемым МЧС России.

Приказом МЧС России № 404 от 10 июля 2009 года «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [3] (далее – Методика), вышеуказанная Методика была введена в действие на территории Российской Федерации.

В соответствии с Методикой [3], оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на технологических установках объекта расчета и прилегающей к ним территории, и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара.

Величина потенциального пожарного риска P(a) (год$^{-1}$) для любого сценария развития пожара или взрыва в определенной точке (a) на технологических установках объекта расчета определяется по формуле [3]:

$$P(a) = \sum_{j=1}^{j} Q_{dj}(a) \cdot Q_j \ ,$$

где: j – число сценариев развития пожаров; $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j-го сценария развития пожара, отвечающего определенному инициирующему аварию событию; Q_j – частота реализации в течение года j-го сценария развития пожара, год$^{-1}$.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по соответствующим значениям пробит-функций Pr, которые отражают связь между

вероятностью поражения и поглощенной дозой. В общем случае уравнение для вычисления пробит-функции имеет вид:

$$\Pr = a + b \cdot \ln(D),$$

где: a и b – константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия; D – поглощенная субъектом доза негативного воздействия (токсическая нагрузка).

В Методике [3] представлены формулы для вычисления пробит-функций в зависимости от поражающего фактора (волна избыточного давления, тепловое излучение). Следует отметить, что значения пробит-функций быть могут успешно вычислены с помощью табличного процессора Microsoft Excel.

После определения значения пробит-функции, определяется условная вероятность поражения человека по таблице, представленной в Методике [3]. И на данном этапе у инженера, проводящего расчет может возникнуть проблема. В таблице приводятся значения условной вероятности поражения человека при значениях пробит-функций 2,67 и более. При меньших значениях Методика [3] регламентирует применение следующей формулы:

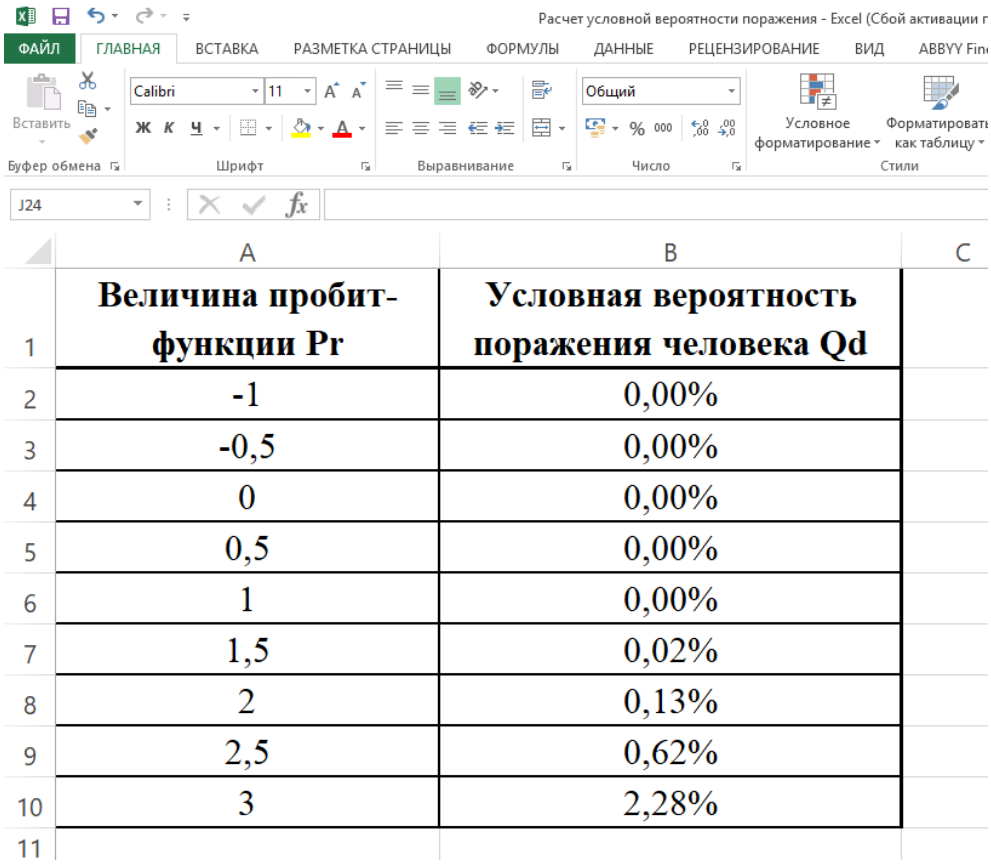
$$Q_{dl}(a) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\Pr-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU .$$

Вышеприведенная формула представляет собой интеграл – функцию нормального распределения для плотности вероятности. Интеграл является «неберущимся» в элементарных функциях, и его решение может представлять сложность для проводящего расчет инженера, что, в конечном случае может привести к неверному решению данного уравнения, и, как следствие, получению недостоверного результата расчета пожарного риска.

Следовательно, возникает необходимость проведения анализа существующих математических методов для решения данного интегрального уравнения, в том числе с применением программных средств, и выбор метода, наиболее приемлемого для дальнейшего использования инженерами, проводящими расчеты пожарного риска.

В ходе анализа было определено, что значения приведенного интеграла могут быть выражены через табулированную функцию, которая называется функцией Лапласа или интегралом вероятности (ошибок). Значения функции Лапласа можно найти в приложениях к любому вузовскому учебнику по дисциплинам «Теория вероятностей и математическая статистика», «Математические методы обработки информации» (например, [4, 5]). Помимо этого, данный интеграл может быть вычислен методами численного интегрирования: метод прямоугольников (левых, правых и средних), трапеций, метод Симпсона, метод асимптотики интеграла (метод Лапласа); путем предварительного разложения подынтегральной функции в ряд Тейлора (ряд Маклорена) и т. п. Также значения интеграла Лапласа с учетом значений пробит-функций менее 2,67 могут быть вычислены с помощью математического процессора MathCAD (но это потребует от инженера специальных знаний и умений работы в MathCAD), а также табличного процессора Microsoft Excel посредством встроенной функции НОРМРАСП (Pr – 5; 0; 1; ИСТИНА), которая находится в категории Статистические (рис. 1).

Описанный выше метод расчета условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва путем решения интегральных уравнений с применением табличного процессора Microsoft Excel является наиболее предпочтительным при проведении расчетов пожарного риска, учитывая необходимость проведения расчетов по большому количеству сценариев развития пожаров и взрывов на объекте расчета, по каждому из которых требуется определять значение условной вероятности поражения.



	A	B	C
1	**Величина пробит-функции Pr**	**Условная вероятность поражения человека Qd**	
2	-1	0,00%	
3	-0,5	0,00%	
4	0	0,00%	
5	0,5	0,00%	
6	1	0,00%	
7	1,5	0,02%	
8	2	0,13%	
9	2,5	0,62%	
10	3	2,28%	
11			

Рисунок 1. Определение условной вероятности поражения человека

На основании вышеизложенного следует сделать следующие выводы:

1. Применение программных средств и математических методов, как точного аналитико-прогностического инструмента при расчетах условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва, представляется весьма актуальным и важным.

2. Внедрение описанного выше метода расчета условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара и взрыва путем решения интегральных уравнений с применением табличного процессора Microsoft Excel в практику проведения расчетов пожарного риска будет способствовать повышению достоверности и качества расчетов пожарного риска, и, как следствие, повышению пожарной безопасности людей на производственных объектах.

Список литературы

1. Федеральный закон № 123–ФЗ от 22 июля 2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [электронный ресурс]. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

2. Постановление Правительства Российской Федерации № 272 от 31 марта 2009 года «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [электронный ресурс]. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

3. Приказ МЧС России № 404 от 10 июля 2009 года «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [электронный ресурс]. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

4. Шилова З.В. Математические методы обработки информации: учебное пособие. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2017. – 122 с.

5. Шилова З.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 289 с.

Особенности эксплуатации трансформаторов, выработавших ресурс

Новиков А. В.[a], Новоселова О. А.[b], Хорошинина Е. Н.[c]
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрические станции
старший преподаватель кафедры электрических станций
старший преподаватель кафедры электрических станций
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: novikov@vyatsu.ru[a], novoselova@vyatsu.ru[b], en_horoshinina@vyatsu.ru[c]

Аннотация: В статье речь идёт о весьма актуальной задаче, связанной с поддержанием в рабочем состоянии высоковольтных трансформаторов, превысивших установленный заводом срок эксплуатации. Сведения об их повреждаемости в Кировской области и республике Марий Эл сопоставляются со статистикой повреждаемости трансформаторов в других регионах России. Предпринята попытка анализа эффективности методов диагностики наиболее часто повреждаемых узлов трансформаторов с масляным охлаждением, в частности устройства РПН. Описаны возможности присутствующих на рынке диагностических приборов российского и импортного производства. Даны рекомендации о целесообразности их применения в отдельных случаях. На примере трансформатора с литой изоляцией, установленного на Кировской ТЭЦ-4, описана работа системы непрерывной диагностики его основных узлов. Сделан вывод о том, что при ограниченных финансовых возможностях и отсутствии научно-обоснованных рекомендаций, каждый руководитель проблему продления срока эксплуатации трансформаторов решает по своему, руководствуясь собственным опытом.

Ключевые слова: трансформатор, срок эксплуатации, ресурс, изоляция, нагрузка, нагрев.

В России установленная мощность трансформаторов и автотрансформаторов в 6 раз превышает мощность генераторов [Анисимов, с. 2072]. Силовые трансформаторы являются основным элементом энергосистем, и их работа в значительной мере определяет надёжное электроснабжение потребителей. В 2017 году авторами этой статьи было проведено обследование двух предприятий электрических сетей: одно из них находится на территории Кировской области, другое – в республике Марий Эл. Обследование показало, что более 60% трансформаторов напряжением 110 кВ и выше превысили установленный заводом срок эксплуатации [Чернышев, с. 35]. В Мосэнерго более 90% трансформаторов на напряжение 35 кВ и 54% трансформаторов на напряжение 110 кВ имеют продолжительность эксплуатации более 30 лет [Львов, с. 27]. Подобная

ситуация характерна и для России в целом, где более 40% силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше находятся в эксплуатации более 25 лет, и для других стран [Анисимов, с. 2070] [Башкиров, с. 24]. Из этих примеров следует, что современная энергетика во многом зависит от безаварийной работы силовых трансформаторов, выработавших свой ресурс. Сложившаяся ситуация вызывает серьёзные опасения. Попробуем разобраться в том, насколько они обоснованы.

В России для трансформаторов, изготовленных до 2008 года, ГОСТ 11677-85 устанавливает гарантированный срок эксплуатации не менее 25 лет, а для разработанных после первого января 2008 года ГОСТ Р 52719-2007 – не менее 30 лет. Производителями трансформаторов, в отличие от производителей турбин, не устанавливается ресурс, по истечении которого оборудование должно быть выведено из работы. На практике решение о продлении срока эксплуатации принимается не по достижении указанного заводом срока, а на основании реального износа оборудования. В оценке степени износа пока нет единых подходов, и большинство трансформаторов продолжают работать, существенно превысив гарантированный заводом срок эксплуатации. Разработка единых критериев оценки износа особенно актуальна для продления срока эксплуатации АЭС, большинство из которых отработало 25 лет.

Определение предельного срока эксплуатации трансформатора невозможно без детального анализа повреждаемости отдельных узлов. В СССР эти вопросы были в ведение АО «ВНИИЭ», фирмы «ОРГРЭС» и других ведомственных организаций. В частности, фирма «ОРГРЭС» приводила статистический материал о нарушениях в работе трансформаторов всех видов напряжения. Однако сведения о зависимости удельной повреждаемости от срока службы трансформаторов не приводились. За рубежом такие данные публикуются крайне редко и без комментариев. В Департаменте генеральной инспекции «РАО ЕС России» существовала электронная база данных актов о расследованиях нарушений в работе силовых трансформаторов. В настоящее время обобщающего характера информацию по повреждаемости трансформаторов можно

найти в публикациях сотрудника ОАО 2 «Холдинг МРСКА» Львова М. Ю. [Чернышев, с. 36].

Когда удельная повреждаемость возрастает с увеличением срока эксплуатации, то это вполне объяснимо. Под воздействием тепла, выделяемого в проводниках, и высокого напряжения со временем происходит естественное старение изоляции. На Рис. 1 показана зависимость удельной повреждаемости трансформаторов от срока эксплуатации. Относительно высокие значения удельной повреждаемости имеют место в первые 5 лет. Это связано с периодом приработки и проявлением скрытых заводских дефектов или дефектов монтажа. Существенную роль фактор старения оборудования играет после 35 лет эксплуатации. Увеличение удельной повреждаемости в этот период особенно характерно для блочных трансформаторов тепловых и атомных электростанций, работающих в базовой части графика нагрузки.

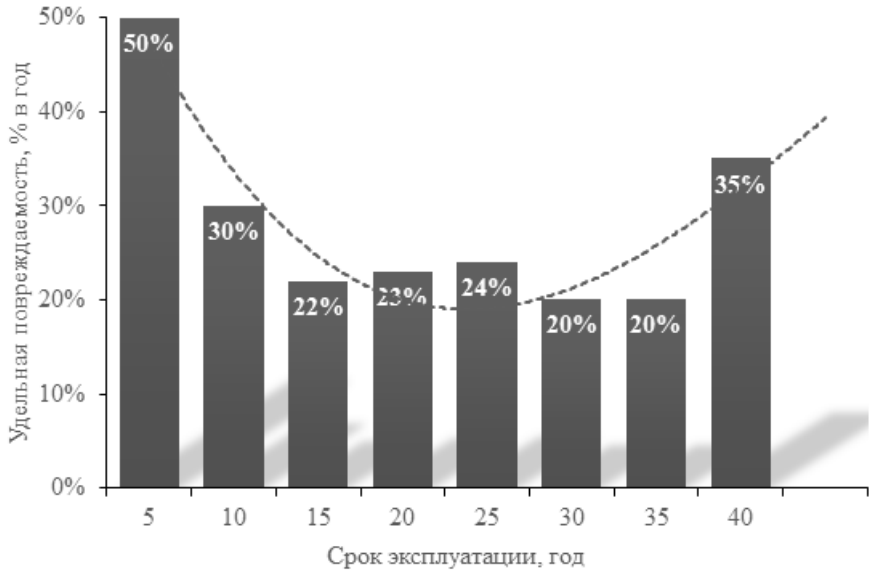


Рисунок 1. Зависимость удельной повреждаемости трансформаторов от срока эксплуатации

Как показали наши исследования, на подстанциях одного из сетевых предприятий республики Марий Эл трансформаторы работают с существенной недогрузкой. В летний период она составляет в среднем 16,2%, в зимний период 22,7 %. При систематической недогрузке создаётся некоторый запас по сроку службы изоляции. Зависимость отключений в результате аварий от срока эксплуатации у таких трансформаторов существенно отличается от блочных трансформаторов на ТЭЦ (см. Рис. 2).

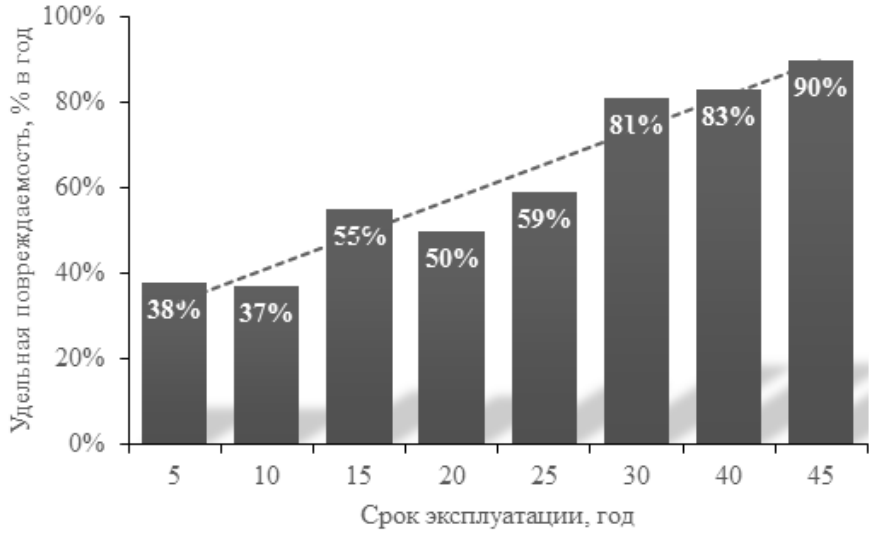


Рисунок 2. Зависимость отключений в результате аварий от срока эксплуатации трансформаторов

Анализируя причины выхода из строя трансформаторов, следует отметить, что наибольшую повреждаемость имеют: высоковольтные вводы – 22%, обмотки – 16%, устройства РПН – 13%. Значительная часть аварийных отключений (23%) связана с утечками масла. Наименьшее число отключений связано с повреждениями магнитопровода (0,5%).

Распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам с указанием продолжительности их эксплуатации показано в Табл. 1.

Таблица 1

Распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам с указанием продолжительности их эксплуатации

Узел	Число повреждений по продолжительности эксплуатации					Всего
	10 лет	10-20 лет	20-30 лет	30-40 лет	более 40 лет	
Обмотки	23	25	23	28	12	111
Магнитопровод	0	0	1	0	0	1
Система охлаждения	2	14	13	1	0	30
РПН	12	28	21	10	0	71
Вводы	15	37	38	31	9	130
Течь масла	12	16	19	11	3	61
Упуск масла	12	22	22	14	5	75
Вандализм	3	6	10	1	1	21
Итого	79	148	147	96	30	500

Как видно из Табл. 1, повреждения обмоток имеют место у трансформаторов с любыми сроками эксплуатации, для РПН наибольшее число повреждe-

ний у трансформаторов со сроками эксплуатации 10-30 лет, для высоковольтных вводов – после 10 лет эксплуатации. По статистике повреждения высоковольтных вводов составляют 22 % от общего числа повреждений. Статистика повреждений высоковольтных вводов в зависимости от срока эксплуатации приведена на Рис. 3.

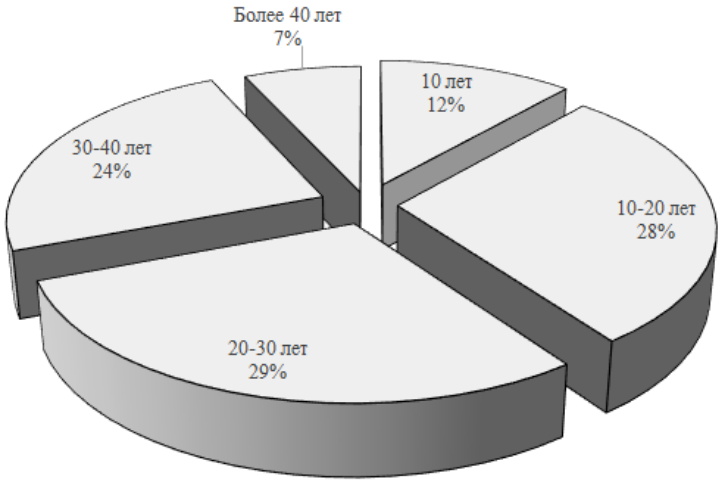


Рисунок 3. Статистика повреждений высоковольтных вводов трансформаторов в зависимости от срока эксплуатации

Обеспечение безаварийной работы трансформаторов, отработавших 25 и более лет, является одной из актуальных задач эксплуатационного персонала. Её успешному решению способствует своевременное проведение всего объёма профилактических работ, предусмотренных ГОСТ и Правилами технической эксплуатации [Алексеев, p. 6] [ОРГРЭС, p. 1.6]. Полный перечень необходимых испытаний приведён в РД 34.45-51.300-97 «Объёмы и нормы испытаний электрооборудования». Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы трансформаторов приведены в РД ЭО 0410-02. Однако производственники отмечают, что часто проведение регламентных работ на старых трансформаторах без надлежащей диагностики становится не просто бесполезной, но даже вредной процедурой. Одним из наиболее повреждаемых элементов трансформатора является устройство РПН, которые выходят из строя в основном из-за конструктивных недостатков и высоковольтные испытания могут только повредить. Их надёжность настолько низка, что на некоторых предприятиях в нормальном режиме РПН предпочитали не использовать, а для сезонно-

го регулирования трансформаторы отключать от сети, производить переключения и после этого снова вводить в работу. У многих трансформаторов, изготовленных в советские времена, установлены РПН болгарского или немецкого производства. Методические указания по наладке таких устройств приведены в СО 34.46.606. С появлением более жестких требований к поддержанию уровня напряжения они вынуждены применять РПН постоянно. В связи с этим возрос интерес к оборудованию и методам диагностики этих устройств. По количеству повреждений в РПН элементы располагаются в следующей последовательности: контактор, предизбиратель, избиратель и другие. К часто встречающимся дефектам можно отнести выход из строя токоограничивающих резисторов, несоосность и ослабление контактов, приводящие к их подгоранию.

Простейшим видом диагностики РПН считается **визуальный осмотр**. Однако активные части трансформатора находятся внутри бака, заполненного маслом. Только «опытный глаз» может обратить внимание на отклонение от нормы и предсказать возникновение аварийной ситуации. Широко распространённый **анализ газов** не позволяет выявить повреждение именно в устройстве РПН, по нему невозможно выявить механические дефекты. **Вибрационный контроль** позволяет выявлять механические дефекты на ранней стадии, но для правильной диагностики необходимо знать спектр звукового сигнала исправного РПН и базу спектров типовых неисправностей. Многие исследователи отмечают, что средства диагностики пришли на предприятия относительно недавно. А состояние устройств РПН трансформаторов, находящихся в эксплуатации 25 и более лет, заведомо далеко от его идеального состояния. **Температурные измерения** имеют эффект только в том случае, если трансформатор работает под нагрузкой. Существует несколько тепловизоров: «Снегирь 700 МТ», «Testo 875-1», «Fluke Ti 32» и другие. Но с их помощью невозможно определить состояние контактов РПН, если они не нагружены. **Измерение электрического сопротивления контактов** без вскрытия бака требует выделения их из полного сопротивления цепи, что не всегда возможно. **Снятие круговой диаграммы** с использованием приборов «ПКР-1», «Ганимед-1» и других требует вскрытия

бака. Этот вид диагностики позволяет выявить различные повреждения в контактной системе избирателей устройства РПН. Если по какой-то причине устройство РПН длительно не используется, то рекомендуется через каждые 6 месяцев выполнять 10 циклов переключений в регулируемом диапазоне с целью очистки от окиси и шлама. **Снятие временной диаграммы** работы контактов требует вскрытия крышки РПН трансформатора. По полученным осциллограммам определяют наличие разрывов в электрической цепи, проверяют временные и вибрационные характеристики дугогасительных контактов.

На рынке диагностического оборудования присутствуют как российские, так и иностранные производители. Их изделия отличаются методами, удобством в работе и ценой. У некоторых из них базовые настройки должны быть внесены в память, что упрощает работу пользователей. Есть приборы, позволяющие производить контроль сразу несколькими способами, позволяющие подойти комплексно к решению задач по диагностике РПН трансформаторов [Чернышев, с. 37].

Широко внедряемые в энергетике трансформаторы с литой изоляцией открывают много возможностей для контроля и диагностики состояния их отдельных узлов. На Кировской ТЭЦ-4 такой трансформатор используется в качестве трансформатора собственных нужд недавно пущенного в работу блока генератор-трансформатор. Если у трансформатора с масляным охлаждением контроль осуществляется по температуре верхних слоёв масла, то у сухих трансформаторов температуру можно контролировать с помощью датчиков PT100 и реле контроля температуры T154. Датчики устанавливаются в различных частях обмоток и магнитопровода. PT100 выдаёт сигнал, пропорциональный измеренной температуре, а PTC выдаёт дискретный сигнал при превышении температуры выше предельного значения. PTC возвращается в исходное состояние, когда температура опускается на 3 градуса ниже значения уставки. Сигналы PT100 и PTC обрабатываются контроллером. При использовании двух датчиков подаётся два сигнала: первый – аварийный, второй сигнал – для от-

ключения нагрузки. Уставки срабатывания двух датчиков отличаются на 20 градусов.

Трансформаторы с литой изоляцией используются в основном на напряжении 6-10 кВ и с точки зрения эксплуатационного персонала проявили себя с лучшей стороны. Вероятно, наступит время, когда сухие трансформаторы постепенно вытеснят масляные на напряжениях 35-110 кВ.

Поддержание в нормальном состоянии оборудования, выработавшего свой ресурс, является первостепенной задачей энергетиков. Для выявления элементов, подлежащих замене в первую очередь, необходима статистика повреждаемости оборудования. К сожалению, официальных сведений в свободном доступе нет, а цифры, приводимые различными исследователями, существенно отличаются друг от друга. Существует несколько устройств для диагностики трансформатора, как российского, так и импортного производства. У каждого из них есть достоинства и недостатки и своя область применения. Попытки авторов статьи сопоставить работу сетевых предприятий Кировской области и республики Марий Эл показали, что в отсутствии достаточного финансирования проблема продления срока эксплуатации трансформаторов решается каждым по-своему без серьёзного экономического обоснования.

Список литературы

1. Анисимов Д. В., Новиков А. В. Анализ технического состояния силовых трансформаторов и методы их диагностики // Электроэнергетика : Всерос.ежегод. науч.-практ. конф., 18–29 апреля 2016 г. Киров, 2016. С. 2070–2074.
2. Чернышев Н. А. Способы диагностики РПН трансформаторов // Промышленные страницы Сибири. 2014. №12. С. 35–37.
3. Львов М. Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. №2. С. 27–31.
4. Башкиров М. Г., Хисматуллин А. С., Галлямов Р. У. Интегральный критерий оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов // Энергетик. 2016. №7. С. 24–26.
5. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. – 6-е изд., с изм. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 256 с.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 256 с.

Звукоизоляция межквартирных перегородок и межэтажных перекрытий в жилых домах

Новосельцев Ю. П.[a], Чумасова Е. В.[b], Шалагинова Е.В.[c]
старший преподаватель кафедры строительного производства [a]
магистрант факультета строительства и архитектуры [b]
старший преподаватель кафедры строительного производства [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a,b,c]
E-mail: n6623591@yandex.ru[a], chumasik@list.ru[b], shelenvit@mail.ru[c]

Аннотация: данная тема актуальна в настоящее время, так как качественная звукоизоляция ограждающих конструкций обеспечивает комфортное проживание в жилых комнатах квартир. Целью статьи является выявить причины возникновения плохой звукоизоляции ограждающих конструкций. В статье обсуждается некачественной звукоизоляция квартир, а именно, звукоизоляция межквартирных перегородок и межэтажных перекрытий. Описываются, какие шумы больше всего беспокоят жильцов, материалы, из которых изготавливают конструкции. Приведены нормативные значения уровня ударного шума перекрытий при передаче звука сверху вниз в жилых зданиях, сравнение их с фактическими. Так же, приведен требуемый индекс изоляции воздушного шума ограждающих конструкций в жилых зданиях, сравнение их с фактическими индексами. Описаны дефекты, которые имеются в конструкциях, сделаны выводы, как они влияют на качество звукоизоляции и проходимость звука из одного помещения в другое.

Ключевые слова: индекс изоляции воздушного шума, индекс приведенного ударного шума, ударный шум, воздушный шум.

Мы все больше стали сталкиваться с некачественной звукоизоляцией квартир, а больше всего жалоб поступает от собственников только что отстроенных жилых домов. Почему же так происходит?

Дело в том, что строители стремятся привлечь покупателей высокими потолками, большими площадями, часто забывая об акустическом комфорте.

Межквартирные перегородки имеют недостаточный индекс изоляции воздушного шума, межэтажные перекрытия не обеспечивают достаточную изоляцию, как от воздушного, так и от ударного шума [Бянкин, с. 3].

Дело даже не в качестве материалов, из которых изготавливается конструкция (хотя это тоже является важным показателем хорошей звукоизоляции) и не из-за устаревших технологий, дело в качественно сделанной ограждающей конструкции. А качество выполнения работ в наши дни сильно страдает. И

причин этому множество: отсутствие образования, малый опыт работ, недостаточный контроль над выполнением работ и т.д.

В результате жильцы слышат бытовой шум соседей: громкую речь, телевизор, звук передвигаемой мебели, т.е. звуки, которые при выполнении нормативной звукоизоляции, должны быть устранены.

Исходя, из моего опыта работ можно сделать вывод, что основной проблемой жилых зданий является ударный шум, т.е. ударный шум под перекрытием, возникающий в результате воздействия на перекрытие сверху.

В основном соседей снизу беспокоят бег, стуки каблуков, удары мячей.

Трудность изоляции от ударного шума заключатся в том, что если вы решили защитить свою квартиру от данных звуков, то попросту сделать это не сможете. Т.к. изолировать вас от ударного шума смогут только соседи сверху, которые и создают этот шум. Если делать дополнительную звукоизоляцию потолка, то ударный шум можно только приглушить, но не устранить его полностью. Поэтому надо договариваться с соседями сверху, а это сделать бывает совсем непросто.

В соответствии с [СП 51.13330.2011, табл. 2] значение требуемого нормативного приведенного уровня ударного шума перекрытий при передаче звука сверху вниз в жилых зданиях равняется 60 дБ. Фактический индекс приведенного ударного шума не должен превышать нормативного значения.

В Табл. 1 представлены индексы приведенных уровней ударного шума измеренные в натурных условиях в жилых комнатах квартир.

Из Табл. 1 следует, что пол без чистовой отделки имеет достаточно низкие показания. А на данный момент очень часто квартиры в новостройках сдаются в черновой отделке, т.е. на полу в квартирах просто залита стяжка, а иногда даже и стяжки нет. Но это уже не соответствует нормам при сдаче жилых домов!

Для сравнения, в Табл. 2 представлены индексы приведенных уровней ударного шума, измеренные в натурных условиях, в жилых комнатах квартир с чистовой отделкой пола.

Таблица 1

Характеристики ударной изоляции типовых перекрытий

Состав перекрытия	Норматив для жилых комнат квартир, L_{nw}, дБ	Индекс по результатам измерений, L_{nw}, дБ	Разница нормативного и измеренного индекса
Железобетонная круглопустотная плита 220мм	≤60	80	Превышение нормы на 20дБ
Железобетонная круглопустотная плита 220мм, цементно песчаная стяжка 70мм	≤60	69	Превышение нормы на 9дБ
Сборная железобетонная плита 160мм	≤60	78	Превышение нормы на 18дБ
Сборная железобетонная плита 160мм, стяжка 50мм.	≤60	65	Превышение нормы на 5дБ
Монолитная железобетонная плита 200мм	≤60	70	Превышение нормы на 10дБ

Таблица 2

Характеристики ударной изоляции типовых перекрытий с чистовой отделкой пола

Состав перекрытия	Норматив для жилых комнат квартир, L_{nw}, дБ	Индекс по результатам измерений, L_{nw}, дБ	Разница нормативного и измеренного индекса
Железобетонная круглопустотная плита толщиной 220мм, полусухая стяжка 50мм, линолеум 3мм.	≤60	57	Выше нормы на 3дБ
Железобетонная монолитная плита 250мм, изолон 5мм и листы ГВЛ 20мм.	≤60	43	Выше нормы на 17дБ
Круглопустотная железобетонная плита 220мм, подложка 4мм и листы ГВЛ 12,5мм	≤60	59	Выше нормы на 1дБ
Круглопустотная железобетонная плита 220мм, подложка 4мм и плиты ОСП 9,5 мм	≤60	53	Выше нормы на 7дБ

Следовательно, можно сделать вывод, что достаточно просто расстелить линолеум по стяжке, что бы конструкция соответствовала нормам. И соседи сверху уже не будут так сильно беспокоить.

Но для перекрытия будет не достаточно соответствовать нормам только по ударному шуму, необходимо, что бы и индекс изоляции воздушного шума перекрытия так же не превышал требуемых значений.

Под звукоизоляцией воздушного шума понимается способность строительной конструкции задерживать часть энергии падающих на нее звуковых волн. Чем массивнее конструкция, тем больше она волн отражает, тем быстрее происходит процесс затухания звука. А если в конструкции находится еще и шум поглощающий материал, то тем больше энергии звука трансформируется в тепловую энергию, тем меньше будет структурный шум, т.е. уменьшаются колебания ограждающей конструкции.

Для проведения измерений воздушного шума очень важным являются условия проведения этих измерений. Т.е. важно понимать, что воздушный шум, может пройти через самую маленькую щель, что испортит даже самую лучшую конструкцию звукоизоляции. Это касается не только перекрытий, но и стен. Поэтому так важно качественно смонтировать ограждающую конструкцию, с заделкой всех стыков.

В соответствии с [СП 51.13330.2011, табл. 2] значение требуемого индекса изоляции воздушного шума ограждающих конструкций в жилых зданиях равняется 52 дБ. Фактический индекс изоляции воздушного шума не должен быть ниже нормативного значения.

Что бы понять, как влияет качество монтажа перекрытий, для примера, в Табл. 3 сравниваются одинаковые конструкции, но с разными условиями проведения измерений.

По Табл. 3 можно сделать вывод, что строители очень часто совершают ошибки в монтаже перекрытий, а конкретно в заделке стыков, отверстий и коммуникаций, проходящих через конструкции. Многие просто не знают, что монтажная пена не отражает и не поглощает звук, она с легкостью его пропускает. А большинство отверстий заполняются именно монтажной пеной. Хотя подробное описание как надо заделывать стыки, отверстия и т.п. приводиться в литературе [Юдин, с. 27-46]

Таблица 3

Сравнение индекса изоляции воздушного шума конструкций перекрытий

№ измерения	Измеренный индекс, Lnw, дБ	Норматив для жилых комнат, Lnw, дБ	Условия проведения измерений	Разница нормативного и измеренного	Примечание
Конструкция: железобетонная круглопустотная плита 220мм, цементно песчаная стяжка 50мм					
1	47	≥52	Не зачеканены гильзы в перекрытии	Ниже нормы на 5дБ	Измерения проводились в одной квартире, после устранения недочетов в перекрытии индекс изоляции вырос на 6 дБ
2	53		Положительные	Выше нормы на 1 дБ	
Конструкция: железобетонная круглопустотная плита толщиной 220мм, полусухая стяжка 50мм, линолеум 3мм.					
1	48	≥52	Имелись сквозные щели в перекрытии, гильзы были заделаны монтажной пеной	Ниже нормы на 4дБ	Измерения проводились в одной квартире, после первого раза были устранены не все недочеты, индекс вырос на 1 дБ, после второго раза индекс изоляции вырос на 6 дБ
2	49		Не все сквозные щели были заделаны	Ниже нормы на 3дБ	
3	55		Положительные	Выше нормы на 3 дБ	

Так же дела обстоят и с межквартирными перегородками. Сравнение одинаковых конструкций стен, но с разными условиями проведения измерений приведено в Табл. 4. Сравнив данные из Табл. 3, 4 можно сразу понять, какую огромную роль играет качество выполненной ограждающей конструкции и как оно сильно влияет на звукоизоляцию межквартирных стен и межэтажных перекрытий.

Поэтому можно сделать вывод, что качество монтажа ограждающих конструкций в жилых домах оставляет желать лучшего.

Таблица 4

Сравнение индекса изоляции воздушного шума конструкций стен

№ измерения	Измеренный индекс, Lnw, дБ	Норматив для жилых комнат, Lnw, дБ	Условия проведения измерений	Разница нормативного и измеренного	Примечание
Конструкция: два слоя силикатного кирпича 90мм (оштукатуренного) с воздушным промежутком 50мм, заполненным мин. Ватой 50мм.					
1	43	≥52	В конструкции стены имелся открытый вент. канал, сквозные розетки	Ниже нормы на 9дБ	Первые два измерения проводились в одной квартире, третье измерение проводилось в другой идентичной квартире. Причиной плохой изоляции оказалась намокшая и осевшая мин. вата при монтаже конструкции стены
2	45		С внешней стороны конструкция стены была выполнена хорошо	Ниже нормы на 7дБ	
3	55		Положительные	Выше нормы на 3 дБ	

Самое страшное, что может случиться с жильцами новостроек на сегодняшний момент это то, что они начинают задумываться о звукоизоляции своего дома только после того как сделали ремонт и поняли, что с такой слышимостью у себя в квартире жить просто невозможно. Приходиться делать дополнительную изоляцию стен, потолков или полов, что подразумевает демонтаж существующей отделки, монтаж звукоизоляции и уже только потом снова чистовая отделка. А это требует больших вложений денежных средств.

Поэтому следует задуматься заранее о качестве ваших межквартирных перегородках, межэтажных перекрытий и дополнительной звукоизоляции, чтобы ничего не мешало вам наслаждаться уютом и покоем в вашем доме.

Список литературы

1. Бянкин Д. В., Шумкин М. В., Малыгин А. В. Звукоизоляция в жилых зданиях. Проблемы и пути решения. Новосибирск: ООО «Акустические технологии», 2008. 21 с.

2. СП 51.13330.2011. Защита от шума [Электронный ресурс]: актуализир. ред. СНиП 23-03-2003: с Изменениями №1. Прин. 28.12.2010; действ. с 20.05.2011. М.: ОАО "ЦПП", 2011. 42 с.

3. Справочник проектировщика. Защита от шума / Е.Я. Юдин и др. М.: Стройиздат, 1974. 139 с.

Особенности строительства в районах вечномерзлых грунтов

Новосельцева Е. Л.[a], Овчинникова Д.С.[b]
старший преподаватель кафедры строительного производства[a]
студентка факультета строительства и архитектуры [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: n6623591@yandex.ru[a],daovch@mail.ru[b]

Аннотация: цель данной статьи – рассмотреть общепризнанные и новые принципы строительства на мерзлом грунте, среди которых выделяются два основных: с сохранением и без сохранения мерзлого слоя (во втором принципе выделяется два метода – предпостроечное оттаивание с уплотнением грунта и оттаивание в процессе эксплуатации здания); в статье также анализируются методы (подсыпки, естественно-вентилируемые подполья, устройство свай различных видов (наиболее распространенные среди них – буроопускные, буровабивные и опускные сваи), сезонно-действующие охлаждающие устройства) и особенности возведения зданий на неустойчивых основаниях, приводятся примеры конструктивных способов придания зданиям устойчивости (повышение общей жесткости или увеличение гибкости).

Ключевые слова: вечная мерзлота, принципы строительства, многолетнемерзлый грунт.

Неблагоприятный климат районов вечномерзлых грунтов создает большое число проблем при возведении зданий и сооружений. Тепло, поступающее от жилых домов, промышленных производств, дорог и трубопроводов, вызывает оттаивание мерзлоты, что в свою очередь приводит к снижению несущей способности оснований и появлению недопустимых деформаций в конструкциях.

Вечная мерзлота – явление глобального размаха. В мире она занимает 35 млн км^2, а это около 25% всей суши планеты. Она распространена в Евразии (горы Исландии, Альпы, Карпаты, большая часть России), Северной Америке (Аляска, часть Канады, потухшие вулканы Мексики), Антарктиде, а также Южной Америке (Анды) и даже в Африке (вулкан Килиманджаро). Единственный материк, где вечная мерзлота отсутствует – это Австралия. В России вечная мерзлота охватывает 60-65% от всей страны, что составляет 11 млн. км^2, и большая ее доля находится в Восточной Сибири и Забайкалье [1].

В областях вечной мерзлоты России сосредоточены более 30% изученных запасов нефти страны, примерно 60% природного газа, огромные месторождения каменного угля и торфа, залежи цветных металлов, а также большая часть гидроэнергоресурсов. Дальнейшее освоение этих территорий и развитие строительства на них становится приоритетной задачей для нашего государства. В то же время жесткий климат не позволяет использовать типичные технологии для возведения зданий и требует учета специфичности северных районов, а также влияния на них таких внешних факторов, как поступление тепла от сооружений и цикличность сезонного замерзания и оттаивания деятельного слоя мерзлоты (верхний «активный» слой).

Цель данной статьи – рассмотреть общепризнанные и новые принципы строительства на мерзлом грунте, учитывающие особенности конструктивных и технологических решений.

Многолетнемерзлым (вечномерзлым) называется грунт, который пребывает в мерзлом состоянии непрерывно или же в течение минимум трех лет [2]. Выделяется два принципа строительства на вечномерзлых грунтах: с сохранением и без сохранения грунта в мерзлом состоянии.

Первый принцип может использоваться, когда издержки на сохранение грунта в его первоначальной структуре экономически оправданы, в местах с твердомерзлыми грунтами (грунты с отрицательной температурой, в которых поровая вода присутствует в замерзшем состоянии) и при большой сейсмичности [2]. Существует достаточно много методов, позволяющих сохранить грунт в мерзлом состоянии.

Одним из методов является возведение строений на подсыпках. Этот метод применяется при небольшой ширине здания и позволяет грунту охлаждаться за счет притока холода с боковых граней подсыпки. Еще один способ заключается в постройке сооружения непосредственно на грунте, но при этом необходимо использовать высокую теплоизоляцию, которая позволит поддерживать грунт в естественном состоянии [3].

Наиболее распространенное на сегодня конструктивное решение – это строительство зданий с естественно-вентилируемым подпольем. Пол первого этажа поднимается над землей не менее, чем на 0,5 м от уровня грунта до низа балок перекрытия. Подполья высотой от 0,5 до 1 м называют низкими, высотой более 1 м – высокими. Высокие подполья применяются для сооружений шириной более 18 м и для зданий с большими тепловыделениями (бани, котельные и т.д.). Над такими подпольями обязательно утепляются перекрытия, а трубопроводы подвешиваются к ним снизу. Подполья организовывают открытыми или с цокольным ограждением, тогда в цокольной стене оставляются просветы для сквозного вентилирования. Промежуток от отмостки до низа отверстия – не менее 300 мм для избегания снегозаноса. Площадь вентиляционных отверстий должна быть не менее 0,25% от площади цокольных стен подполья [4]. Воздушное пространство обеспечивает промерзание почвы в каждый зимний цикл и предотвращает таяние грунтов [5]. По такому принципу возведены даже целые города, например, город Билибино на Чукотке, а также этот метод используют в Норильске, Воркуте, Магадане и многих других северных городах нашей страны.



Рисунок 1. Дом с естественно-вентилируемым подпольем в городе Билибино

Изредка в качестве вентилируемого подполья используют неотапливаемые нижние этажи, если это рационально по технологическим требованиям.

Для снижения влияния теплового выделения здания на мерзлые грунты в качестве фундаментов чаще всего используются сваи. Наибольшее распространение получили следующие виды свай:

- буроопускные (применяют во всех грунтах при их температуре меньше 0,5С; в основании пробуривают скважины диаметром, на 5-10 см превышающим диаметр сваи, затем заполняют скважины грунтовым раствором и погружают в них сваи; после замерзания раствора свая оказывается в вечномерзлом грунте);

- бурозабивные (применяют в пластично-мерзлых грунтах без крупнообломочных включений; производят забивкой свай в предварительно пробуренные лидерные скважины с несколько меньшим диаметром, чем сваи);

- опускные сваи (применяют в твердомезрлых грунтах; сначала производят локальное оттаивание грунта паровой иглой, затем в оттаявший грунт погружают готовую сваю; после промерзания грунта свая оказывается вмороженной в грунт) [6].

Наиболее актуальным способом поддержания температуры мерзлого грунта на постоянном уровне является использование сезонно действующих охлаждающих устройств (СОУ). Известны три типа СОУ: горизонтальные естественно действующие трубчатые системы «ГЕТ», вертикальные естественно действующие трубчатые системы «ВЕТ» и индивидуальные термостабилизаторы [7]. В зимнее время конвекционная циркуляция теплоносителя обеспечивает охлаждение грунтов основания (в качестве теплоносителя наиболее эффективны в использовании сжиженный аммиак и диоксид углерода).

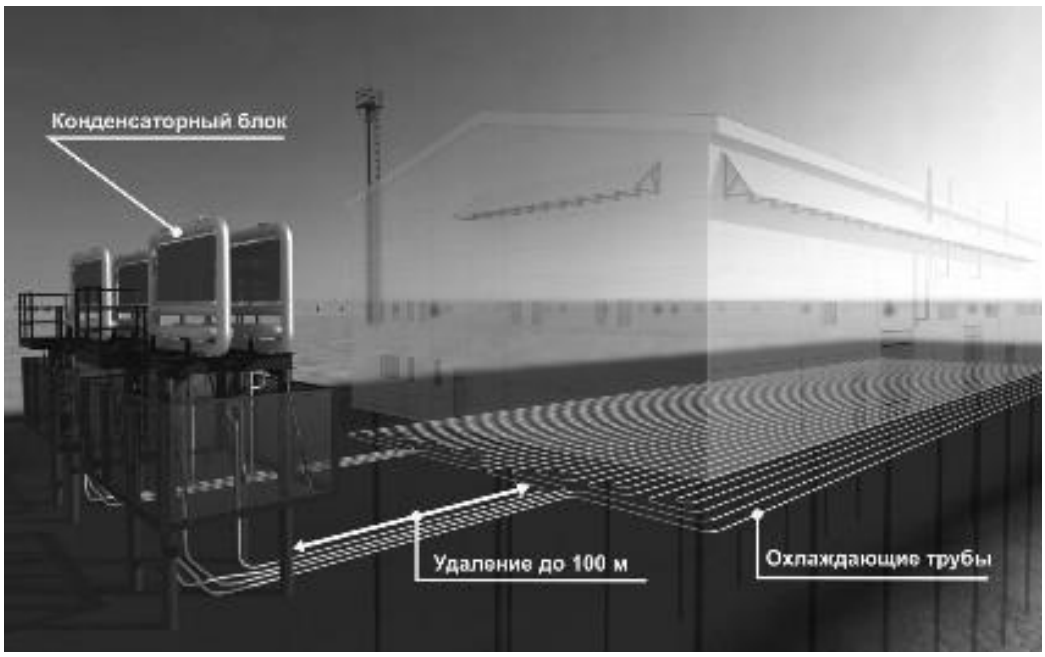


Рисунок 2. Система горизонтальная естественно действующая «ГЕТ»

В летнее время, как только температура верхней части устройства, находящейся на наружном воздухе, становится выше температуры теплоносителя, циркуляция прекращается [8].

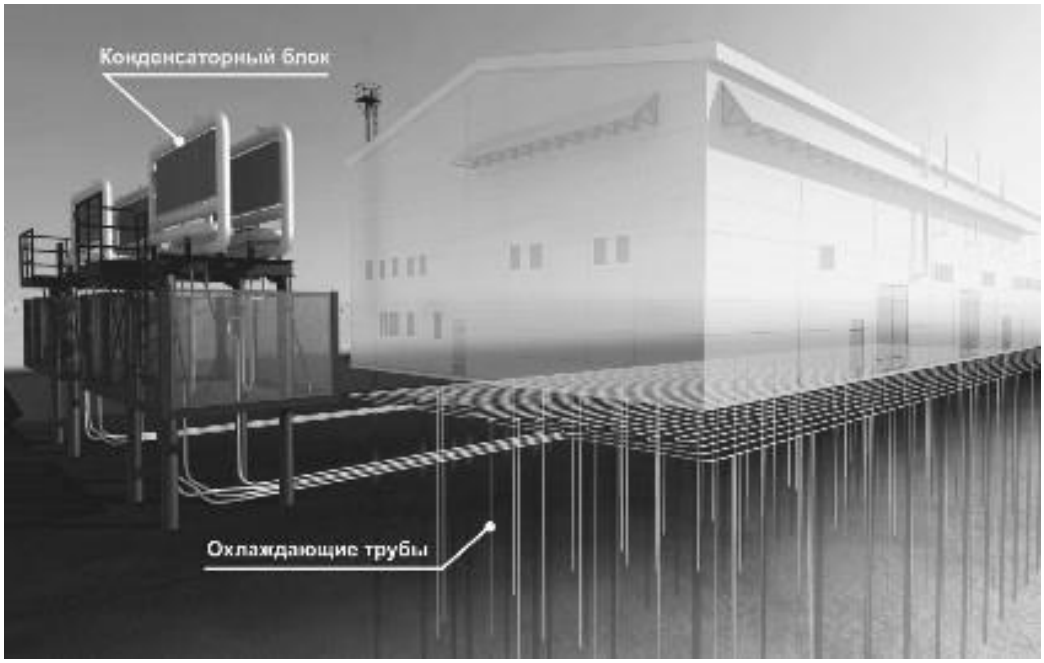


Рисунок 3. Система вертикальная естественно действующая «ВЕТ»

Среди способов по сохранению вечномерзлого состояния грунтов выделяется устройство белой или отражающей поверхности. Действие такого способа было выявлено на практических опытах. Так, под черным покрытием глу-

бина оттаивания аэродромов в городе Тула за лето 1954 г. была 2,25 м, под белым же 1,65 м [Костиенко, стр. 44].

Принцип, когда вечномерзлый грунт используется в оттаянном или оттаивающем состоянии, применяется при наличии скальных или других малосжимаемых грунтов в основании, когда деформации при оттаивании не превышают предельно допустимых, и при несплошном распространении многолетнемерзлых грунтов [2]. Здесь существует два основных подхода: предпостроечное оттаивание с уплотнением и оттаивание грунта в процессе эксплуатации здания.

Для повышения температуры грунта до начала возведения здания наиболее часто используют игловое гидро- и пароотаивание, а также электрический прогрев с применением электроосмоса. В результате предпостроечного оттаивания большая часть осадки основания происходит до постройки сооружения, что значительно улучшает работу фундамента по сравнению с результатом, когда грунты оттаивают в процессе эксплуатации сооружения.

В пределах застраиваемой территории следует предусматривать, как правило, один принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований. Это требование следует учитывать как при проектировании новых, так и реконструкции существующих зданий. Несоблюдение этого правила может приводить к возникновению и развитию недопустимых осадок. Примером может служить здание детского сада в городе Чита, построенное по принципу сохранения линзы вечномерзлого грунта. После нескольких лет эксплуатации к зданию была пристроена столовая, но уже без учета линзы вечномерзлого грунта. В результате этого, через год из-за оттаивания линзы многолетней мерзлоты по несущим стенам здания пошли трещины и возникла аварийная ситуация [9].



Рисунок 4. Аварийная ситуация в г. Чита

Приспособления конструкций зданий к дополнительным осадкам можно добиться двумя способами:

- повысить общую пространственную жесткость и прочность сооружения;
- увеличить гибкость и податливость зданий [3].

Для увеличения жесткости сооружения необходима проработка как конструктивных, так и планировочных особенностей: продольные и поперечные стены нужно располагать симметрично относительно главных осей здания, поперечные несущие стены устраивать на расстоянии не более 12 м; стремиться не допускать изломов стен в плане, внутренние стены выполнять сквозными на всю ширину или длину здания. Также необходимо избегать местных ослаблений стен нишами, каналами и т.д., при этом проемы размещать равномерно и принимать одинаковыми.

Еще один распространенный способ повышения жесткости - это применение металлический и железобетонных поясов в уровне каждого перекрытия, которые стягивают здание по периметру. Также большую роль играет усиление армирования простенков и углов сооружения и применение монолитных конструкций [10].

Во втором случае податливость здания улучшают за счет введения гибких связей между элементами перекрытий, а также между перекрытиями и стенами/колоннами; увеличивают площадь опирания конструкций против сползания и применяют гибкие разрезные конструкции.

В заключение можно отметить, что строительство в районах вечномерзлых грунтов не только обязывает использовать более сложные нетрадиционные решения для возведения зданий, но и представляет собой уникальный опыт и дает возможность применять новые энергосберегающие технологии. Здесь открывается простор для внедрения автоматического регулирования теплового режима зданий, повторного использования утилизированной энергии, применения альтернативных, в том числе возобновляемых, источников энергии, так как именно в северных районах мероприятия по уменьшению затрат на отопление, освещение, работу бытовых приборов и т.д. приобретают большое значение.

Список литературы

1. Где начинается вечная мерзлота. – Режим доступа: http://www.sib-science.info/ru/institutes/vechnaya-merzlota-05022017

2. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – М.: Минрегион РФ

3. Устройство фундаментов в районах распространения вечномерзлых грунтов. – Режим доступа: http://stroy-spravka.ru/article/ustroistvo-fundamentov-v-raionakh-rasprostraneniya-vechnomerzlykh-gruntov

4. Строительство в вечномерзлых грунтах. – Режим доступа: http://rusbuildrealty.ru/books/arhitektura/126.html

5. Костиненко Г.И. Строительство на вечной мерзлоте за рубежом (Аляска, Канада, Гренландия). – Москва: Госстройиздат, 1962. – 60 с.

6. Принципы строительства на вечномерзлых грунтах. – Режим доступа: https://studfiles.net/preview/637023

7. Проблемы строительства и эксплуатации на вечномерзлых грунтах. – Режим доступа: http://www.neftegas.info/article/problemy-stroitelstva-i-ekspluatatsii-truboprovodnykh-obvyazok-avo-i-kompressornykh-agregatov-na-vech/

8. Термостабилизация вечномерзлых грунтов. – Режим доступа: http://www.holodteh.ru/UserFiles/File/Xt-10-13/44-47.pdf

9. Система «ИМЭТ» - решение для строительства на вечной мерзлоте. – Режим доступа: http://time-innov.ru/page/jurnal/2013-2/rubric/2/article/34

10. Проектирование и строительство на вечномерзлых грунтах. – Режим доступа: http://stroy-spravka.ru/article/proektirovanie-i-stroitelstvo-na-vechnomerzlykh-gruntakh

Анализ дефектов при устройстве скатных кровель во время капремонта жилых домов в разных регионах России

Новосельцева Е. Л.[a], Пашкин Е. В.[b], Новосельцев Ю.П.[c]
старший преподаватель кафедры строительного производства[a]
магистрант кафедры строительного производства[b]
старший преподаватель кафедры строительного производства[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
E-mail: n6623591@yandex.rua, c, pashkin.egor2018@yandex.rub

Аннотация: актуальность данного исследования обусловлена таким фактором, что в данный момент в России очень много домов, требующих срочного капитального ремонта крыш. Из-за экономических обстоятельств таких как, сдерживания по «лимитам», неправильного формирования бюджета, неверного составления плана на год, некорректного распределения средств и сжатых сроков, все здания старой постройки отремонтировать не получается. В результате большинство домов не ремонтируются, и имеют непригодные для жилья дефекты. В результате обследования скатных кровель проведен анализ выявленных дефектов для составления дефектных ведомостей и проведения капитального ремонта зданий. В результате проведенных экспертно-диагностических обследований конструкций кровли выявлено несоответствие действующим нормативным требованиям.

Ключевые слова: обследование, разрушение, протекание.

Любой хозяин знает, что для того, что бы дом был в порядке, в первую очередь необходимо следить за состоянием крыши. Все конструкции здания требуют наблюдения и ухода, но с неисправной крышей это бесполезно. Исправная крыша решает проблемы защиты от дождя, снега и других природных воздействий.

Практически каждый день в СМИ появляется информация о том, как жильцы верхних этажей годами пытаются добиться ремонта крыши, страдая от протечек, которые портят ремонт, мебель и делают проживание невозможным.

Кроме функции защиты, крыше отводится еще одна не менее важная роль – быть доминантой в архитектурном облике здания. Исторически сложилось так, что в первую очередь именно крыши определяли облик любого населенного пункта или целого региона [Савельев, стр. 21]

Для проведения обследования технического состояния зданий применяется [ГОСТ 31937-2011], [СП 13-102-2003].

Технологию устройства кровель следует выполнять с учетом требований [СП 70.13330.2011], теплозащита и гидроизоляция должна соответствовать [СП 23-101-2004], а также [СНиП 23-02-2003], предъявляемых к приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций.

В период с июня по ноябрь 2017 года обследовались крыши с холодным чердаком в разных регионах России, изучалось состояние стропильных конструкций крыши, наличие мест выпадения конденсата, гнили на участках стропильной системы, обрешетки, состояние системы утепления чердачного перекрытия. Проведенный анализ дефектов показал, что, как правило, теплоизоляция чердачного перекрытия не удовлетворяет требованиям действующих норм. Разрушенные, а местами полностью закрытые воздухонепроницаемыми материалами слуховые окна не обеспечивают требуемой вентиляции подкровельного пространства. Также было выявлено ряд существенных проблем, удовлетворительное решение которых не удается получить в настоящее время.

При появлении вышеперечисленных дефектов, как правило, происходит появление неорганизованного водостока, разрушение элементов водосточной системы, увлажнение и загрязнение фасадов. При нарушении теплоизоляции на фасадах домов появляются сосульки, которые свешиваются с кровли и балконов. Механическая очистка крыш от снега и наледи очень трудоемка и требует больших затрат.

Характерным примером аварийных (ограниченно-работоспособных) кровель являются результаты обследования домов. Обследование крыш проводилось по адресам:

Владимирская область, г. Александровск, ул. Лермонтова, д. 16;

Кировская область, г. Киров, ул. Карла Маркса, д. 62;

Костромская область, г. Кострома, ул. Дорожная 2-я, д. 8/5;

Нижегородская область, г. Дзержинск, пр-т. Циолковского, д.16;

Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Новая, д. 15.



Рисунок 1. Разрушение стропил, Владимирская обл., г. Александров, ул. Лермонтова, д.16

При обследовании крыши в г. Александров, постройки 1968 года наблюдаются следы намокания и гнилостного поражения элементов стропильной системы (Рис.1), ненадлежащее состояние утеплителя, следы протечек, а так же разрушение кладки вентиляционных шахт, выкрашивание раствора. Состояние кровельного покрытия не соответствует современным требованиям, а так же физически и морально устарело.



Рисунок 2. Намокание фасада, г. Киров, ул. Карла Маркса, д. 62

На крыше дома в г. Кирове, построенного в 1939 году выявлен физический износ водосточных труб, намокание стены вследствие неправильно организованного водостока (Рис.2), разрушение кирпичной кладки шахты, износ кровельного покрытия и ограждения. Следы намокания, частичного гнилостного поражения обрешетки, стропил, ненадлежащее состояние утеплителя.



Рисунок 3. Разрушение кладки, Костромская область, г. Кострома, ул. Дорожная 2-я, д. 8/5

При обследовании дома в г. Кострома, построенного в 1958 году, также видны следы намокания и гнилостного поражения элементов стропильной системы, следы разрушения штукатурного слоя вентиляционных шахт (Рис.3). Состояние кровельного покрытия и слухового окна физически и морально устарело. Состояние утеплителя не соответствует современным требованиям.

При обследовании крыши в доме, построенном в 1962 году в г. Дзержинск сильно заметен износ кровельного покрытия, отсутствие конькового элемента на расстоянии более четырех метров (Рис. 4). В подкровельном пространстве обнаружены следы намокания и гнилостного поражения элементов стропильной системы, разрушение кладки вентиляционных шахт, выкрашивание раствора, а также ненадлежащее состояние утеплителя.



Рисунок 4. Отсутствие конькового элемента, Нижегородская область, г. Дзержинск, пр-т. Циолковского, д.16

В г. Новосибирске проведено обследование трехэтажного дома, построенного в 1960 году. Кровля выполнена из асбестоцементного шифера. Обнаружено загнивание элементов стропильной системы (Рис. 5), отсутствие штукатурного слоя вентиляционных шахт выше уровня кровли, разрушение кирпичной кладки и ненадлежащее состояние утеплителя. Состояние кровельного покрытия не соответствует современным требованиям, а так же физически и морально устарело. По результатам обследования принято решение в составе капитального ремонта скатной крыши предусмотреть замену кровельного покрытия. Полной замене подлежит стропильная система и обрешетка, утратившие несущую способность в результате загнивания деревянных элементов. Необходимо организовать продухи для обеспечения вентиляции чердачного пространства, замену или ремонт слуховых окон. Необходимо произвести огнебиозащитную обработку деревянных конструкций; замену водосточной системы, устройство ограждения и снегозадержания на кровле; восстановление вентшахт; замену люков (дверей) выхода в чердачное помещение на противопожарные люки

(двери); утепление чердачного перекрытия в соответствии с теплотехническим расчетом и, при необходимости с устройством пароизоляции.



Рисунок 5. Гнилостное поражение, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Новая, д. 15

Анализ выявленных дефектов при обследовании конструкций кровли позволяет сделать вывод о ненадлежащем состоянии. Подобные дефекты появляются в результате нарушения технологии при производстве работ, несоблюдения правил эксплуатации, а также отсутствии должного контроля со стороны Муниципальных управляющих компаний.

В случае необходимости изменения существующего конструктива, на основании технического заключения, проектно-сметная документация должна содержать подтверждающие проверочные расчеты.

Результаты анализа проведенного технического обследования крыш, многоквартирных жилых домов, позволяют сделать следующие выводы:

Для обеспечения технически исправного состояния и предупреждения преждевременного износа конструкций необходимо своевременно выполнять технические осмотры, по результатам которых составлять ведомость дефектов с перечнем работ по содержанию и ремонту. Содержание крыш заключается в

проведении очередных и внеочередных технических обследований, очистке кровель от снега и мусора и оперативном выполнении незапланированного ремонта. Изучая проблему эксплуатации скатных крыш, необходимо учитывать влияние каждого из перечисленных дефектов.

В случае необходимости полной замены конструкций крыши, может быть рассмотрен вариант надстройки мансардного этажа по современным технологиям. Мансарда по технологии ЛСТК позволяет не проводить усиление фундаментов.

Несвоевременный ремонт крыши и кровли приводит к разрушению конструкций здания и сокращению срока эксплуатации.

Список литературы

1. А.А.Савельев. Конструкции крыш. Стропильные системы. С., 2009. 130 с.

2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Прин. 27.12.2012; действ. с 01.01.2014. М., 2012. Доступ из норматив.-техн. системы «Техноэксперт».

3. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций. Прин. 21.08.2003; действ. с 21.08.2003. М., 2003. Доступ из норматив.-техн. системы «Техноэксперт».

4. СП 17.13330.2017. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76 и СП 17.13330.2011 Кровли. Прин. 1.12.2017; действ. с 1.12.2017. М., 2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техноэксперт».

5. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Прин. 26.03.2004; действ. с 1.06.2004. М., 2004. Доступ из норматив.-техн. системы «Техноэксперт».

6. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением N 1). Прин. 20.05.2011; действ. с 20.05.2011. М., 2011. Доступ из норматив.-техн. системы «Техноэксперт».

Разработка программного обеспечения терминала Вятского палеонтологического музея

Палкина С.А.[a], Фищева И.Н.[b]
старший преподаватель кафедры автоматики и телемеханики[a]
студент кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: svetlanaalekseevna2014@mail.ru[a], mininairn@yandex.ru[b]

Аннотация: Обсуждается разработка программного обеспечения для информационного киоска. Обосновывается актуальность разработки, исходя из изменений, происходящих в музейной сфере, и приведения программного обеспечения музейного терминала к требованиям, диктуемым современными тенденциями продвижения информационных технологий. Рассматривается архитектура информационной системы. Представлена UML диаграмма вариантов использования разрабатываемой системы. Обсуждается разработка приложения-викторины, которое позволяет посетителям оценить свои знания, а так же сориентироваться в том, какие экспонаты или разделы экспозиции они могли пропустить во время прогулки по музею.

Ключевые слова: разработка программного обеспечения информационного киоска, игра-викторина, технологии представления информации.

По данным опроса ВЦИОМ, приуроченного к проведению акции "Ночь музеев-2017", каждый десятый россиянин ни разу в жизни не посещал музея. В источнике [1] приводятся следующие статистические данные: доля посетителей музеев в нашей стране в целом высока: 89%, однако эти посещения выставок и экспозиций зачастую относятся к давнему времени: так, 52% были в музее более двух лет назад, 16% - один-два года назад. Каждый десятый (11%) признался, что никогда не был в музее", - говорится в отчете. За последний год в музее побывал лишь каждый пятый (21%) россиянин.

По данным опроса, наибольшей популярностью пользуются краеведческие и исторические музеи: 33% и 28% россиян сообщили, что при последнем посещении были именно в них. Чуть реже посетители выбирали художественные (19%), технические (7%) и иные типы музейных комплексов.

Вятский палеонтологический музей существует с тысяча девятьсот девяносто четвертого года, и по праву может считаться одной из основных достопримечательностей города Киров. В нем хранятся экспонаты, найденные во

время раскопок на "Котельническом местонахождение парейазавров". Исследования данного памятника природы ведутся с тысяча девятьсот тридцать третьего года, результаты раскопок стали большим научным открытием. Многие экспонаты Вятского палеонтологического музея не имеют аналогов в мире[2].

За долгие десятилетия, что ведутся раскопки, у исследователей перейазавров и других ископаемых рептилий накопилось огромное количество сведений об изученных объектах. Для того, чтобы предоставить посетителям музея эту информацию в простой и доступной форме, было решено установить в музее информационный киоск с программным обеспечением, которое помогло бы пользователям глубже окунуться в мир палеонтологии. Так в музее появился образовательный терминал. Через некоторое время у руководства музея появилась идея дополнения образовательных функций терминала развлекательными: представления посетителям игр о палеонтологии, а также тематической викторины.

Была поставлена задача разработки программного обеспечения развлекательно-образовательного терминала Вятского палеонтологического музея.

С двухтысячного года в России стали успешно внедряться проекты по информатизации различных сфер деятельности человека. Существенную роль при реализации таких проектов играет разнообразное сенсорное оборудование. Рынок развивается и по сей день, и мы с вами уже привыкли к платежным терминалам и сенсорным информационным киоскам, которые встречают нас на каждом углу в повседневной жизни [3]. На сегодняшний момент практически во всех сферах деятельности человека можно встретить различные виды сенсорного оборудования: информационные киоски, платежные и билетные терминалы, рекламные стойки, банковские платежные терминалы. В музейной сфере чаще всего устанавливаются информационные киоски.

Информационный киоск или терминал - устройство, оснащенное дисплеем с сенсорным экраном и специализированным компьютером. Такой киоск дает возможность ознакомиться с продукцией или услугами учреждения или компании, где он установлен, найти ответы на интересующие вопросы. Информа-

ция, предоставляемая информационным терминалом, должна быть достоверной и актуальной [4].

Приложения для терминалов имеют клиент-серверную архитектуру. Зачастую обе части приложения содержатся в рамках одной машины. Клиентское приложение разрабатывается в формате html-страницы, что обеспечивает удобный переход между компонентами приложения.

Существует множество фирм, которые предлагают системы автоматизированного проектирования для внедрения в пространство информационных киосков музея. Среди них: zorgtech, сенсорные технологии, сенсорные системы, мир киосков. Справочно-информационные музейные системы предлагаемых САПРов состоят из следующих разделов.

- О музее – любая информация о музее.
- Фонды – информация обо всех фондах музея. Посетители могут познакомиться с экспонатами, которые не выставлены в экспозициях музея.
- Экспозиции – позволяет посетителям сориентироваться в музее, составить план осмотра.
- Выставки – предназначен для виртуальных выставок и информирования посетителей о проходящих в музее тематических выставках.
- Информация – знакомит с графиком работы музея, с ценами на билеты и экскурсии, с льготами, которые предусмотрены для различных категорий граждан.

Исходя из достоинств, выявленных в вышеперечисленных приложениях, были сформулированы требования к разрабатываемой программе.

Для наглядного представления функций разрабатываемого приложения, была спроектирована диаграмма вариантов использования, представленная на рис. 1.

Диаграмма вариантов использования предусматривает наличие двух категорий пользователей: посетитель и администратор системы. Отдельно рассмотрим варианты использования для каждой из этих категорий.

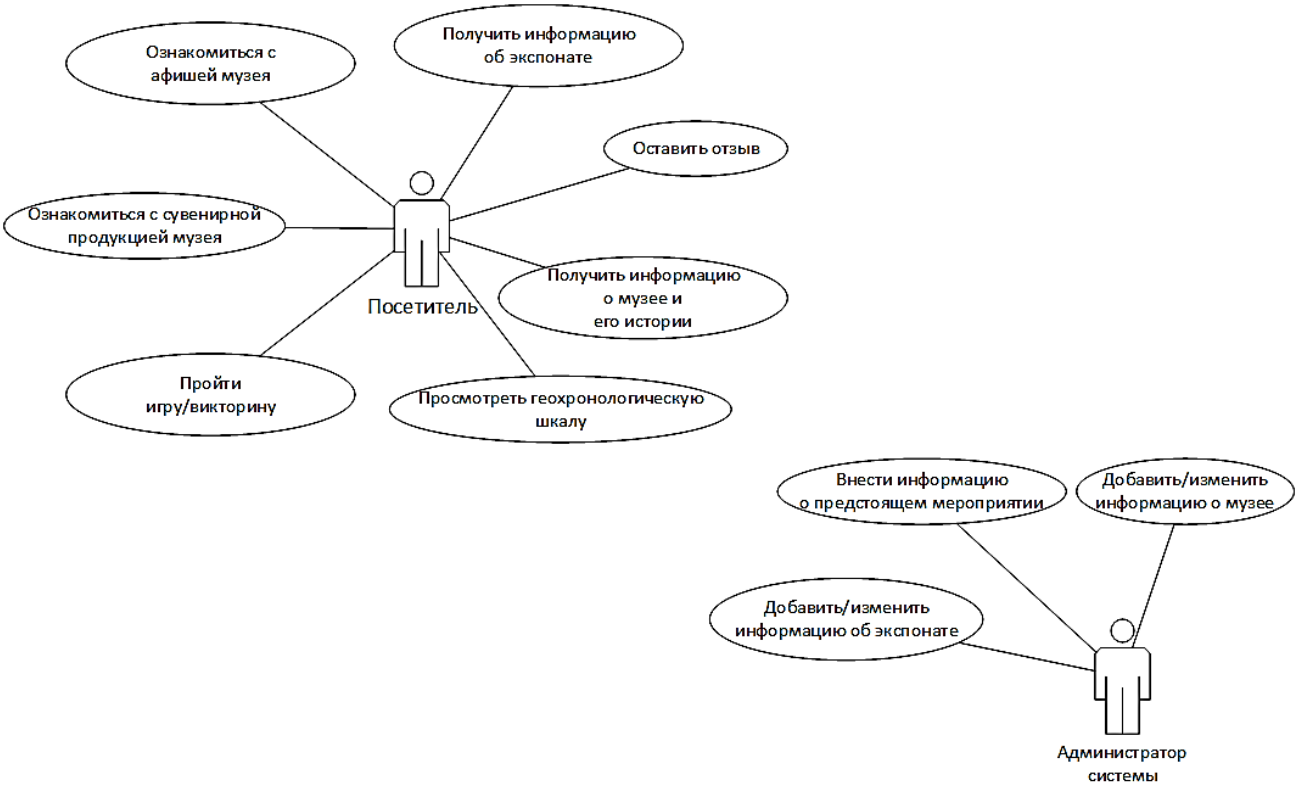


Рисунок 1. Диаграмма вариантов использования

Необходимо предусмотреть следующие варианты использования для категории пользователей «посетитель»:

- ознакомиться с афишей музея;
- получить информацию об экспонате;
- пройти игру/викторину;
- получить информацию о музее и его истории;
- оставить отзыв;
- ознакомиться с сувенирной продукцией музея;
- просмотреть геохронологическую шкалу.

В рамках варианта использования «ознакомиться с афишей музея» посетитель может познакомиться с предстоящими выставками и мероприятиями, планируемыми в учреждении, а также получить подробную информацию, перейдя на страницу с интересующим событием.

Use-case «получить информацию об экспонате» позволяет посетителю ознакомиться с описанием экспоната, просмотреть его фотографии, фото с места раскопок, статьи, информацию о предполагаемом времени жизни экспоната.

Эта функция позволяет не только получить дополнительные данные об экспонатах, но и ознакомиться с теми частями музейной экспозиции, которые находятся на реставрации или в филиале музея.

Функция «пройти игру/викторину» помогает посетителю познакомиться с палеонтологией в игровой форме, а также проверить свои знания о древних живых существах. Для данного проекта была разработана тематическая викторина. Викторина предполагает следующие уровни знания. "Новичок"-посетитель верно ответил не более чем на 20% вопросов. При выборе пользователем верных вариантов в 20-40% вопросов программой определяется уровень "знаток". "Специалист" - 40-60% верных ответов. "Эксперт"-посетитель дал правильный ответ на 60-80% вопросов. Уровень "Гуру" присваивается посетителю за верные ответы на более чем 80% вопросов. Помимо определения уровня знаний викторина позволяет посетителям сориентироваться в том, какие экспонаты или разделы экспозиции они могли пропустить во время прогулки по музею. Окно приложения-викторины представлено на рис. 2.



Рисунок 2. Окно приложения-викторины

Функция «Получить информацию о музее и его истории» позволяет ознакомиться с ценовой политикой музея, получить контактные данные администрации учреждения, а также познакомиться со сведениями о создании и важных событиях для музея.

В рамках варианта использования «ознакомиться с сувенирной продукцией музея» посетитель может выбрать предоставляемые музеем сувениры: магниты, брелоки, буклеты, открытки.

Функция «Просмотреть геохронологическую шкалу» позволяет посетителям познакомиться с геологической временной шкалой истории Земли.

Для категории пользователей «администратор системы» необходимо предусмотреть следующие варианты использования:

- добавить/изменить информацию об экспонате;
- внести информацию о предстоящем мероприятии;
- добавить/изменить информацию о музее.

Функция «добавить/изменить информацию об экспонате» позволяет вносить данные об экспонатах, добавлять фото- и видеоматериалы, касающиеся экспонатов, вносить примечания о том, в архивах находится экспонат или представлен в витринах музея.

В рамках варианта использования «внести информацию о предстоящем мероприятии» администратор системы может добавлять сведения о выставках, проводимых в музее.

Функция «добавить/изменить информацию о музее» позволяет вносить и редактировать данные об учреждении, времени работы, ценах на билеты, контактных данных администрации музея.

В ходе работы была спроектирована информационная система развлекательно-образовательного терминала Вятского палеонтологического музея с использованием объектно-ориентированного подхода. Затем на основе полученных uml диаграмм было разработано программное обеспечение информационного киоска с реализацией приложения-викторины. Для каждой категории пользователей реализована отдельная функциональность

Список литературы

1. ВЦИОМ: каждый десятый россиянин никогда не бывал в музеях. URL: http://tass.ru/obschestvo/4265234 (дата обращения 23.12.2017)

2. Вятский палеонтологический музей. URL: http://suminia.com/ (дата обращения 23.12.2017)

3. ИТ-инновации. URL: http://it-innovations.ru/(дата обращения 09.12.2017)
4. Буслова Н.С., Клименко Е.В. Информационный киоск как компонент информационно-образовательной среды учебного заведения: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией М. П. Лапчика; ФГБОУ ВПО "Омский государственный педагогический университет". 2014 – С. 111-113

Подходы к реализации нейронных сетей на аппаратном уровне

Панкратов П. С.[a], Малышев Е. Н.[b]
магистрант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода
и автоматизации промышленных установок[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: pavel.s.pankratov@yandex.ru[a], malyshev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В статье рассматриваются альтернативные варианты построения аппаратной системы вычислений, нацеленной на разработку регуляторов и прочих устройств контроля и управления, в основе которых лежит нейронная вычислительная сеть. Построение данных систем является актуальной темой в современных условиях в силу многопараметричности и нелинейности решаемых задач. Показано, что получение приемлемого результата от использования нейронной сети возможно при вычислении влияния всех нейронов в каждом слое сети. Как правило, такие операции производятся над числами с плавающей запятой. Отмечено, что современные процессоры содержат в себе аппаратные вычислители операций над числами с плавающей запятой, тем не менее, при достаточно насыщенной структуре нейронной сети объём этих вычислений остаётся затратным в плане времени. Отсюда очевидный способ ускорения получения результата – распараллеливание задачи. Рассмотрены три возможных варианта реализации: многоядерные системы, программируемая логика и кластерные системы. Показано, что программируемые интегральные схемы имеют для данного применения максимальные преимущества, основные из которых повышение производительности системы, без повышения тактовых частот и лучшие энергетические показатели. Статья носит обзорно-информативный характер, и нацелена на читателя, интересующегося эффективными подходами к построению управляющих устройств.

Ключевые слова: Нейронная сеть (НС), программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), система на кристалле (СНК), параллелизм вычислений.

Одним из эффективных методов достижения поставленной задачи в различных областях науки и техники является разработка комплекса решений, основанных на подобии реально существующих объектов. Мозг живых существ является мощным вычислительным механизмом, способным к параллельному решению многих задач: контроль за внешней средой, управление функциональным состоянием, предугадывание различных ситуаций, опираясь на предыдущий опыт и другое. Одной из ключевых особенностей «биологического вычислительного устройства» является способность принятия решений, ка-

сающихся объектов с которыми ранее не было какого-либо взаимодействия, что в итоге приводит к накоплению информации о них и впоследствии более верным ответным реакциям. Способность к обучению и накоплению опыта позволяет контролировать сложные нелинейные объекты, зависящие от многих параметров не строя при этом сложные математические модели. Также огромным достоинством является высокое быстродействие в силу массовой параллельности протекающих процессов.

Имитация процессов, протекающих в мозге, послужила развитию теории нейронных сетей. Подробная их реализация выходит за рамки данной статьи, тем не менее, следует отметить некоторые ключевые моменты. Нейронная вычислительная сеть представляет собой систему, которая в отличие от чёткого выполнения данных ей инструкций, проходит этап обучения, в процессе которого корректируются так называемые весовые коэффициенты связей. Нейронная сеть имеет слоистую структуру. Нейроны предыдущего слоя передают воздействия на следующий слой с учётом весовых коэффициентов. Выходное воздействие формируется, основываясь на суммарном взаимодействии всех отдельно взятых нейронов с их связями. В итоге это позволяет адаптировать ответные реакции на выходе под явные или неявные закономерности во входных параметрах. Таким образом, достигается возможность построения устройств регулирования и управления объектами без знания или отсутствия у них заранее описанных свойств. Нейронная сеть может иметь различную форму. Однако, существуют моменты, присущие всем нейронным сетям, например, большой объём вычислений, требуемый для получения результата.

Вычислительные мощности современных устройств достигают приемлемых уровней, тем не менее, задача реализации нейронной сети на аппаратном уровне нетривиальна. Как было отмечено выше, расчёт выходного значения подразумевает вычисление влияния всех нейронов в каждом слое сети. Как правило, вычисления эти производятся над числами с плавающей запятой. Суммарное количество нейронов и слоёв зависит от конкретной системы, при их недостаточности сеть будет необучаемой, а переизбыток приведет к высо-

ким накладным расходам на расчёты. Перевод данных расчетов в разряд целочисленных допустим, но естественным образом это может привести к ухудшению показателей обучаемости, а следственно, и способности принятия верных решений. Современные процессоры содержат в себе аппаратные вычислители операций над числами с плавающей запятой, тем не менее, при достаточно насыщенной структуре нейронной сети объём этих вычислений остаётся затратным в плане времени. Очевидным решением является распараллеливание данных вычислений. Присматриваясь к структуре нейронной сети прямой передачи (Feedforward neural network), являющейся одной из самых распространенных с точки зрения топологии, вычисление отдельно взятого нейрона в слое не зависит от вычисления других нейронов в данном слое, что является замечательной предпосылкой для проведения одновременных расчетов. Зависимость прослеживается лишь между слоями, где для вычисления каждого последующего слоя используются значения предыдущего.

Распараллеливание вычислений подразумевает под собой наличие нескольких вычислителей. Доступными решениями здесь могут быть многоядерные системы, программируемая логика или комбинация ПЛИС и процессора – так называемая система на кристалле. Помимо этого, возможность реализации распараллеливания присуща и кластерным системам, например при помощи интерфейса MPI – Message Passing Interface, но т.к. зачастую целью является разработка компактного решения, данный метод выходит за рамки рассмотрения.

Построение нейронной сети на базе многоядерной системы, даёт повышение быстродействия в количество раз, близкое к числу ядер процессора. Доступным интерфейсом для реализации на программном уровне является OpenMP – Open Multi–Processing. OpenMP – это открытый стандарт распараллеливания программ на языках семейства СИ и фортран. Данный стандарт достаточно просто позволяет распараллелить программную реализацию нейронной сети. Преимуществом данного решения является простота реализации на программном уровне. Реализованная под одноядерное вычислительное устрой-

ство [1] нейронная сеть может быть распараллелена на необходимое количество параллельных потоков, выполняемых на разных ядрах процессора одновременно. Что в итоге и даёт прирост в производительности. Недостатком же такого решения остаётся последовательный доступ к памяти для получения данных на вычисления, так как шина, используемая многоядерным процессором, для обращения к оперативной памяти в большинстве случаев одна.

Данного недостатка лишен способ реализации на базе программируемой логики (ПЛИС) [2]. В своём составе ПЛИС имеет ячейки памяти, в которых могут сохраняться значения весовых коэффициентов. Это позволяет реализовать прямой доступ к ним от вычислителей. Что касается последних, то на базе ПЛИС возможно разработать узконаправленное вычислительное устройство, которое на аппаратном уровне буде производить все требуемые расчеты. При достаточном объёме логических ячеек ПЛИС и не слишком высоком количестве нейронов в слое сети, возможно размещение на одном кристалле всего необходимого набора вычислителей и ячеек памяти для расчета целого слоя, таким образом достичь практически максимально возможного уровня производительности, так как весь слой рассчитывается параллельно. Тем не менее, реализация на ПЛИС интерфейсов взаимодействия с пользователем, а также логики обучения нейронной сети – задача довольно ресурсоемкая. В данном аспекте системы, реализованные на базе процессоров, остаются в выигрыше.

Сочетая в себе все преимущества процессорных систем и программируемой логики, системы на кристалле в данном отношении выходят на передний план. Наличие процессора позволяет переложить на него задачи коммуникации по интерфейсам связи, и человеко-машинного интерфейса, а также процесса обучения нейронной сети, который не так требователен к ресурсам, в случае отсутствия «обучения на лету». В общем случае, нейронную сеть достаточно обучить один раз минимально необходимым набором тренировочных данных. После обучения значения весовых коэффициентов помещаются в ячейки памяти ПЛИС. Тем самым достигается оптимальная производительность при непосредственной работе нейроконтроллера или нейрорегулятора – вычисления

происходят в реальном времени, задействуя весь потенциал программируемой логики. А обучение происходит вне обстоятельств управления на первоначальном этапе. Для ускорения процесса обучения возможно применение ранее описанного стандарта OpenMP, в случае многоядерности процессора. Следует отметить, что на базе многоядерного процессора возможно построение трёх типов систем SMP – Symmetric Multiprocessing, AMP – Asymmetric Multiprocessing, BMP – Bound Multiprocessing [3]. В целом различие данных подходов заключается в совместном или раздельном использовании процессами ядер с жёсткой привязкой процесса к определённому ядру или без неё. Данные подходы могут стать программным расширением функциональности разрабатываемой аппаратной системы в случае зависимости вычислений от процессора. Например, входные данные для нейронной сети поступают по сети Ethernet. Благодаря разделению процессов взаимодействия с сетью и человеком на разные ядра системы в несимметричном режиме не произойдёт такой ситуации, что активный опрос сети вызовет подвисание человеко-машинного интерфейса и наоборот, загрузка, обработка и отображение больших объёмов данных для пользователя не повлияет на производительность вычислений для корректной работы нейроконтроллера или нейрорегулятора.

Разделение ресурсоёмких задач на параллельные процессы позволяет естественным путём повысить производительность системы, без повышения тактовых частот, что помимо прочего может привести к лучшим энергетическим показателям и меньшим затратам на теплоотвод. Перевод параллельных однотипных вычислений на аппаратный уровень, и обработка последовательных событий программно на процессоре дают наиболее логичный симбиоз. Актуальными задачами на данный момент являются:

– практическая реализация нейрорегуляторов и нейроконтроллеров на базе систем на кристалле;

– исследования эффективности построенных систем;

– разработка методик построения данных систем;

– обучение подходам в построении.

Список литературы

1. New CMSIS-NN Neural Network Kernels Boost Efficiency in Microcontrollers by ~5x. URL: https://community.arm.com/processors/b/blog/posts/new-neural-network-kernels-boost-efficiency-in-microcontrollers-by-5x/ (дата обращения 10.02.2018).

2. FPGA Acceleration of Convolutional Neural Networks. URL : http://www.nallatech.com/fpga-acceleration-convolutional-neural-networks/ (дата обращения 10.02.2018).

3. Running AMP, SMP or BMP Mode for Multicore Embedded Systems. QNX Software Systems. URL : https://cache.freescale.com/files/32bit/doc/brochure/PWRARBYNDBITSRAS.pdf (дата обращения 10.02.2018).

Разновидности древесного сырья для камерной сушки

Папулова И. Е.[a], Бортникова О. В. [b]
старший преподаватель кафедры МТД[a]
студент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: ol.bortnickova@yandex.ru[b]

Аннотация: Одним из самых важных этапов в обработке древесины является её сушка. Сушкой древесины называют процесс удаления влаги из древесины путём испарения или выпаривания, вследствие чего изменяются её эксплуатационные и физические свойства.

Сушку древесины можно проводить как до раскроя пиломатериалов на заготовки, так и после него. В соответствии с этим выделяют следующие варианты сушки древесины.

Чаще всего на производственных предприятиях сушку древесины проводят в досках. Однако в данном пиломатериале при процессе сушки возникают внутренние напряжения, которые уравновешиваются в пределах данной доски. При дальнейшем раскрое данной доски каждая полученная заготовка будет стремиться к новому равновесному состоянию путем деформаций, что может вызвать коробление.

Ключевые слова: сушка, виды, пиломатериалы, древесина.

1. Сушка пиломатериалов, таких как брусья, бруски, доски.



Рисунок 1. Возможные дефекты пиломатериала после процесса сушки.

При проведении процесса сушки необходимо учитывать то, что сушка толстых пиломатериалов достаточно сложна, так как чем толще доска, тем больше перепад влажности по сечениям, что в свою очередь приводит к большим внутренним напряжениям. При меньшей толщине доски внутренних напряжений возникает меньше, так как процесс протекает более равномерно.

Таким образом, выявлено, что вероятность того, что доска высушена качественно, увеличивается с уменьшением толщины доски.

Также при подготовке доски к сушке, нужно убедиться в том, чтобы все доски имели равную толщину, так как при разнице в размерах толстые доски могут с недостаточным усилием прижимать более тонкие, что негативно скажется на качестве последних. Такая неверная сушка грозит деформацией тонких досок.

После сушки досок при раскрое их на заготовки учитываются образовавшиеся дефекты – коробление, появление трещин, а также выявляются недопустимые в заготовках природные пороки вследствие калибровки. Благодаря калиброванию выход качественных чистовых заготовок значительно увеличивается.

Как показывает практика, при проведении процесса сушки сырых досок до раскроя их на заготовки, общий полезный выход качественных чистовых заготовок не превышает 50%.



Рисунок 2. Пиломатериалы, высушиваемые до раскроя их на заготовки

2. Сушка черновых заготовок – делянок, имеющих припуск на обработку.

При проведении процесса сушки после раскроя досок на черновые заготовки проще добиться равномерного распределения влажности в заготовке. Однако при таком способе из-за дефектов сушки снижается полезный выход непосредственно заготовок, так как такие их не всегда удается обработать на чистовые без превышения нормы допуска. Также выход чистовых заготовок

снижает коробление, которое вызывается фрезерованием противоположных сторон черновой заготовки с целью снятия разнотолщинности.

Преимущество данного способа сушки состоит в том, что при проведении процесса сушки нет лишней траты тепла, как при сушке в пиломатериалах до раскроя, где рассматриваемому процессу подвергается и та часть древесины, которая в последствии уйдет в отходы.



Рисунок 3. Пиломатериалы, высушиваемые после раскроя на заготовки.

Оборудование для сушки пиломатериалов

В условиях промышленности процесс удаления влаги из пиломатериалов может проходить в нескольких вариантах. Условия сушки выбираются в зависимости от величины влажности исходного пиломатериала и нужных показателей необходимого продукта на выходе.

Сушка в производственных условиях проводится следующими тремя наиболее распространенными способами:

1. *Атмосферная сушка.* Данный способ является наиболее простым способом сушки древесины. При таком способе пиломатериал укладывают в штабеля, в которых влажность данного пиломатериала понижается с помощью агента, которым является воздух. Недостатком данного способа является то, что

состояние воздуха почти неконтролируемо, так как зависит от климата, погоды и времени года местности.



Рисунок 4. Пиломатериалы, высушиваемые в атмосферных условиях.

2. *Камерная сушка.* Наиболее распространенный вариант сушки пиломатериалов. Источником тепла в таких камерах может быть пар, выходящий из парового котла, а также топочные газы, которые получают от сжигания топлива в предназначенных для этого топках. Недостатком данного способа сушки являются расходы на оборудование сушилок и высокие затраты тепла на нагрев воздуха.

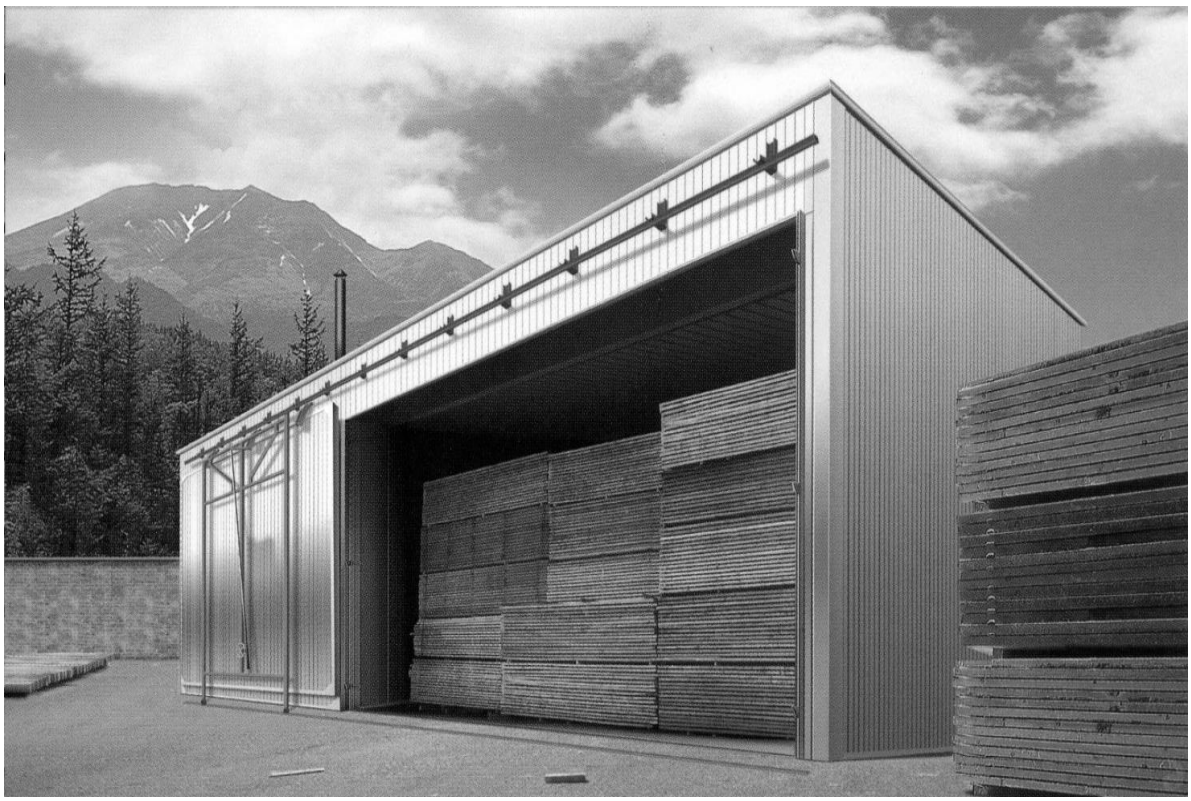


Рисунок 5. Пиломатериалы, высушиваемые в камерной сушилке проходного типа.

3. *Вакуумная сушка.* Данный способ не слишком распространён. Технология вакуумной сушки полагает, что для убыстрения данного процесса формируется вакуум, вследствие чего возникает нужная для сушки пиломатериала энергия. Вакуумная сушильная камера является довольно универсальной, имеет множество функций, в ней можно высушить пиломатериал абсолютно любого качества и намного быстрее, чем в других видах сушильных камерах. Представленный метод обеспечит равномерную сушку, в процессе которой самоустраняются напряжения внутри материала, что достаточно сильно снижает вероятность появления коробления или трещин. Однако данный способ еще более затратен, чем сушка в камерах, поэтому использование этого метода практически невозможно на небольших предприятиях.



Рисунок 6. Вакуумная камера для сушки обрезных досок.

Требования к качеству черновых заготовок после сушки

Пиломатериалы, подвергнутые сушке, должны качественно соответствовать своему предназначению. Из-за различного их назначения различными должны быть и предъявляемые к качеству сушки требования. В зависимости от них устанавливаются следующие категории качества сушки:

Первая категория — высушивание пиломатериалов до влажности, эксплуатации, которое обеспечивает механическую обработку деталей и сборку изделий по 1 классу точности (создание музыкальных инструментов, точное машиностроение, деревянные клеевые несущие конструкции, производство лыж и т.п.).

Вторая категория — высушивание пиломатериалов до эксплуатационной влажности, которое может обеспечить механическую обработку и сборку по 2 классу точности (производство мебели, корпуса для клавишных инструментов, столярно-строительные изделия, деревянные строительные конструкции и т.п.).



Рисунок 7. Производство дверных блоков.

Третья категория — удаление влаги из пиломатериалов до эксплуатационной влажности, позволяющее механически обработать детали собрать их по 3 классу точности (всевозможная тара, столярно-строительный погонаж, товарное вагоностроение и т.д.).



Рисунок 8. Столярно-строительный погонаж.

Нулевая категория — сушка до транспортной влажности товарных пиломатериалов.

Список литературы

1. Кречетов И.В. Сушка и защита древесины / Учебник для техникумов. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 328 с.

2. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесн. пром-ть, 1987. - 360 с.

3. Сушка древесины для изготовления мебели: особенности, рекомендации, 2015. URL: http://blog.flexyheat.ru/sushka-drevesiny-dlya-izgotovleniya-mebeli-osobennosti-rekomendacii/

Отделка стеновых панелей из массивной древесины защитно-декоративными покрытиями

Папулова И. Е.[a], Колупаева М. И. [b]
старший преподаватель кафедры МТД[a]
студент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: lbyfkkflby@gmail.ru[b]

Аннотация: Завершающей операцией технологического процесса, как правило, является нанесение защитно-декоративных покрытий на поверхности изделия. Цель данной отделки состоит в придании поверхности декоративного вида, равномерно окрашенной поверхности изделия, защита от разрушений под действием внешней среды. Такие поверхности называют подложками. В качестве подложек в производстве изделий из древесины и древесных материалов применяются: натуральная древесина различных пород в виде массива, шпона строганого и лущеного; древесностружечные и древесноволокнистые плиты; древесные листовые материалы, облицованные бумажно-смоляными или синтетическими пленками. Применяемые породы, в основном, это лиственные, кольцесосудистые, такие, как: дуб, ясень, ильм, бархатное дерево. Иногда в качестве подложек применяют рассеяннососудистые породы: орех, липа, клен, бук. Так как защитно-декоративные покрытия являются завершающей операцией, то к ним относятся с особой осторожностью, чтобы не испортить предыдущие операции.

Ключевые слова: Стеновые панели, массив, защитно-декоративные покрытия, подготовка поверхностей.

1. Столярная подготовка поверхностей к нанесению защитно-декоративных покрытий

Перед обработкой защитно-декоративными покрытиями изделие проходит столярную подготовку поверхностей. Различают подготовку под прозрачные и непрозрачные покрытия.

На обрабатываемых поверхностях под прозрачную отделку не допустимы пороки, превышающие нормы, предусмотренные техническими требованиями на мебель. Прозрачную отделку, как правило, проводят на изделиях из древесных пород, имеющих красивую текстуру. Непрозрачная отделка находит применение при покрытии древесных пород с невыраженной текстурой. К ним относится большинство хвойных пород и некоторые лиственные [Бобиков, с.88].

Столярная подготовка поверхностей заключается в следующих операциях:

1) Форматная обрезка

Лучше производить на станках с нижними подрезающими пилами, которые устраняют сколы на нижней пласти щитов. Наилучшим вариантом можно считать трехстороннюю форматную обрезку, при которой сначала работает двухпильный концеравнитель для формирования чистового размера щита по длине, а затем идет опиливание одной кромки на однопильном станке с направляющей линейкой.

2) Ремонт щитов

На данном этапе производится заделка сучков, трещин, ликвидации смоляных кармашков. Образовавшееся отверстие после высверленного сучка и трещины заделывают специальными вставками (пробками). Вставки могут быть высверлены поперек волокон древесины или выточены из сучьев. Во втором случае вставка копирует древесину, и щит выглядит более естественно. Ремонт щитов применяется при непрозрачной отделке.

3) Зачистка поверхности

Основная цель данной операции – достижение требуемых характеристик поверхностей по шероховатости. Для отделки полиэфирными лаками и кроющими эмалями изделия должны иметь гладкие лицевые поверхности шероховатостью $R_{m\ max} \leq 32$ мкм. При отделке нитроцеллюлозными и полиуретановыми лаками шероховатость ограничивается $R_{m\ max} \leq 16$ мкм. Зачистку выполняют шлифтиком с самой тонкой стружкой. Поверхности изделия не должны иметь дефектов механической обработки в виде волн, сколов, заусенцев и ворсистости [Жуков, с.22].

Зачистка поверхности не всегда справляется с этими проблемами, поэтому механическую обработку заканчивают зачисткой поверхности циклеванием, шлифованием или термопрокатом. Эти конечные технологические операции осуществляют с минимальным снятием слоя или небольшой упрессовкой, не оказывающей существенного влияния на точность размеров.

4) Циклевание

Это особый вид строгания поверхности специальным ножом – циклей. Циклевание производят вдоль волокон. В основном циклеванию подвергаются поверхности древесных твердых лиственных пород, хвойные породы после данной операции приобретают шероховатость поверхности. Деталь, обрабатываемая на циклевальном станке, должна иметь разнотолщинность не более толщины снимаемого слоя – 0,15 мм. Обработка детали циклеванием позволяет добиться высокого качества поверхности, соответствующего $R_{m\,max} \leq 16$ мкм.

5) Шлифование

Шлифование завершает столярную подготовку поверхности к отделке, окончательно сглаживая и выравнивая ее. Шлифующие материалы выступают в качестве паст, порошков, шкурок, содержащих абразивные мелкие зерна с острыми гранями. Предпочтительно выбирать шкурки с редкой насыпкой зерен. Шкурки, имеющие сплошную насыпку зерен, быстро забиваются пылью, замедляя при этом работу.

Шероховатость поверхности, получаемой при шлифовании, зависит от плотности древесины, зернистости шкурки, исходной шероховатости детали, скорости резания, скорости подачи, усилия прижима шлифовальной шкурки к шлифуемой поверхности, времени работы шкурки. Изменяя любые из этих параметров можно оказать влияние на конечный результат шлифования – величину $R_{m\,max}$. Чистовое шлифование позволяет добиться шероховатости поверхности $R_{m\,max}=16$ мкм. Сокращение времени от момента шлифования до начала отделки повышает качество отделочных покрытий.

6) Термопрокат

При термопрокате происходит повышение качества обрабатываемой поверхности древесины без удаления слоя. Данный метод состоит в том, что при воздействии нагретых полированных валиков на поверхностные слои древесины происходит их уплотнение с пластической деформацией неровностей и образованием тонкой пленки из расплавленных смол и камеди древесины. Благодаря эффекту проутюживания и появлению этой пленки поверхность древеси-

ны становится гладкой, без ворса и мшистости. Термопрокат используют для подготовки поверхности древесины под отделку нитроцеллюлозными лаками.

2. Отделочная подготовка поверхностей к нанесению защитно-декоративных покрытий

Отделочная подготовка окончательно выравнивает и выглаживает подложки, уплотняет поверхности, обеспечивает прочное сцепление древесины с лакокрасочными пленками, улучшает или изменяет цвет при отделке. Эта операция включает в себя обессмоливание, отбеливание, крашение, грунтовку и шпатлевание. Иногда, в зависимости от используемой породы древесины, в состав технологического процесса подготовки к отделке вводят антисептирование древесины. Так, древесина березы, ольхи, липы, осины, тополя не является стойкой к гниению.

1) Обессмоливание

Особенно актуально использовать обессмоливание для хвойных пород древесины. Смола выступает на подложки, что значительно затрудняет их дальнейшую отделку, ухудшая адгезию лакокрасочных материалов. Для обессмоливания используют жидкие составы, растворяющие (ацетон или тетрахлорметанол) или омыливающие (углекислые соли кальция и натрия) смолу.

2) Отбеливание

В основном используют на поверхностях древесины, имеющих пятна. Для осветления используют комбинированные составы: 10 % раствором щавелевой кислоты или 15 % раствором перекиси водорода с добавлением двухпроцентного раствора нашатырного спирта. Растворы ядовиты, поэтому нанесение их на древесину производится щеткой или кистью. В результате воздействия отбеливающих составов поверхности приобретают более светлый цвет, выравнивается цвет ядра и заболони, выводятся пятна.

3) Крашение

Крашение применяют для имитации малоценных пород под ценные, придания равномерного цветового фона с сохранением текстуры при помощи раз-

личных красителей, пигментов и протрав. Наиболее распространено поверхностное крашение, при котором используют в основном водорастворимые синтетические красители для дерева.

4) Грунтование и порозаполнение

В качестве грунтовки выступает суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в связующем веществе. Грунтовками пропитывают поверхностные слои древесины, при этом заполняются поры древесины и после высыхания образуется непрозрачная однородная пленка с хорошей адгезией к подложке и покровным слоям. Грунтование значительно уменьшает расход лака и улучшает качество отделки.

5) Шпатлевание

Шпатлевание бывает местное и сплошное. Для местного применяются густые шпатлевки, заполняющие местные углубления, трещины, впадины. Жидкие шпатлевки предназначены для сплошного выравнивания мелких неровностей по всей поверхности. Шпатлевание также повышает устойчивость древесины к впитыванию влаги, особенно торцовых поверхностей при возможных соприкосновениях изделий с каменной кладкой и металлическими деталями.

Нанесение красителей, порозаполнителей и шпатлевок производится вручную, распылением, на вальцовых и вальцово-ракельных станках.

6) Антисептирование

При условии эксплуатации изделий при влажности воздуха ниже 75% достаточно применять только защитные влагостойкие покрытия. Однако в случае возможного соприкосновения изделия с влажными поверхностями введение антисептика в окорочный состав не предохраняет от поражения грибками. Для защиты от поражения грибками при проникании влаги через дефектные места покрытия (или при высокой проницаемости окрасочной пленки), необходимо антисептирование поверхности изделия. Для антисептирования клееной древесины не рекомендуется использование водорастворимых антисептических препаратов, поскольку после обработки ими велика вероятность коробления и рас-

трескивания древесины при высыхании. Предпочтительнее применять органикорастворимые антисептические препараты.

3. Отделка панелей лакокрасочными материалами (ЛКМ)

Отделка ЛКМ включает несколько этапов:

– нанесение ЛКМ;
– сушка;
– шлифование.

Подготовленная поверхность древесины покрывается лаками, красками и эмалями. Лаковая пленка обеспечивает изделию красивый внешний вид и защиту поверхности от влаги.

Нанесение ЛКМ может осуществляться несколькими методами:

– нанесение вручную;
– метод распыления;
– отделка в электрическом поле высокого напряжения;
– метод струйного облива с выдержкой в парах растворителя;
– нанесение покрытия наливом;
– метод окунания;
– отделка вальцеванием (накатом).

Выбор способа нанесения ЛКМ по большей части зависит от размеров и формы отделываемой поверхности, необходимой толщины создаваемого покрытия, уровня механизации процессов отделки на предприятии.

2) Сушка

В процессе сушки жидкие лакокрасочные покрытия отвердевают за счет сушильного агента, который может выступать в качестве воздуха, инфракрасных лучей. По виду сушильного агента различают сушку естественную и искусственную. Сушка ЛКМ осуществляется путем испарения летучих растворителей из отделочного материала или за счет химических процессов окисления, конденсации и полимеризации [Крейндлин, с.150].

Естественная сушка происходит при температуре 18÷20°С, что весьма продолжительно и требует больших производственных площадей. Искусственная сушка – наиболее эффективное средство ускорения процесса образования покрытия. Важную роль при любой сушке играет температура сушки. Чем выше температура сушки, тем больше скорость испарения летучих растворителей, тем быстрее протекают химические реакции

Существует несколько способов сушки по методу подвода тепла:

– Конвективная сушка. Сушильным агентом является циркулирующий нагретый воздух, который омывает отделочное покрытие;

– Терморадиационная сушка. Сушильный агент – инфракрасные лучи, облучающие покрытие;

– Сушка аккумулированным теплом. Перед нанесением отделочного материала изделие предварительно нагревается;

– Фотохимическая сушка. На отделочное покрытие воздействуют УФ-лучи;

– Сушка зажелатинизированного окрасочного слоя в прессах или прокаткой нагретыми вальцами.

Способы различаются энергоемкостью, продолжительностью и достигаемым качеством лакокрасочного покрытия.

3) Шлифование.

После отделки ЛКМ и сушки поверхности необходимо выровнять, так как покрытия всегда имеют волнистость и шероховатость. Также после сушки покрытия могут иметь такие дефекты, как проколы, пузыри, кратеры, потеки, шагрень. Все эти огрехи исправляются шлифованием.

Шлифование выполняется шлифовальными шкурками, шлифовальными пастами и шлифовальными порошками. После шлифования величина неровностей должна быть не более 3 мкм.

Шлифование различают двух видов:

– межслойное (проводится многократно – после нанесения каждого слоя покрытия), применяют при отделке столярно-строительных изделий;

– выравнивание покрытий шлифование (однократная и окончательная операция).

Для более тщательного выравнивания поверхности применяют полирование, придавая покрытию зеркальный блеск.

На рисунке 1 представлена схема строения защитно-декоративных покрытий.

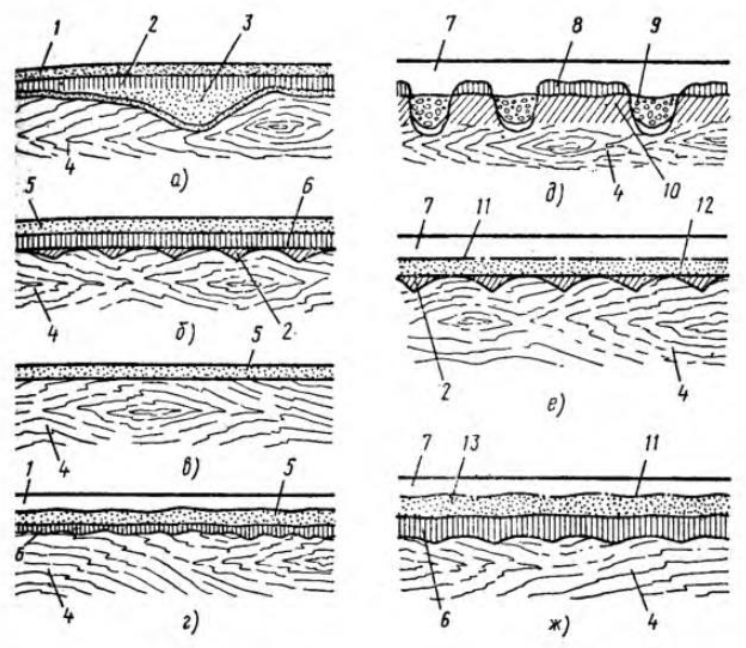


Рисунок 1. Схемы строения защитно-декоративных покрытий:
а — непрозрачное лакокрасочное, *б, в* — непрозрачные пленочные, *г* — непрозрачное комбинированное, *д* — прозрачное лакокрасочное, *е* — имитационное по фоновому грунту, *ж*— пленочное имитационное; *1* — слой краски, *2* — слой сплошной шпатлевки, *3* — местная шпатлевка, *4* — древесина, 5 — непрозрачная пленка, *6* — клей, *7* — слой лака, *8* — слой прозрачной грунтовки, *9* — порозаполнитель, *10* — окрашенный слой древесины, *I I* — рисунок, *1 2*— фоновая окраска (грунт), *13* — синтетический шпон.

Список литературы

1. Бобиков П. Д. Изготовление художественной мебели: Учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ.-М.: Высш. школа, 1987. 256 с.

2. Жуков Е. В., Онегин В. И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: Учебник для вузов. — М.: Экология, 1993. 304 с.

3. Крейндлин Л. Н. Столярные работы: Учеб. для сред. ПТУ. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. 256 с.

Древесные породы, применяемые в домостроении

Папулова И. Е.[a], Шагина Д.С. [b]
старший преподаватель кафедры МТД[a]
студент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: konyshev_pashenka@mail.ru[b]

Аннотация: С давних пор человек познал и оценил достоинства древесины, которая удовлетворяла разнообразные его нужды – служила строительным, поделочным материалом и топливом. В наше время благодаря успехам науки и техники разработано и используется широко множество искусственных конструкционных и технологических материалов.

Однако древесина не утратила своего потребительского значения. Практически нет такой отрасли, которая не потребляла древесину. Многообразие использования ее объясняется редкостным сочетанием в этом продукте живой природы многих ценных свойств (рис.1). Древесина представляет собой прочный и одновременно легкий материал, обладающий хорошими теплоизоляционными свойствами, способностью без разрушения поглощать работу при ударных нагрузках, гасить вибрации. Она легко обрабатывается режущими инструментами, склеивается, удерживает металлические и другие крепления.

Ключевые слова: бревно, сосна, антисептик для древесных пород.

Древесина имеет прекрасные декоративные свойства, ей присуща уникальная резонансная способность. Эти природные особенности древесины позволяют использовать ее для производства строительных деталей и конструкций.

Однако материалы, получаемые из древесины чисто механическим путем, имеют недостатки: изменчивость свойств, неоднородность строения, анизотропия, наличие пороков, способность усыхать, разбухать, коробится и растрескивается. Перечисленные недостатки в значительной мере устраняются путем химической и химико-механической переработки древесины в плитные материалы – древесностружечные и древесноволокнистые плиты, картон. Данные материалы вместе с древесиной применяются в производстве домов.

Пластификация и прессование древесины позволяют улучшить свойства натуральной древесины и получить материалы, обладающие повышенной прочностью, износостойкостью и формоустойчивостью. Введение в древесину

антисептиков, антипиренов, смол позволяют получить био- и огнестойкие материалы. Материалы из древесины по теплоизоляционным свойствам превосходят такие материалы как кирпич и бетон и в деревянных домах всегда тепло зимой, а летом комфортно. Благодаря упругим и прочностным свойствам древесины можно строить дома в сейсмоопасных районах и долговечность древесины проявляется в домах, которые построены еще в советское время. В деревянных домах всегда здоровый микроклимат для его обитателей. Древесиноведение рассматривает много древесных пород и очень важно понять отличительные особенности их применения применительно к деревянному домостроению.



Рисунок 1. Штабель круглых лесоматериалов

Древесные хвойные породы – самый распространенный материал для домостроения одноэтажных и двухэтажных построек. Применяемость хвойных пород популярна тем, что эта древесина произрастает чаще в России, да и стволовая часть хвойных деревьев более правильной формы, а также имеет хорошую прочность и небольшую цену. Иногда, по происшествие определенного времени на древесине хвойных пород появляются пятна в основном желтовато- коричневого цвета – это проявление обусловлено большим содержанием смол и смоляных кармашков. Все эти вещи ухудшают внешний вид древесины, что также отрицательно влияет на внешний вид деревянного домостроения. Но всего этого можно избежать путем грунтовки строительных деталей, а затем последующей отделки.

Теперь рассмотрим хвойные древесные породы, наиболее применяемые в деревянном домостроении. На первом месте стоит **сосна**. Древесина сосны средней плотности, достаточно высокой прочности и стойкости против гниения, хорошо обрабатывается. Но при всех своих достоинствах, древесина сосны имеет весомый минус – большое количество смолы. Поэтому в доме, построенном из сосны (рис. 2), необходимо наносить финишное покрытие, что сохранит внешний облик дома на долгие годы.



Рисунок 2. Дом из сосны

Не менее популярная древесина в малоэтажном домостроении – это **ель**, которая занимает второе место после сосны (рис. 3). По прочностным свойствам древесина ели несколько уступает сосне. По длительной стойкости к деформациям она практически не уступает, так же как по другому показателю — способности удерживать крепления. Но теплопроводность ели меньше, поэтому в еловом доме будет теплее. Гнется древесина ели несколько лучше, чем древесина сосны. Но древесина ели рыхлая, поэтому нуждается в тщательной обработке антисептическими средствами. Хорошая в целом обрабатываемость древесины ели резанием существенно затрудняется многочисленными сучками,

твердость которых часто бывает настолько большой, что вызывает выкрашивание лезвий твердосплавного инструмента.



Рисунок 3. Сруб из оцилиндрованного бревна ели

Еще одно из деревьев, которое издавна используется в строительстве, — **лиственница**. Это сосновое дерево обладает рядом положительных свойств не присущих другим породам. Древесина лиственницы не требует применения антисептиков и пропиток перед использованием (возведением дома, укладкой пола, установкой в качестве балки и т.п.), так как смола дерева обладает антисептическими свойствами. Лиственнице не страшны жучки и микроорганизмы. С годами при усадке сруба древесина становится только тверже благодаря подзольным и смолистым веществам в структуре, не портится и не разлагается со временем, морозоустойчива, хорошо переносит колебания температур. Древесина лиственницы в 2 раза более стойка к огню, чем сосна. Но ее минусом является высокая стоимость, поэтому из лиственницы вполне можно ставить нижние опоры, делать из нее первые венцы, комбинируя с другими породами дерева для постройки всего дома или укладывать доски на пол незастекленной веранды (рис.4).



Рисунок 4. Венцы дома из лиственницы

Говоря о хвойных породах древесины, невозможно не упомянуть **кедр**. Данный вид древесины используется в строительстве не так уж часто, главным образом, из-за своей стоимости. Однако в последнее время кедр стал довольно популярен благодаря своей прочности и другим, не менее важным преимуществам. Сруб из кедра отличается мощным антисептическим действием (рис.5): дома, возведенные из этого материала, защищены от появления плесени, более того, в таких зданиях не появятся мухи или комары. Многие очень ценят внешний вид построек из кедра. С годами кедровый сруб приобретает благородный темно-коричневый цвет с характерным рисунком, что придает зданию по-настоящему сказочный вид. Среди недостатков материала можно выделить специфичный запах кедра, что, разумеется, нравится далеко не всем. Древесина кедра относится к числу редких материалов, что, соответственно, сказывается на цене — строительство дома или бани из этого дерева обойдется будущему владельцу очень дорого.



Рисунок 5. Дом из кедра

Издавна известны уникальные свойства **пихты**. Из нее получают эфирное масло, делают целебные напитки - флоренту, абисиб, пихтовый сбитень. Уникальными свойствами будет обладать и дом, построенный из древесины пихты (рис.6). Благодаря более низкой плотности древесины пихты по сравнению с сосной, дом из пихты будет существенно теплее дома из сосны, при той же толщине стен. Дом из пихты имеет оздоравливающие свойства. Даже после оцилиндровки древесина из пихты продолжает выделять фитонциды, обладающие мощным обеззараживающим действием и эфирные масла, которые оказывают тонизирующее действие на нервную системы, стимулируют дыхание и кровообращение, благотворно влияют на сердечную деятельность. Древесина пихты не выделяет смолу при высоких температурах, благодаря отсутствию смоляных карманов, поэтому является оптимальным материалом для постройки деревянного дома в южных широтах. Древесина пихты не содержит крахмала, который является питательной средой для грибков и поэтому она не синеет.



Рисунок 6. Дом из пихты

Следует также заметить, что древесина пихты, имеющая целебные свойства, не уступающие и даже превосходящие целительные свойства древесины кедра значительно дешевле последнего, по цене она сопоставима с самым популярным материалом для деревянных домов - сосной и даже немного дешевле.

Также нередко в малоэтажном строительстве применяют лиственные породы древесины. Некоторые предпочитают строить дома из ценных пород дерева, каждая из которых имеет свои преимущества. Стоить они будут дороже, чем традиционные варианты, зато такие здания будут по-настоящему красивыми и необычными.

Осина – достаточно редкий вариант, так как очень трудно выбрать подходящее по качеству дерево. Осина очень часто загнивает на корню, так как растёт преимущественно в болотистой местности, и в этом случае строение окажется очень недолговечным. Осина требует обязательного использования специальных пропиток, но и в этом случае она является не слишком надёжной. Кроме того, многие считают, что дома из неё имеют плохую энергетику, и в таких зданиях лучше не находиться долго. Однако осиновые пиломатериалы почти идеальный материал для построек бань и саун. Из осиновых досок, кроме бани, можно делать пол в открытых беседках и верандах, а также большой популярностью пользуются плинтуса, наличники, галтели и т. д. Изделия имеют отличные декоративные характеристики, с ними легко и приятно работать.



Рисунок 7. Внутренняя отделка бани из осины

Липа относится к числу мягких древесных пород, и она достаточно легко поддаётся обработке. Это лёгкая древесина, которая, к тому же, отлично держит тепло, неслучайно из неё издавна строили бани. Для строительства это очень хороший материал, однако, он стоит дорого, и её в основном применяют для небольших построек. Ч**аще всего из древесины липы изготавливают:** произведения скульптуры, вырезанные из коры поделки, токарные заготовки, мебельный щит и самую разную, в том числе дорогую, мебель, чертежные доски, гитары и клавиши роялей.

Из древесины делают также бочки, карандаши и даже спички. Производят из липы полки для книг, этажерки. Двери из липового дерева считаются прочными и никогда «не страдают» перекосами. Ценен для человека и уголь липового дерева. Из него получаются одни из лучших водяных фильтров. А раньше делали из липы даже печати. Из липы обустраивают внутренние части помещений, используя брусы и вагонку. Чаще всего это бани и сауны (рис.8), но находится ей применение даже в гостиных. Главное знать, какую часть дерева, где целесообразнее всего использовать.



Рисунок 8. Сауна из липовой вагонки

Дуб неслучайно считается королём в мире деревьев. Дуб обладает прочной и очень плотной древесиной, причём, чем дерево старше, тем выше будут его прочностные характеристики. Дуб обладает бактерицидными свойствами, неслучайно именно из него в старину складывали колодцы. Дом из дуба – дорогое, но очень долговечное решение, поэтому он всё ещё остаётся востребованным.

Такое свойство древесины дуба, как влагостойкость, позволяет использовать ее в подводных строениях или корпусах деревянных плавучих средств. Хороша она и для изготовления сувенирных поделок. Также древесину используют в столярном, мебельном и паркетном производстве, из такого материала получаются очень прочные лестницы (рис.9), окна и двери.



Рисунок 9. Лестница из массива дуба

Дорогие лиственные породы редко выбирают для капитального строительства. Оно потребует очень больших вложений в покупку материала, а в дальнейшем его придётся регулярно обрабатывать для защиты от гниения. Кроме того, постройки из хвойных пород всё равно оказываются более долговечными при том, что по цене они более доступны.

Но, увы, дом нужно не только построить, но и защитить его покрытие (рис.10), ведь деревянные конструкции постоянно подвергаются воздействию различных факторов, заметно уменьшающих их срок службы. Поэтому каждый элемент должен быть покрыт слоем защитного материала. Но эта защита также приходит в негодность, а значит, требует постоянного обновления.

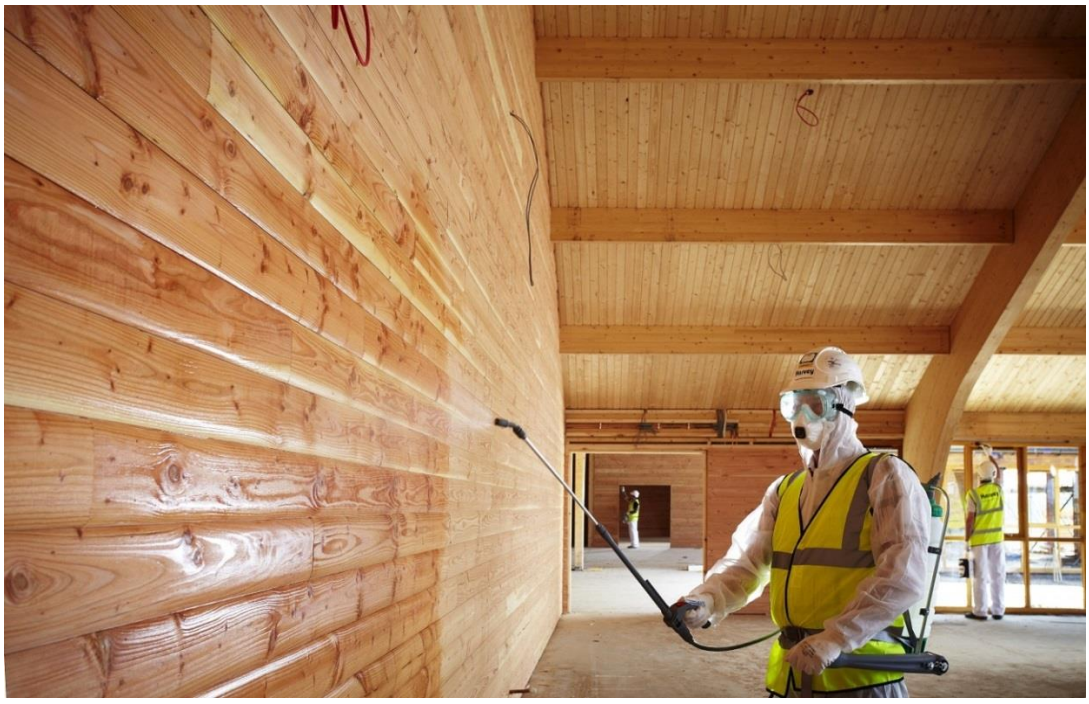


Рисунок 10. Обработка деревянного дома

Защита деревянного дома достигается благодаря применению специальных водорастворимых средств, составов на основе летучих химических соединений, масляных антисептиков, специальных паст и других средств. На современном рынке самое широкое применение получили растворы антисептические и огнебиозащитные, изготовленные на водной основе.

Стоит заметить, что антисептик для деревянного дома на водяной основе – это экологически чистые и нетоксичные материалы, что очень важно, особенно при внутренней обработке. Обработка деревянного дома для его защиты

должна проходить в несколько этапов – начиная от его постройки и заканчивая финишной обработкой.

Самым распространенным вариантом защиты дерева очень долго оставалась масляная краска. Это покрытие создавало слой защитной пленки, защищавший древесину от губительного воздействия влаги и солнца. Но этот слой необходимо обновлять не реже одного раза в пять лет, а в большинстве случаев гораздо чаще.

Но сегодня имеются и другие способы защитить поверхность стен, если построить деревянный дом. Например, различные пропитки, проникающие глубоко в древесину, и придающие ей свойства, отвечающие не только за внешний вид материала, но и его долговечность. Такие пропитки не дают большой пленки, что позволяет при необходимости быстрее произвести новую обработку дерева. При этом материал продолжает оставаться «живым» и сохраняет все те качества, за которые он так любим многими людьми.

Обработка сруба снаружи проходит в несколько этапов:

1. Через 10-14 дней после подведения конструкции под крышу. В случае, если дом был построен в теплое время года, то через 2 недели нужно провести обработку специальными составами – можно сперва антисептиками, а затем антипиренами, а можно комплексными огнебиозащитными средствами. Обрабатывается обязательно в 2 этапа, нанося антисептик в два слоя. Если сруб был возведен в зимнее время, то следует дождаться повышения температуры до+10-12 ºС, после чего начинают пропитку, используя краскопульт. Однако это защитит дом всего на 3-5 месяцев;

2. Через 3-5 месяцев после первичной обработки антисептиком и антипиреном, необходимо использовать финишное цветное покрытие, которое даст дополнительную защиту от гнили, насекомых, а также сохранит первичный слой.

Обрабатывать дом снаружи рекомендуется не реже, чем один раз в 4 года.

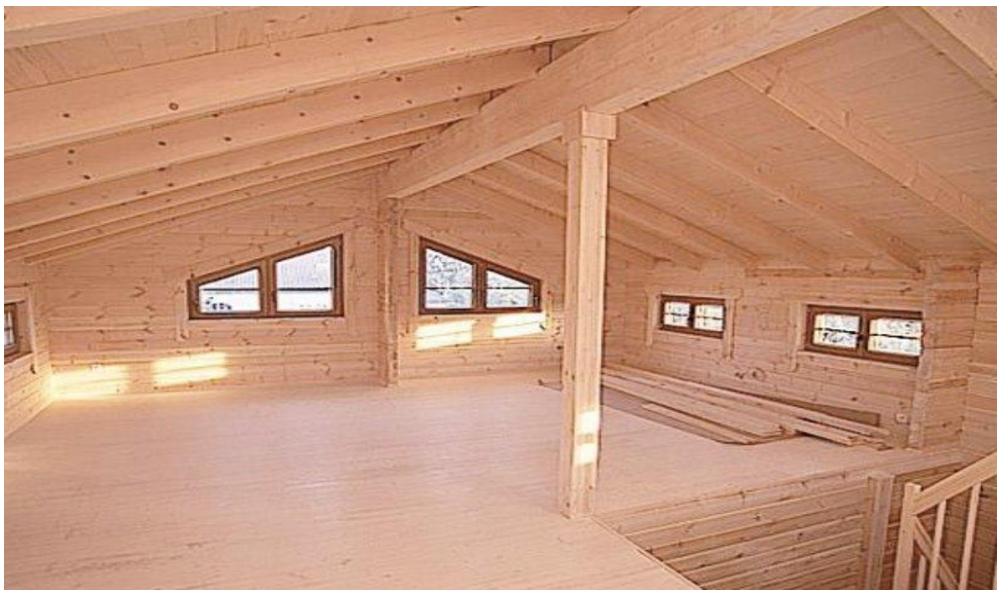


Рисунок 11. Внутренняя обработка деревянного дома.

Внутри такого дома проводится обработка растворами на водной основе и совершаться она должна в то же время, что и первая наружная обработка. После этого через 14 дней проводится финишный этап покрытия. Для этого нужны: тонкая кисть, натуральная щетина, финишный защитный лак.

Если начали появляться синие или серые пятна, потемнения, то их следует обработать при помощи специальных средств для защиты дерева, изготовленных на хлоридной основе. Средство наносится на пораженные места тонким слоем, и уже через несколько минут древесина приобретет свой первоначальный вид.

Выводы

Современное малоэтажное домостроение из древесных пород в основном нацелено на использование всех ценнейших свойств древесины во благо человеку.

Все древесные породы нуждаются в соответствующей обработке и комплексном подходе к окраске. Выбирая древесину для строительства своего дома, нужно помнить основное: дерево – это природный материал, который может темнеть, усыхать, выделять смолу, и нужно обязательно знать, как защитить свой деревянный дом от этих процессов.

Список литературы

1. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для студ. сред. проф. образования. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 1986. - 272 с.

2. Маливанова Л. Лесная промышленность // Технологии строительства. 2017. № 3. С. 50-52.

3. 1Drevo.ru [Электронный ресурс] // http://1drevo.ru

4. Главстрой 365. Деревянные дома [Электронный ресурс] // https://glavstroy365.ru

Способы декорирования изделий из древесины

Паскарь В.С.[a], Рублева О.А.[b]
Магистрант (аспирант) кафедры «Машины и технология деревообработки»[a]
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология деревообработки»b
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: niki-k@mail.ru[a], olga_ru@vyatsu.ru[b]

Аннотация: в современной деревообрабатывающей промышленности большое значение придется технологиям декорирования древесины и древесных материалов. Способы декорирования различны, но до сих пор не все из них достаточно исследованы, поэтому требуют дальнейшего изучения. Целью данного исследования является анализ существующих на сегодняшний день способов декорирования и отделки древесины и древесных материалов, в частности, резьбы и росписи по дереву, а также их аналогов, выявление функций технологических операций данных способов декорирования. В ходе исследования проведено сравнение видов резьбы и росписи, их аналогов – современных способов декоративной обработки древесины, таких как тиснение, лазерная резка, нанесение декоративного рисунка на поверхность изделия при помощи цифровой печати. Выявлены преимущества и недостатки каждого из способов. Ведущим подходом в данном исследовании является дедуктивный метод, который позволяет произвести теоретические исследования, предопределяющие дальнейший ход исследования.

Ключевые слова: художественная отделка, изделия из древесины, резьба, роспись, цифровая печать.

Введение. Древесина – универсальный материал сопровождающий человека на протяжении долгой истории его развития. Поэтому люди научились приспосабливать древесину под свои нужды, обрабатывать ее и декорировать полученные изделия. Декорирование изделий из древесины отличается особым разнообразием среди способов художественной обработки древесины и древесных материалов. Это различные виды рельефных изображений: резьба, инкрустация, маркетри, тиснение [Барташевич, с.131-212], а также живописные изображения, включающие разные виды росписи [Величко, с.18-123]. Современные технологии позволяют не только совершенствовать виды декоративной обработки древесины, но и создавать новые.

Постановка цели и задач исследования. Целью данного исследования является анализ распространенных способов декорирования дерева и древесных

материалов, таких как резьба, роспись по дереву, а также их современных аналогов – лазерной резки по дереву, тиснения древесины, нанесения цветного изображения на древесный материал при помощи цифровой печати. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить определенные задачи:

1) провести обзор имеющихся современных способов декорирования древесины и древесных материалов;

2) выявить существующие преимущества и недостатки каждого способа декорирования;

3) провести сравнение существующих способов и их современных аналогов.

Ведущий подход. В данном исследовании использовалась методика анализа, для этого были проанализированы и обобщены свойства и признаки способов выполнения декора на древесных материалах и найдены их современные аналоги. На основе полученных данных, методом синтеза обосновано применение способов декорирования на практике, в соответствии с технологией. Основу метода аналогии составили изученные свойства современных способов декорирования, совпадающие со свойствами других приемов, таких как резьба и роспись. В целом, на начальной стадии научного исследования, преобладает дедуктивный метод, при котором производятся теоретические исследования, которые предопределяют дальнейший ход исследований. *Результаты исследований, их обсуждение.* На первом этапе исследования анализируются известные виды и способы декорирования, их технологические особенности и применение данных способов для художественного оформления в современной деревообрабатывающей промышленности.

Декорированию изделий во все времена уделялось большое значение. В традиционных народных промыслах элементы декора несли смысловую нагрузку, они были наполнены символами и их место расположения было строго определено. В современной жизни художественное оформление несет чисто декоративный характер. На сегодняшний день известны рельефные и живописные виды декоративного оформления деревянных изделий.

К рельефным видам художественного оформления изделий из дерева относятся: резьба, тиснение, инкрустация и другие. К живописным относят различные росписи, подразделяющиеся на графические и выполненные в свободной кистевой манере. Многие из них обязаны своим происхождением иконописным промыслам.

Распространенным видом художественной обработки древесины является резьба [Барташевич, с. 133-147]. В зависимости от вида и техники исполнения существуют разновидности резьбы: плосковыемчатая, или углубленная плоскорельефная; рельефная, или глухая рельефная; прорезная, или ажурная; объемная или скульптурная рис. 1-4 [4], Рис.5 [5]. Применяются данные техники для выполнения декора сувениров, наличников для карнизов окон, вставок для мебели виде различных накладок на двери шкафов, подлокотники кресел, спинки стульев и других интерьерных предметов и дизайнерских решений.



Рисунок 1. Плосковыемчатая резьба



Рисунок 2. Плоскорельефная резьба



Рисунок 3. Рельефная резьба



Рисунок 4. Прорезная резьба



Рисунок 5. Объемная или скульптурная резьба

К расписным видам декорирования относят традиционные росписи. К известным графическим росписям относят Хохломскую, Городецкую, Мезен-

скую, Полх-Майданскую, Пермогорскую и подобные им. Их объединяет общий принцип нанесения орнаментальных композиций, который заключается в том, что все композиционные элементы дорабатываются графическими обводками, которые придают композиции четкий ритм. Однако, начально элементы наносятся мастерами в кистевой манере (Рис. 6-7[6], 8[7], 9-11[8]).



Рисунок 6. Хохломская роспись. Фоновое письмо. Тарелка



Рисунок 7. Хохломская роспись. Верховое письмо



Рисунок 8. Городецкая роспись. Панно



Рисунок 9. Мезенская роспись. Шкатулка

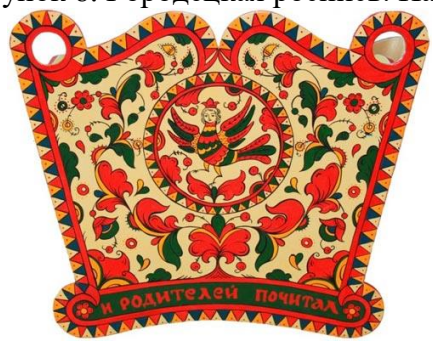


Рисунок 10. Пермогорская роспись. Детская кроватка



Рисунок 11. Полхов-Майданская роспись. Сувенир

К кистевым росписям относят Семеновскую, Урало-Сибирскую, Тагильскую и другие. Их также объединяет техника исполнения, когда все элементы композиции выполняются в, так называемой, свободной кистевой манере, то есть расписные мотивы мастер формирует и наносит на поверхность сразу «от руки», что требует немалого профессионального умения [Рублева, с.2037]. Это

подтверждается и многолетним опытом работы автора в сфере декоративно прикладного искусства, в частности при подготовке специалистов по профессии «Художник росписи по дереву» в Профессиональном училище № 19 города Кирова и в «Технологическом колледже», специальность «Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы». Обучающиеся овладевают композиционными приемами каждой из росписи, в соответствии с традицией, манерой, колоритом и техникой. Качество работы зависит от профессиональных умений, которые достигаются многократным повторением одного и того же элемента, в различных композиционных комбинациях. Росписи применяются для декоративных панно, шкатулок, сувениров, посуды, игрушек, детской и кукольной мебели, а также вставок для мебели виде различных накладок на дверцы шкафов, филенок, подлокотников и спинок стульев, кресел, изголовий и изножий кроватей и других интерьерных дизайнерских решений.



Рисунок 12. Семеновская роспись. Игрушка [9]



Рисунок 13. Урало-Сибирская роспись [7]

Постоянно появляются способы и методы работы над художественным оформлением, меняются подходы к декорированию. Тенденцией развития производства является господство технологий, появляются более современные технологии, как в мебельной индустрии, так и в других отраслях.

Так, например, альтернативой резьбе по дереву сейчас может быть лазерная резка и гравировка по дереву, которая позволяет не только повторять элементы прорезной резьбы, но и усложнять их. Еще одним плюсом этого способа является возможность выполнения больших объемов продукции, минус такого

способа нецелесообразность изготовления продукции в малых объёмах, достаточно высокая стоимость оборудования для гравировки и резки древесных материалов. А также в процессе лазерной резки края рисунка или деталей обугливаются, что требует в дальнейшем выполнения дополнительной отделки. Изделия могут легко повреждаться, поэтому необходимо учитывать породу дерева, шпон, если это фанера и вид клея, чтобы избежать брака. Поэтому для изготовления небольших деталей целесообразно использовать станки с ЧПУ, что еще более экономически не выгодно.

Тиснение также относится к современным рельефным видам декорирования. Тиснение осуществляется путем горячего или холодного прессования с помощью пуансона, который вдавливают в деталь на определенную глубину под давлением. В результате этого происходит деформация волокон древесины и они уплотняются, создавая на поверхности заготовки рельеф, похожий на резьбу. Помимо создания индивидуальных рельефов, тиснение позволяет имитировать другие материалы, например, кожу (Рис. 3), различные плетеные материалы [Кирилина, с. 61]. Но выполнение данного декора энергозатратно, при данной технологии качество получаемого декора напрямую зависит от времени прессовки и скорости деформирования древесины, что дает затраты по времени. К пуансону также прилагается ряд требований, к примеру форма с большими углами не обеспечивает четкости рисунка, а с меньшими разрушает его путем перерезания волокон древесины [Кирилина, 61]. Все вышеперечисленное делает технологию тиснения достаточно трудоемкой.



Рисунок 14. Тиснение древесины [11]



Рисунок 15. Лазерная резка по дереву [10]

Для росписи мебели аналогам является способов, который заключается в нанесении декоративного рисунка на поверхность изделия при помощи цифровой печати на панелях из массива дерева, MDF, HDF или древесностружечной

плиты [Патент РФ № 2014 151 225, B44C 5/04]. Плюсом этого способа является возможность персонифицирования изображений. Однако при данном методе имеются ограничения по площади наносимого рисунка, невозможность выполнения некоторых цветов краски, например, черных, темно-синих, золотых и серебряных, так как у печатного барабана имеются ограничения. Оборудование для данной технологии чувствительно к выбору материала. Поэтому способ нанесения цифровой печати на древесные материалы ограничен в применении. Также минусом является ограничение ассортимента, однотипность изображений, трудоемкость исполнения и дорогая стоимость оборудования.



Рисунок 16. Нанесение цветного изображения на поверхность [14]

Выводы. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что технологии декорирования изделий постоянно совершенствуются, появляются новые способы оформления материалов из древесины. Их большой плюс – возможность тиражирования различных композиционных решений. Между тем имеется и ряд существенных недостатков. Но ни с чем не сравнится неповторимый «почерк мастера», с его универсальность и умением «вписывать композицию» в форму изделия, подчеркивая и обогащая. Уникальность народных росписей состоит в традиционных цветах, элементах каждой росписи, комбинациях, составляющих неповторимые орнаменты и композиции. Такие композиции универсальны, так как имеют множество вариаций, когда учитывается форма и величина образца, для которой и создается орнамент. Выполненные профессионально росписи могут применяться в качестве основы для цифровой печати, гравировки, тиснения, лазерной резки.

Список литературы

1. Величко Н. Роспись: техники, приемы, изделия. Энциклопедия. — М.: АСТ-пресс, 1999. С. 21

2. Барташевич А.А., Онегин В.И., Шетько С.В. Технология художественной обработки древесины. Ростов н/Д: Феникс, 2013. С. 133-147.

3. Рублева О.А. Проект домика для уток// Общество. Наука. Инновации (НПК-2017): материалы Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : НПК-2017, 1-29 апр. 2017. С. 2037

4. Резьба по дереву. URL: http://tularmodel.ru/stati/rezba_po_derevu/ (дата обращения 23.01.2018).

5. Богородская игрушка URL: http://bogorodskoe.sergievposad.org/foto_igrushka.htm. (дата обращения 23.01.2018).

6. Хохломская роспись URL: http://patlah.ru/etm/etm-01/podelki/rospis/khokhloma/khokhloma.htm (дата обращения 23.01.2018).

7. Паскарь В.С., Рублева О.А. Подход к разработке декоративного оформления изделия из древесины на этапе обоснования художественного решения// Общество. Наука. Инновации (НПК-2017): материалы Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : НПК-2017, 1-29 апр. 2017. С. 1727

8. Традиционные технологии URL: https://www.culture.ru/materials/52919/mezenskaya-rospis (дата обращения 23.01.2018)

9. Семеновская роспись URL: https://nnwelcome.ru/guide/tradition/semenovskaya-rospis.

10. Фрезеровка стеновых панелей и интерьерных перегородок URL: https://rezka78.ru/articls/reznie-peregorodki-iz-dereva.html ().

11. Деньгин А.В., Рублева О.А. Способы получения рельефа на поверхности деревянных заготовок// Общество. Наука. Инновации (НПК-2016): материалы Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : НПК-2016, 18–29 апреля 2016 г. С. 1312

12. Кирилина А.В. Технология декоративной отделки поверхности древесины холодным тиснением.- Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2017. С. 61

13. Панель с декоративным слоем и способ печати на панелях. - Патент РФ № 2014 151 225, B44C 5/04.

14. Способ нанесения уф печати на поверхность плоских пробковых панелей URL: http://www.findpatent.ru/patent/259/2592342.html.

Обследование садочного отжига латуни Л63 в окислительной атмосфере промышленной камерной печи

М.З. Певзнер
Кандидат технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация,
E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru

Аннотация: Рассмотрены причины ухудшения экологического состояния производственного помещения и возникновения случаев брака по состоянию поверхности и по свойствам латунного проката, отожжённого в окислительной атмосфере садочных печей камерного типа. Изучались возможности оптимизации технологии термообработки в этих печах достаточно устаревшей конструкции, отжиг в окислительной атмосфере которых вследствие особенностей текущего планирования часто составляет заметный сегмент в общем объёме производства. Исследовалась кинетика изменения фактической температуры в различных точках отжигаемых рулонов и печного пространства в сравнении с температурой, регламентируемой режимом термообработки.

Разработаны рекомендации по предотвращению нарушений установленных норм по содержанию вредных примесей и повышению качества проката латуни Л63, характеризующейся как повышенным сродством к кислороду, так и относительно высокой температурой рекристаллизации. Установленный режим отжига обеспечивает с одной стороны минимально возможное испарение цинка, с другой – достаточно мягкие свойства отожжённого проката.

Ключевые слова: латунный прокат, садочный отжиг, термопара, дефекты поверхностного слоя.

В прокатном производстве латуни с высоким содержанием цинка не только окончательный, но и промежуточный отжиг являются обязательными операциями вследствие относительного низкого ресурса пластичности этих сплавов [1]. Качественному отжигу латуни препятствуют два взаимосвязанных явления, усиливающиеся с повышением температуры отжига [2]:

- окисление цинка, отличающегося повышенным сродством, в частности, к кислороду и парам воды;

- обесцинкование латуни за счёт непрерывного выделения при отжиге паров Zn.

Организация безокислительной термообработки латуни представляет собой достаточно сложную задачу. Точка росы, характеризующая потенциал восстановления защитного газа и равновесие Zn/ZnO, в этом случае очень низкая.

Загрязнение защитного газа примесями усугубляет ситуацию: примеси O_2, CO_2 приводят к образованию воды, а примесь угарного газа CO - к образованию CO_2 и сажи (реакция Будуара).

Эти проблемы частично удалось решить в 70-80 годы прошлого века (P.H. Ebner) путём создания защитной атмосферы (H_2 - 25 % + N_2 - остальное) с точкой росы не выше $70^{O}C$ [3]. Полная реализация условий Эбнера требует создания печей, характеризующихся значительными конструктивными особенностями: очень мощными вентиляторами, сочетанием воздушного и водяного охлаждения, высокими требованиями к герметичности оборудования, позволяющей использовать вакуумную обработку, и особыми требованиями к безопасности процесса [3]. Действительно, значительное количество H_2, обеспечивающее кроме создания безокислительной атмосферы также повышение теплопроводности и не приводящее к трещинообразованию в латуни [4] (большое давление паров цинка препятствует проникновению водорода), при определённых условиях достаточно взрывоопасно. С учётом этих обстоятельств, а также из желания интенсифицировать процесс и повысить однородность получаемых в результате термообработки свойств всё чаще используются линии непрерывного, например, индукционного отжига [5]. В них за счёт кратковременности нагрева свойственные садочному отжигу негативные явления в существенной степени просто не успевают произойти. Но в случаях, когда требуется термообработка по специфическому режиму относительно небольшой партии металла, отжиг в окислительной атмосфере с последующим травлением остаётся ещё весьма распространённым способом термообработки латуни. В частности, на Кировском заводе ОЦМ, использующем при термообработке основной массы материала достаточно современное оборудование, для этой цели применяют 2-зонные камерные печи простой конструкции с передней загрузкой. При реализации такого «вспомогательного» технологического варианта также необходимо обеспечить безопасное производство и получение качественного конечного продукта. Между тем в процессе эксплуатации камерных печей стали фиксироваться случаи превышения ПДК по содержанию в атмосфере цинка и окиси цинка,

вред которых достаточно хорошо известен [6]. С другой стороны, на отожжённых рулонах латуни наблюдалась легко удаляемая плёнка из лёгкого, летучего порошка светло-серого цвета и отмечались частые случаи дефектов поверхности типа «обесцинкование». Предметом настоящей работы было широкое обследование процесса отжига в камерных печах латуни Л63 с целью установления причин и предотвращения данных негативных явлений, а также разработки условий и ограничений, необходимых для безопасного получения качественного проката[1].

Для исследования интенсивности выделения цинка с образцов отожжённой ленты латуни Л63 с дефектом «обесцинкование» шабером снимали тонкий поверхностный слой и проводили сравнительный анализ химического состава основного материала с составом полученной стружки. Для установления того, в какой степени состав порошка, образующегося на поверхности рулонов, обусловлен материалом основного металла, прокатной эмульсией или атмосферой печи, сравнивали их состав, используя результаты химического (металл, порошок) и спектрального (обезвоженная выпариванием эмульсия) анализов. В последнем случае спектрографом ИСП-ЗО по обнаруженным линиям спектра контролировали качественный состав эмульсии СП-3, изменяющийся в процессе работы станов относительно исходного состава.

Контролировали отжиг двухтонного рулона латуни Л63 по традиционно используемому режиму 620°С 5 часов. В процессе отжига производили пирометрические исследования:

- стационарными термопарами, находящимися на своде обеих зон печи;

- специально установленными КТХА - термопарами, расположенными в различных точках печного пространства, а также в поверхностных (отделены от поверхности 2-3 витками проката) и в центральных слоях рулона проката[2].

Видно, что состав стружки с поверхностного слоя существенно отличается от состава проката в целом (табл. 1). Содержание цинка уменьшилось и, со-

[1] В работе участвовали Киселёв О.А., Кунгурова Л.Г., Глухих А.М., Васькова Е.А., Осколков Н.П. и др.

[2] В работе участвовали Паршаков В.Л., Кротов О.Г.

ответственно, увеличилось содержание меди. Эти изменения влияют не только на цвет материала, но поскольку они происходят в области бифуркации системы (устраняют β – фазу), то должны также влиять на свойства поверхностного слоя – уменьшать микротвёрдость, износостойкость и т.д.

Таблица 1

Сравнительное исследование химического состава ленты латуни Л63 толщиной 2,0 мм, отожжённой в камерной печи (пробы 1, 2, 3), и тонкой стружки, снятой с поверхности этой ленты в местах её обесцинкования (усреднённая проба)

Место отбора пробы	№ пробы	Си	P	Fe	Zn	Si
основной материал	1	63,42	0,004	0,05	36,16	0,10
-	2	63,32	0,0066	0,05	36,16	0,32
-	3	63,09	0,0063	0,06	36,25	0,30
поверхностный слой		64,21	0,0087	2,0	32,44	0,53

В выпаренной эмульсии, основу которой должны составлять углеводороды (см. ГОСТ 5702-75, 982-80, 20799-75, 7580-91) были обнаружены в порядке убывания: магний, натрий, кальций, бор, углерод, железо, кремний и медь, которые в основном не отвечают её изначальному составу и являются привнесёнными извне.

Химический состав порошка, снятого с поверхности отожжённых рулонов (табл. 2), соответствуют составу основного металла с поправкой на активность элемента (цинка, а также марганца) по кислороду. То есть его основой являются окислы элементов, входящих в состав латуни Л63.

Таблица 2

Химический состав обнаруживаемого порошка

Элемент	Си	Мп	Zn	Fe	Si
Содержание, %	1,2	1,83	73,20	0,15	0,2

В предварительно выпаренной эмульсии были обнаружены в порядке уменьшения содержания каждого из них: магний, натрий, кальций, бор, углерод, железо, кремний и медь. Из полученных результатов видно, что если эмульсия и влияет на состав обнаруживаемого на поверхности рулонов порошка, то крайне незначительно.

На прокате, отожжённом по традиционному режиму двухтонным рулоном, следы последствий испарения цинка были видны, а его механические свойства соответствовали значениям, регламентируемым для мягкого состояния по ГОСТ 2208-2007. Результаты непрерывного пирометрического контроля его нагрева (диаграммы изменения температуры в процессе нагрева) в верхней части рис. 1 объясняются схемой компоновки печи, расположения в ней рулона и контрольных точек. Далеко не герметичное печное пространство, отделённое от атмосферы цеха лишь опускающейся сверху заслонкой (плохо прилегающей к загрузочному проёму) обуславливает градиент температуры по длине печи. Температурный градиент по высоте печи практически не наблюдается - показания термопар, установленных на поддоне, не уступают показаниям верхних стационарных термопар (волнистые линии I-II). Максимальный температурный градиент наблюдается на границе металл-воздух и значительный – по толщине отжигаемого рулона. Отсюда очевидно, что масса отжигаемого рулона должна оказывать значительное влияние на процессы нагрева, а также, надо полагать, выдержки и охлаждения – увеличение массы приводит к увеличению суммарной неоднородности температуры и, соответственно, свойств отожжённого проката.

Из полученных результатов видно, что температура нагрева проката не должна быть слишком высокой, чтобы не активизировалось испарение цинка, приводящие к проблемам экологии и качества [6, 7]. Таким образом, рекомендации широко известных в цветной металлургии авторов о температуре отжига латуни Л63 600-700°С [7] нуждаются в корректировке. Действительно, испарение цинка, усиливающееся гиперболически с увеличением температуры, при ~700°С проходит уже слишком интенсивно, что совершенно неприемлемо. С другой стороны, для получения отожжённой до мягкого состояния латуни необходимо, чтобы её температура была достаточно высокой, чтобы рекристаллизация [8] во всём рулоне полностью завершилась. Задача прохода «между Сциллой и Харибдой» этих условий при отжиге в таких печах становится достаточно сложной с учётом неоднородности температуры в объёме отжигае-

мого рулона, обусловленной низким теплообменом в таких печах. Одним из путей её решения могла бы стать, например, компенсация уменьшения температуры отжига за счёт увеличения времени выдержки при заданной температуре.

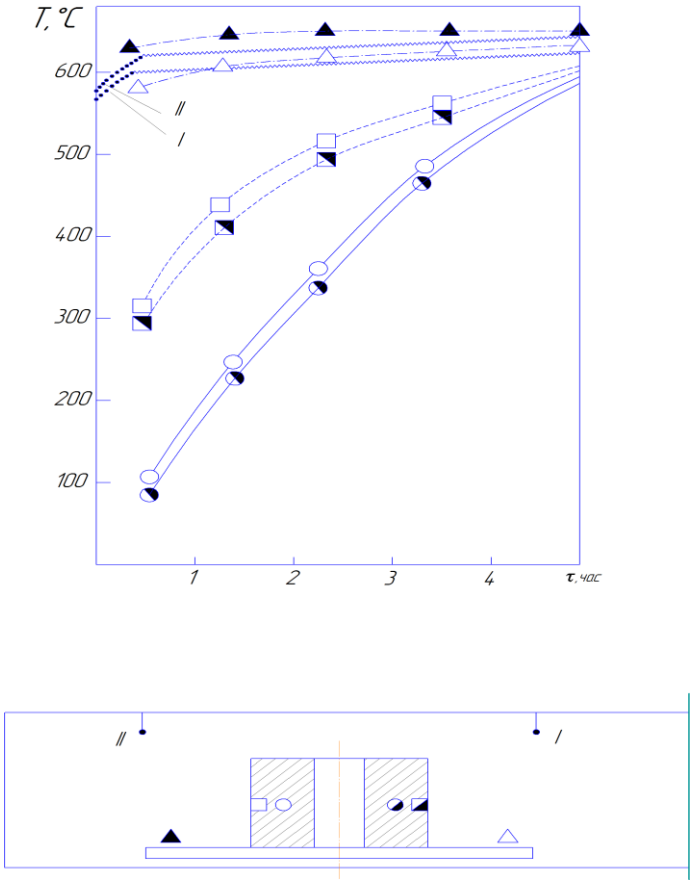


Рисунок 1. Схема камерной печи (заслонка справа), нагреваемого в ней двухтонного рулона, расположения точек непрерывного температурного контроля и диаграммы изменения температуры в каждой контрольной точке

На основании полученных результатов и литературных данных мы предложили уменьшить температуру нагрева до 550°C-570°C (для компенсации температурного градиента по длине печи предложено в первой зоне устанавливать температуру выше на 10-20°C) и провели отжиг рулона проката, аналогичного представленному на рис. 1. В результате на отожжённом прокате видимые следы испарения цинка исчезли, а его свойства также удовлетворяли требованиям, регламентируемым для мягкого состояния. Что касается гарантированного получения окончательным отжигом в садочной печи проката в полутвёрдом

состоянии, то на основании наблюдаемой неоднородности температуры (см. рис) можно уверенно говорить об отсутствии такой возможности.

Опробованный режим отжига следует считать весьма ориентировочным, базовым, тогда как режим отжига каждой конкретной садки проката после проведения большого комплекса дополнительных исследований должен различаться. Действительно, в реальных, постоянно меняющихся производственных условиях часто возникает необходимость отжига в одной садке нескольких рулонов, которые могут различаться по массе, типоразмеру и даже по сплаву. Кроме этих различий на неоднородность фактического режима отжига в пределах садки должно оказывать влияние расположение в печном пространстве каждого из представленных в садке рулонов и масса всей садки в целом. Поэтому следует разработать рекомендации, а в ряде случаев жёсткие ограничения, направленные на уменьшение данной неоднородности. Для разграничения допустимых и недопустимых сочетаний отжигаемых в садке рулонов, различающихся по массе и толщине проката, необходимо проводить исследования изменения температуры их наружных и внутренних витков в различных местах печного пространства для садок разной общей массы. Для разработки объективно обоснованного полного технологического регламента необходимо проведение пирометрических исследований не только при нагреве, но и при выдержке в заданной температуре, а также при остывании рулонов.

Выводы.

1. Основной причиной дефектов и образований, обнаруживаемых на поверхности отожжённых полос, является испарение цинка, катастрофически усиливающееся с повышением температуры отжига.

2. Для нормализации экологической обстановки в цехе и предотвращения случаев брака предложен базовый (средний, основной) режим отжига до мягкого состояния, обеспечивающий завершение процесса рекристаллизации и позволяющий избежать чрезмерного испарения цинка.

3. Для гарантированного качества базовый режим отжига должен варьироваться в зависимости от типоразмера отжигаемого проката, массы отдельных

рулонов, а возможные сочетания составляющих садку рулонов и их расположение в печном пространстве должны строго регламентироваться, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Осинцев О.Е., Фёдоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. М. : Машиностроение, 2004. 336 с., ил.
2. Nakagawa Shigesabaro. Bright annealing of copper alloys // Chemical Abstracts. 1980. V. 92. № 24, Jun. 16.
3. Кручер Г.Н. Комплексный информационный бюллетень по термообработке цветных металлов № 2/14. АО институт Гипроцветметобработка. М., 1994. 274 с.
4. Колачёв Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов. - М. : Металлургия, 1966. 255 с.
5. Певзнер М.З., Широков Н.М., Хаютин С.Г. Непрерывная индукционная термообработка лент и полос. М. : Металлургия, 1994. 128 с.
6. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров, врачей : 7 изд., перераб. и доп. В 3-х томах / Ред. Н.В. Лазарев, Э.Н. Левина. Л. : Химия, 1976.
7. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургия,1974. 488 с.
8. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов : 3-е изд. М. : МИСИС, 2005. 432 с.

Промышленные исследования влияния химического состава на свойства латунного проката после непрерывного отжига до мягкого состояния

М.З. Певзнер
Кандидат технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация,
E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru

Аннотация: Представлен обзор данных о влиянии примесей на свойства латуни, а также результаты пассивного промышленного эксперимента, устанавливающие статистическую связь химического состава непрерывно отожжённой ленты латуни Л63 с её механическими свойствами. Исследовалось влияние содержания свинца, железа, олова, кремния и меди, контролируемых спектральным анализом. Состав меди варьировался в пределах 62,5-64,5%, а примесей - ≥ 0,01% - минимальное их содержание в стандартных образцах. Установлена наиболее достоверная зависимость свойств от содержания кремния и весьма существенная - от содержания меди в её регламентируемых пределах. Достаточно значимого влияния на свойства примеси свинца не обнаружено. Разработаны рекомендации и отработан механизм организации превентивного контроля химического состава литой пробы и управления качеством на его основе путём перераспределения технологических потоков, исключающего попадание партий неблагоприятного состава в производство данной ленты.

Ключевые слова: примеси в латунной ленте, непрерывный отжиг, механические свойства, статистический анализ.

В практике производства ленты латуни Л63 с использованием окончательного непрерывного отжига [1] на Кировском заводе ОЦМ наблюдаются случаи, когда механические свойства не соответствуют интервалам, регламентируемым ГОСТами для проката в мягком состоянии – он оказывается недостаточно мягким. С учётом большого объёма (до нескольких тонн) каждой единицы производимой продукции случаи такого рода могут приводить к значительным потерям. Априорные данные показали, что брак такого рода не может быть объяснён только колебаниями содержания меди в пределах его регламентируемого ГОСТ 15527-2004 интервала варьирования 3%, влияние которого на формирование структуры, текстуры и свойств достаточно хорошо известно [2, 3]. Естественно полагать, что определённое влияние должны оказывать и другие элементы, присутствующие в двойных латунях в виде примесей. Действитель-

но, содержание многих примесей в этом сплаве ограничено в целом в более широких пределах в сравнении с их содержанием в других латунях. Между тем достаточно давно известно влияние многих добавок, в частности, Sn, Pb, Ni, Mn, Al [4], а также Ge [5] на диаграмму фазового состояния системы Cu-Zn. Известно также, что примесь Fe существенно замедляет процесс рекристаллизации [6], измельчает зерно, повышает прочность сплава [7, 8], что висмут при значительном содержании уменьшает технологичность при холодной деформации [9], а Pb – при горячей [10] и т.д. Легирующие элементы, как правило, замедляют процесс рекристаллизации, особенно взаимодействуя друг с другом [11]. В самом деле, растворяясь в α- и β-фазах, атомы примеси препятствуют движению границ зёрен (но не всех [12], всегда следует учитывать аномальное поведение специальных границ [13]) и, особенно, менее подвижных зернограничных стыков [14]. Тем бóльшим препятствием являются дополнительные фазы, которые могут образовываться в результате такого взаимодействия [15]. Без учёта этих нюансов принято считать, что, растворяясь в α- и β-фазах, практически все элементы за исключением никеля смещают диаграмму фазового равновесия, увеличивая «кажущуюся» концентрацию цинка [16]. Степень такого влияния каждого элемента примеси на структуру и свойства латуней оценивают, как известно, коэффициентами замены цинка (коэффициентами эквивалентности Гийе [16]). Но используемые при работе со всеми двойными латунями коэффициенты Гийе не отражают в полной мере физическую сущность упрочнения в условиях фазового перехода, свойственного латуни Л63 [17].

Обусловленные примесями препятствия процессам разупрочнения особенно существенную роль играют в условиях ускоренного непрерывного нагрева и охлаждения, когда материал «не успевает добрать» требуемую степень разупрочнения. Отжигаемая таким образом лента из латуни Л63, предварительно прокатанная из быстро нагретой и охлаждённой заготовки, имеет структуру пересыщенного твёрдого раствора. Формирование его структуры и свойств при рекристаллизации и последующем быстром охлаждении в условиях фазового перехода имеет свои особенности [18, 19]. Всё вышеуказанное не позволяет до-

статочно точно оценить влияние содержания каждого элемента на свойства полученных по определённой технологии промышленных партий проката и, таким образом, решить задачу предотвращения брака. Единственной возможностью решения данной задачи, избегая дополнительных потерь в ходе опытных работ, по нашему мнению было бы проведение масштабного пассивного промышленного эксперимента.

Предметом настоящей работы было статистическое обследование постоянно накапливаемой базы данных о составе и свойствах обработанных на предприятии промышленных партий, выявление наиболее «опасных» элементов и разработка мероприятий по предотвращению случаев брака.

Поскольку результаты испытаний механических свойств зависят от толщины контролируемого проката [20] в качестве материала исследования использовали ленту конкретного типоразмера, изготавливаемого в наибольшем объёме (0,8 мм). Технология её производства включала плавку и полунепрерывную отливку слитков, в ходе которых контролировался состав расплава и/или «уголка»[3], предварительно отрезанного от слитка. После горячей прокатки и холодной прокатки за два передела с промежуточным отжигом эта лента окончательно обрабатывалась[4] по принятой для данного типоразмера технологии (700°C, 6 м/мин) в линии непрерывного отжига и травления Эртей (производство Франции). После обрезки на нужную ширину служба менеджмента качества производит контроль состояния поверхности, размера, свойств[5] и химического состава[6] ленты в соответствии с условиями поставки.

Для отбора данных[7], производившегося в течение 13 (тринадцати) месяцев, использовалась разработанная на предприятии в рамках системы менеджмента качества для тотального контроля состава и свойств всех обрабатываемых партий программа «Новый контроль качества». В связи с необходимостью

[3] В работе участвовала И.В. Харитонова
[4] В работе участвовал Л.Н. Новосёлов
[5] В работе участвовала Л.В. Машинина
[6] В работе участвовала Е.В. Пушнякова
[7] В работе участвовала Л.Н. Михалёва

проведения данных статистических исследований программа была модернизирована, в частности, предусмотрено:

- усреднение результатов контроля состава и испытаний механических свойств;

- градация выводимых данных не только по размерам, но и по состояниям уровня механических свойств изготавливаемых партий;

- исключение из предназначенной для анализа информационной базы данных о партиях готовой продукции, представляющих собой смешение различных цеховых партий и плавок;

- отображение и вывод в формат excel химического состава плавок или слитков, соответствующих тем партиям готовой продукции, химический состав которых не контролируется по условиям поставки.

К недостаткам используемой методики следует отнести невозможность использования в расчётах данных о партиях, забракованных по составу и величине механических свойств, - программа «Новый контроль качества» работает в рамках годной продукции.

В результате были получены данные о механических свойствах (временному сопротивлению σв, относительному удлинению δ), а также содержанию меди Си и примесей (свинца РЬ, олова Sn, железа Fe и кремния Si) 445 партий готовой ленты. Остальные элементы не удалось использовать в расчётах, так как их содержание во всех партиях оказалось меньшим минимального содержания в аттестованных стандартных образцах. Из четырёх элементов примесей два (РЬ ≤ 0,07 %, Fe ≤ 0,2 %) точно регламентируется ГОСТ 15527-2004, а два (Sn, Si) регламентируются в составе «суммы прочих элементов» (≤ 0,5 %), причём в бóльшей части партий содержание Si было меньше или равно минимальному его содержанию в стандартных образцах (0,01 %). С целью повышения достоверности результатов используемого нами в рамках программы Excel [21] метода множественного регрессионного анализа [22] данные об этих партиях были удалены. Результаты контроля оставшихся используемых в расчёте 111 партий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты контроля состава и свойств (усреднённые значения) изготовленных промышленных партий ленты латуни Л63 в мягком состоянии

Pb,%	Sn,%	Fe,%	Si, %	Cи, %	σв, МПа	δ, %
0,0315	0,0105	0,041	0,0375	63,225	368,33	50,333
0,0315	0,0105	0,041	0,0375	63,225	373,33	50,333
0,0197	0,02	0,0937	0,035	63,733	383,89	50,444
Pb,%	Sn,%	Fe,%	Si, %	Cи, %	σв, МПа	δ, %
0,0315	0,0105	0,041	0,0375	63,225	362,5	50,75
0,0183	0,0533	0,0463	0,0287	63,583	367,92	57,667
0,022	0,0115	0,038	0,0205	63,725	352,5	56,833
0,0183	0,01	0,0357	0,025	63,367	356,67	54,667
0,0183	0,01	0,0357	0,025	63,367	361,67	58,667
0,0237	0,01	0,1333	0,0137	63,133	370	51
0,02	0,01	0,105	0,0137	63,21	370,83	51,667
0,0247	0,01	0,0417	0,022	63,183	335,83	60,5
0,0247	0,01	0,0417	0,022	63,183	336,67	60,833
0,0247	0,01	0,0417	0,022	63,183	335,83	62,833
0,023	0,012	0,0487	0,0133	63,2	366,67	54
0,023	0,012	0,0487	0,0133	63,2	335,83	52,5
0,023	0,012	0,0487	0,0133	63,2	366,67	54
0,018	0,0167	0,15	0,025	63,1	338,33	61,667
0,018	0,0167	0,15	0,025	63,1	339,17	63
0,018	0,0167	0,15	0,025	63,1	341,67	66,333
0,0157	0,01	0,034	0,02	63,283	331,67	62,333
0,0157	0,01	0,034	0,02	63,283	333,89	61
0,0217	0,019	0,0443	0,0333	63,6	371,11	54,111
0,0217	0,019	0,0443	0,0333	63,6	366,67	55,333
0,0233	0,0117	0,0513	0,0193	63,35	359,17	54,833
0,0233	0,0117	0,0513	0,0193	63,35	358,33	55,333
0,0233	0,0117	0,0513	0,0193	63,35	371,67	53,333
0,0187	0,0107	0,035	0,038	63,267	354,44	55,778
0,0187	0,0107	0,035	0,038	63,267	366,67	55,667
0,0187	0,0107	0,035	0,038	63,267	366,67	55,667
0,0183	0,01	0,045	0,0243	63,117	361,67	53
0,0233	0,019	0,034	0,0673	63,433	371,67	55,889
0,0233	0,019	0,034	0,0673	63,433	373,33	54,333
0,0233	0,019	0,034	0,0673	63,433	371,67	63,667
0,0167	0,01	0,0503	0,0293	63,283	366,67	62
0,0197	0,0103	0,0343	0,089	62,533	363,33	52,833
0,0197	0,0103	0,0343	0,089	62,533	366,67	52,667
0,0153	0,0113	0,0387	0,044	63,083	373,33	54
0,0153	0,0113	0,0387	0,044	63,083	373,33	53,333
0,0178	0,0113	0,0345	0,043	63,375	357,22	56,111
0,0223	0,0103	0,039	0,0217	63,017	364,44	56,667
0,0197	0,0113	0,057	0,0443	63,75	386,67	59,667
0,016	0,011	0,0347	0,0143	63,533	354,17	56,167
0,016	0,011	0,0347	0,0143	63,533	358,33	57,167
0,016	0,011	0,0347	0,0143	63,533	351,67	60

0,0197	0,0113	0,057	0,0443	63,75	371,67	54
0,0197	0,0113	0,057	0,0443	63,75	366,67	54,667
0,0123	0,01	0,032	0,061	63,367	372,5	51,833
0,0123	0,01	0,032	0,061	63,367	373,33	52,333
0,0123	0,01	0,032	0,061	63,367	375	53,667
0,0197	0,0113	0,057	0,0443	63,75	393,33	56,667
0,0167	0,012	0,0413	0,0193	63,55	350,83	56,5
0,0167	0,012	0,0413	0,0193	63,55	350	57
Pb,%	Sn,%	Fe,%	Si, %	Си, %	σв, МПа	δ, %
0,0167	0,012	0,0413	0,0193	63,55	351,67	55,333
0,0177	0,0117	0,0397	0,034	63,45	370,83	52,833
0,0177	0,0117	0,0397	0,034	63,45	371,67	54,167
0,0177	0,0117	0,0397	0,034	63,45	368,33	53
0,0267	0,0147	0,0457	0,031	63,517	373,33	53
0,0267	0,0147	0,0457	0,031	63,517	373,33	53,667
0,012	0,01	0,0297	0,043	62,933	365	54,417
0,025	0,0203	0,0513	0,053	63,317	385	51,333
0,0267	0,0257	0,058	0,0643	63,717	395,36	49,286
0,0267	0,0257	0,058	0,0643	63,717	385	49,333
0,0267	0,0257	0,058	0,0643	63,717	383,33	49,667
0,0245	0,015	0,052	0,0215	63,2	354,17	56,667
0,0245	0,015	0,052	0,0215	63,2	346,67	58,333
0,0245	0,015	0,052	0,0215	63,2	346,67	57,667
0,0197	0,0147	0,0437	0,0237	63,583	366,67	55,333
0,0197	0,0147	0,0437	0,0237	63,583	365	55,667
0,0197	0,0147	0,0437	0,0237	63,583	378,33	55,333
0,0265	0,0195	0,067	0,03	64,475	365,56	53,111
0,0197	0,0147	0,0437	0,0237	63,583	353,33	51,667
0,0195	0,0115	0,0475	0,0815	63,525	385	56,667
3,0195	0,0115	0,0475	0,0815	63,525	386,67	57
3,015	0,012	0,097	0,055	63,95	381,67	50,333
0,0103	0,0103	0,027	0,011	63,5	341,67	60,333
0,0103	0,0103	0,027	0,011	63,5	344,17	59
0,0193	0,0123	0,044	0,011	63,883	346,67	61,333
0,0193	0,0123	0,044	0,011	63,883	341,67	60
0,0193	0,0123	0,044	0,011	63,883	355	55,333
0,027	0,0113	0,0383	0,0117	63,517	348,33	58,5
0,027	0,0113	0,0383	0,0117	63,517	348,33	60
0,027	0,0113	0,0383	0,0117	63,517	346,67	59
0,023	0,013	0,0677	0,0207	63,083	400	54,5
0,0223	0,017	0,038	0,0283	63,417	372,5	51,333
0,0223	0,017	0,038	0,0283	63,417	378,33	49,333
0,0223	0,017	0,038	0,0283	63,417	381,67	52,333
0,026	0,028	0,1	0,054	63,9	380,56	48,889
0,0275	0,0265	0,0545	0,053	63,975	370,56	51,667
0,021	0,01	0,033	0,0273	63,4	328,75	62,25
0,0307	0,012	0,0517	0,0153	63,35	333,33	59,333
0,0307	0,012	0,0517	0,0153	63,35	343,33	69
0,0307	0,012	0,0517	0,0153	63,35	341,67	68
0,0163	0,01	0,04	0,012	63,933	356,11	56,111

0,023	0,0133	0,0407	0,014	63,883	362,22	53,778
0,0397	0,0123	0,0467	0,013	63,383	371,67	48,667
0,0397	0,0123	0,0467	0,013	63,383	380	48,333
0,0433	0,0183	0,0427	0,014	63,85	358,33	55
0,0433	0,0183	0,0427	0,014	63,85	357,5	55,333
0,0337	0,0283	0,0397	0,042	63,933	370	65,667
0,0337	0,0283	0,0397	0,042	63,933	375	61,333
0,0337	0,0283	0,0397	0,042	63,933	375	61,333
РЬ,%	Sn,%	Fe,%	Si, %	Си, %	σв, МПа	δ, %
0,0337	0,0283	0,0397	0,042	63,933	376,67	50,667
0,0217	0,0157	0,035	0,057	63,717	375	53
0,0285	0,0155	0,037	0,015	63,925	358,33	57,111
0,0223	0,016	0,032	0,0887	63,8	378,33	52,333
0,0273	0,013	0,0427	0,0363	63,75	373,33	52,833
0,0273	0,013	0,0427	0,0363	63,75	372,5	53,333
0,0273	0,013	0,0427	0,0363	63,75	370	53
0,0223	0,016	0,032	0,0887	63,8	385	50
0,0343	0,0163	0,057	0,075	63,267	345	55,333
0,0343	0,0163	0,057	0,075	63,267	386,67	49,333

На основе результатов контроля (см. табл. 1) проведён линейный регрессионный анализ влияния меди и ряда примесей на величину временного сопротивления на разрыв σв, по превышению допустимых значений которого, как правило, бракуется эта лента (табл. 2-4).

Таблица 2

Регрессионная статистика

Множественный Rмн (коэфф. множественной корреляции)	R-квадрат (коэфф. детерминации)	Нормированный R-квадрат	Стандартная ошибка	Наблюдения
0,611805	0,374305	0,34451	12,53538	111

Таблица 3

Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	5	9870,241	1974,048	12,56268	1,45E-09
Остаток	105	16499,26	157,1358		
Итого	110	26369,5			

Таблица 4

Результаты собственно регрессионного анализа

	Коэффты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	-303,713	288,9695	-1,05102	0,295662	-876,686	269,26
РЬ,%	1,564757	3,230275	0,484404	0,629108	-4,84028	7,969795
Sn,%	262,7994	233,8917	1,123594	0,263747	-200,965	726,5634
Fe,%	16,63731	54,67701	0,304283	0,761514	-91,7771	125,0517
Si, %	395,4119	63,42037	6,234778	9,61E-09	269,6611	521,1628
Си, %	10,22913	4,561913	2,24229	0,027045	1,183701	19,27456

Видно, что коэффициент множественной корреляции и коэффициенты детерминации имеют достаточно низкие значения (см. табл. 2), что можно объяснить относительно высокой дисперсией малых значений контролируемых примесей и не учитываемым здесь взаимодействием факторов. Но при этом относительная дисперсия *MS,* обусловленная регрессией, во много раз превышает дисперсию, обусловленную случайными и неучтёнными факторами (см. табл. 3)., а расчётное значение F-критерия Фишера $F = MS_{регрессии} / MS_{ошибок}$ - величина весьма значительная и, соответственно, «значимость F» – во много раз меньше любого реально используемого уровня значимости α, что говорит о высокой достоверности используемой модели. Критические значения t-статистики для уровней значимости 0,2; 0,1; 0,05; 0,01; 0,001 равны, соответственно, 1,29; 1,66; 1,984; 2,626; 3,390. При сравнении их с расчётными значениями t-статистики (см. табл. 4) видно, что на временное сопротивление с огромной достоверностью, приближающейся к 100 % влияет содержание кремния и с достоверностью ~ 97 % - содержание меди. Соответственно, P-Значение вероятности только этих факторов меньше уровня значимости 0,05 (см. табл. 4).

Во многих случаях рекомендуют повторить регрессионный анализ, исключив из рассмотрения те факторы, соответствующие которым коэффициенты Сьюдента меньше своих критических значений для удовлетворительного уровня значимости [23]. Результаты регрессионного анализа для двух факторов (содержания кремния и меди) представлены в табл. 5-7. Видно, что величина «Значимость F» уменьшилась ещё почти на 2 порядка, то есть соответственно достоверность модели ещё повысилась (см. табл. 6). Кроме того, повысились достоверность и точность определения коэффициентов регрессии: увеличились значения t-статистики и уменьшились P-Значения, а также уменьшились стандартная ошибка и разброс между «Нижние 95%» и «Верхние 95%» (см. табл. 7). С другой стороны, попытка включения в число действующих факторов олова, влияние которого по данным табл. 4 с определённой долей вероятности также можно предполагать, не дала положительных результатов. Значения t-статистик при этом уменьшались, а P-Значения увеличивались.

Таблица 5

Регрессионная статистика

Множественный RMH (коэфф. множественной корреляции)	R-квадрат (коэфф. детерминации)	Нормированный R-квадрат	Стандартная ошибка	Наблюдения
0,603206	0,363858	0,352077	12,46282	111

Таблица 6

Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	9594,743	4797,371	30,88664	2,47E-11
Остаток	108	16774,76	155,3219		
Итого	110	26369,5			

Таблица 7

Результаты собственно регрессионного анализа

	Коэфф-ты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	-448,741	250,1678	-1,79376	0,07565	-944,617	-448,741
Si, %	419,1201	57,49161	7,29011	5,4E-11	305,1618	419,1201
Си, %	12,57565	3,94001	3,191782	0,001852	4,765871	12,57565

На основании полученных результатов рассматривалось два направления решения проблемы:

- изменение режима отжига (уменьшение скорости движения ожигаемой ленты тех партий, которые характеризуются повышенным содержанием, например, кремния),

- внедрение превентивного контроля и отбора партий слитков, состав которых гарантирует получение нужных свойств при точном соблюдении технологических режимов. Такая стратегия предупреждения брака по механическим свойствам, заключающаяся в превентивном контроле химического состава латуни ещё на стадии её плавки. Аналогичный способ предупреждения брака уже использовался на предприятии при производстве ленты латуни Л68, предназначенной для трубосварки [24], когда ограничивалось содержание свинца, и партии, не удовлетворяющие введённому ограничению, направлялись на выполнение других заказов. Этот способ предупреждения брака представляется более эффективным, так как он не связан с изменениями технологии термообработки, а имеющийся портфель заказов и состав используемой шихты позволяют без ущерба перераспределять технологические потоки.

Выводы.

1. Имеющиеся литературные данные не позволяет достаточно точно оценить влияние содержания каждого элемента на свойства промышленных партий проката, полученных, в частности, окончательным непрерывным отжигом.

2. Статистический анализ связи состава и свойств промышленных партий с достоверностью, приближающейся к 100 %, показал влияние содержание кремния и с достоверностью ~ 97 % - содержание меди.

3. Предложена технология превентивного контроля латуни ещё на стадии её плавки и отбора партий слитков, состав которых гарантирует получение нужных свойств при точном соблюдении технологических режимов.

Список литературы

1. Колачёв, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачёв, В.Н. Елагин, В.А. Ливанов. - М. : МИСИС, 2005. – 432 с.

2. Певзнер, М.З. Об особенностях управления непрерывной термообработкой в поперечном магнитном поле при производстве мягкого проката из латуни Л63 / М.З. Певзнер // Производство проката. – 2017. - № 8. - С. 26-33.

3. Pevzner, M.Z. Variation of texture parameters in treatment of strip of aluminum and copper alloys and relationship between texture parameters and physical properties / M.Z. Pevzner , S.G. Khayutin // Metal Science and Heat Treatment. - 2011. - Vol. 53, N 5-6, September. - P. 285-292 (Springer New York, USA. P.O. Box 13301 Newark, NJ 07101-3301).

4. Мураками Йотаро. Практика термообработки материалов. Медные сплавы. Современные направления в разработке и усовершенствовании сплавов / Мураками Йотаро // Kinzoku. - 1974. - V. 44. - № 10. - P. 21-24.

5. Данелия, Е.П. Влияние германия на фазовый состав (и) - латуни / Е.П. Данелия, Б.Н. Ефремов, С.М. Чупахин // Оптимизация свойств и рациональное применение латуней и алюминиевых бронз. – М., 1988. – С. 31-34.

6. Горелик, С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С.С. Горелик, С.В. Добаткин, Л.М. Капуткина : 3-е изд. - М. : МИСИС, 2005. - 432 с.

7. Влияние примесей и легирующих добавок на свойства латунных заготовок / С.В. Брусницын [и др.] // Литейное производство. – 1994. - № 1. – С. 24-25.

8. Kurian, J. Procesy rekryštalizácie mosadze Ms63 / J. Kurian, I. Lukač, J. Luštik // Hutn. listy. – 1985. – 40. - № 11. – P. 802-809. [Процессы рекристаллизации в латуни Л63].

9. Влияние висмута и свинца на микроструктуру и технологичность латуни Л70 при холодной прокатке / А.К. Фарманов, В.Д. Белов, Н.А. Белов и др. // Цветные металлы. - 2007. - № 10. - С. 99-103.

10. Журавель, Л.В. Влияние свинца на пластическую деформацию латуней / Л.В. Журавель, В.А. Яценко, А.Г. Ивашкевич // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1976. - № 3. - С. 55-56.

11. Akbari, G.H. Effects of Al, Si and Mn on the Recrystallization Behaviors of Fe containing 70B Brass / G.H. Akbari, H. Abbaszadeh, H. Ghotbi Ravandi // Materials Science Forum [Electronic resource]. - 2007. - V. 558-559. - P. 107-111. - (Switzerland: Trans. Tech. Publications, 2007). - Online at http://www.scientific.net.

12. Seong Gyoon Kim. Abnormal Grain Growth Induced by Boundary Segregation of Solute Atoms / Seong Gyoon Kim, Won Tae Kim, Yong Bum Park // Materials Science Forum [Electronic resource]. - 2007. - V. 558-559. - P. 1093-1099. - (Switzerland: Trans. Tech. Publications, 2007). - Online at http://www.scientific.net.

13. Reed, B.W. Fracture roughness scaling and its correlation with grain boundary network structure / B.W. Reed, M. Kumar, R.W. Minich, R.E. Rudd // Acta Materialia. - 2008. - V. 56. - Issue 13, August. - P. 3278-3289.

14. Gottstein, G. Grain boundary junction engineering / G. Gottstein, L.S. Shvindlerman // Scripta Materialia. - 2006. - V. 54. - Issue 6, March. - P. 1065-1070.

15. Чернов, В.С. О механизме модифицирования металлов / В.С. Чернов, Ф.И. Бусол // Металлы. – 1975. - № 2. – С. 71-77.

16. Осинцев, О.Е. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки : Справочник / О.Е. Осинцев, В.Н. Фёдоров. - М. : Машиностроение, 2004. - 336 с., ил.

17. Agren, J. On the Classification of Phase Transformations / J. Agren // Scripta Materialia. - 2002. - V. 46. - № 12. - P. 893-898.

18. Ховова, О.М. Исследование процесса рекристаллизации деформированных пересыщенных твёрдых растворов в условиях высокоскоростного нагрева / О.М. Ховова, О.М. Жигалина, И.О. Думанский // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. - № 10. - С. 5-6.

19. Варавка, В.Н. Динамический анализ эволюции дефектной среды металлического сплава в условиях сверхбыстрого охлаждения сплавов / В.Н. Варавка // Физика металлов и металловедение. - 2006. - Т. 102. - № 1. - С. 5-13.

20. Злотин Л.Б., Портной С.Н., Протопопова Н.Б. Механические свойства холоднокатаных лент из меди и латуни в зависимости от их толщины // Цв. мет. - 1977. - № 5. - С. 67-69.

21. Козлов, А.Ю. Статистический анализ данных в MS Excel : учебное пособие / А.Ю. Козлов, В.С. Мхитарян, В.Ф. Шишов. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 320 с. – (Высшее образование).

22. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. - М. : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.

23. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика [Текст] : для инженеров и науч. работников / А. И. Кобзарь. – 2-е изд., испр. – Москва :Физматлит, 2012. – 816 с.

24. Кожин, В.Д. Предотвращение трещинообразования при трубосварке на Кировском заводе ОЦМ / В.Д. Кожин, Л.Ю. Лужбина, М.З. Певзнер // Цветные металлы. - 1990. - № 12. - С. 83-84.

Исследование процесса электрогидроимпульсной вытяжки тонколистовых материалов

Перевощиков В.Д.[a], Куимов Е.А. [b], Поляков С.М. [c]
Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения[a]
Кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения[b]
Кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и основ конструирования[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: perevochikov@vyatsu.ru[a], kuimov@vyatsu.ru[b], polyakov@vyatsu.ru[c]

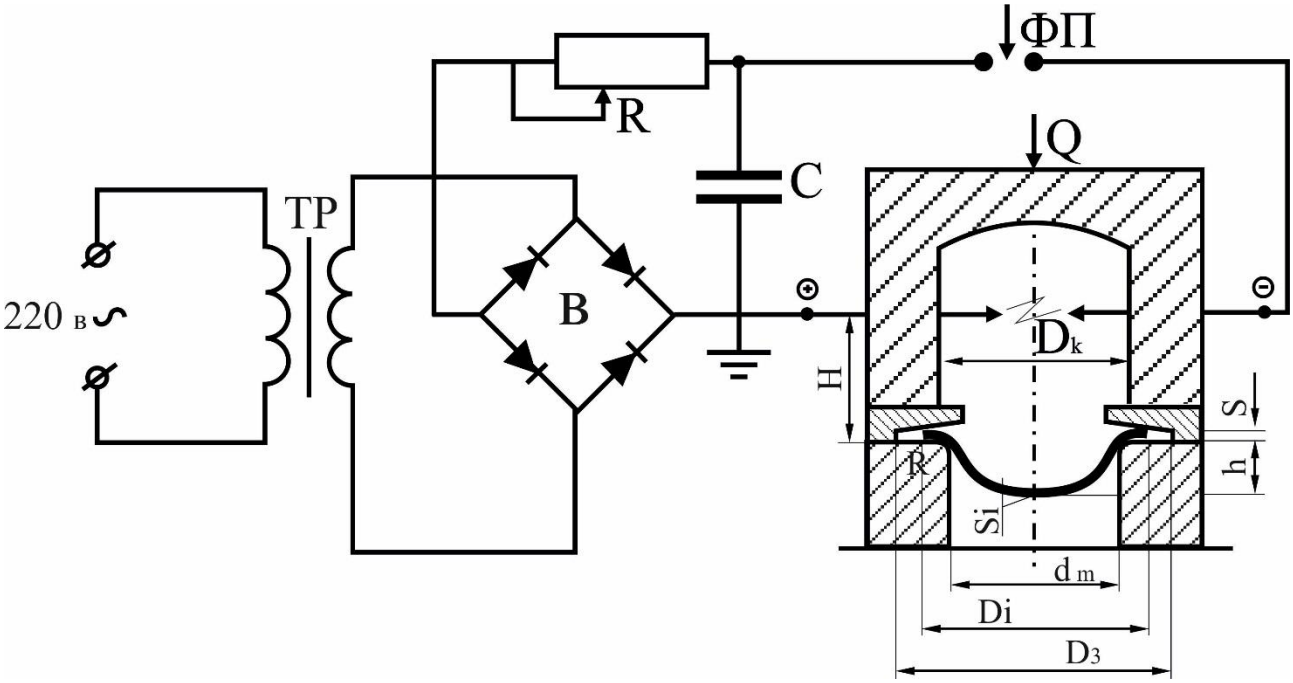
Аннотация: Все более широкое применение во многих отраслях техники находит ресурсо- и энергосберегающие технологии обработки материалов давлением, отличные от традиционных видов штамповки. Одной из таких современных перспективных технологий является электрогидроимпульсная (ЭГИ) вытяжка, которая обладает значительно более привлекательными технологическими параметрами процесса, в частности, высокими скоростями деформации, большим ресурсом пластического формообразования, возможностью концентрации в одной операции нескольких этапов формовки по сравнению с традиционными методами обработки давлением. Однако для промышленного внедрения технологий ЭГИ вытяжки требуется для каждой конкретной схемы нагружения нахождение оптимальных технологических параметров процесса. В работе исследована объемная ЭГИ вытяжка плоской листовой заготовки в круглую матрицу, показаны основные этапы процесса, определены технологические параметры.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная вытяжка; разряд; штамповка; импульс; энергия разряда.

В настоящее время процесс высокоскоростного формообразования деталей из листовых металлов и их сплавов находит широкое применение во многих отраслях техники, в особенности в авиастроении и судостроении. Для этого используются различные энергетические источники: взрывчатые вещества, сжатый газ, высоковольтный разряд в жидкости, электромагнитный удар и другие. При этом наибольшее распространение в промышленности получили гидровзрывной и электрогидроимпульсный (ЭГИ) процессы штамповки. Физическая сущность высокоскоростного деформирования заготовки при гидровзрывной вытяжке подробно рассмотрена в работах Ю.С. Навагина [1], М.А. Анучина [2] и других. Однако, ввиду сложности процесса нагружения заготовки и одновременного действия множества факторов анализ деформации произведен

для одномерного плоского течения при жестко защемленной заготовке. Процесс применяется в основном в судостроении при формообразовании деталей больших размеров, на судостроительных предприятиях, где бассейном является заводская акватория.

При ЭГИ вытяжке, в отличии от гидроимпульсной, источником энергии является высоковольтный разряд в жидкости и выделение энергии происходит в закрытой камере (рис.1), что приводит к появлению новых качественных эффектов и значительно расширяет область применения процесса [3,5].



ТР – высоковольтный трансформатор; В – высоковольтный выпрямитель;
R –разрядное сопротивление; С – батарея высоковольтных конденсаторов;
ФП – управляемый разрядник.

Рисунок 1. Схема процесса электрогидроимпульсной вытяжки

Например, появляется возможность гибко управлять технологическим процессом, выделяя энергию не за один, а за несколько разрядов, изменять время выделения энергии, а также конструкцией технологической оснастки. Все это вместе позволяет совмещать в одной операции ЭГИ вытяжки несколько технологических операций обычной штамповки, при этом технологическая

оснастка для ЭГИ штамповки упрощается и удешевляется по сравнению с традиционной в десятки и сотни раз.

Однако определяющим фактором при ЭГИ вытяжке является кинетика формообразования детали и предельная скорость деформации металла. Превышение последней приводит к хрупкому разрыву образца при простом растяжении при малой величине деформации.

На рис.2 показано такое разрушение деталей. На примерах детали №1 показано хрупкое разрушение, а на детали №2 разрушение в следствии предельного утонения купольной части.

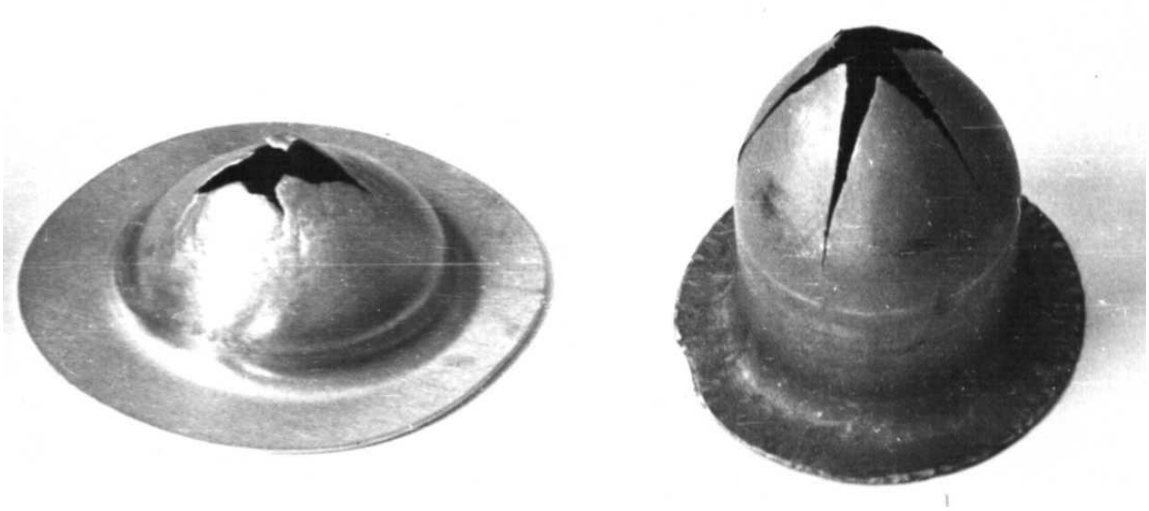


Рисунок 2. Примеры разрушения деталей при ЭГИ – вытяжке.
1 – деталь из алюминиевого сплава; 2 – деталь из латуни Л63

Для наглядного представления кинематики движения заготовки при ЭГИ вытяжке весь процесс можно разделить на несколько этапов и, определив форму и размеры детали на каждом этапе, можно получить наиболее полное представление ЭГИШ (рис.3).

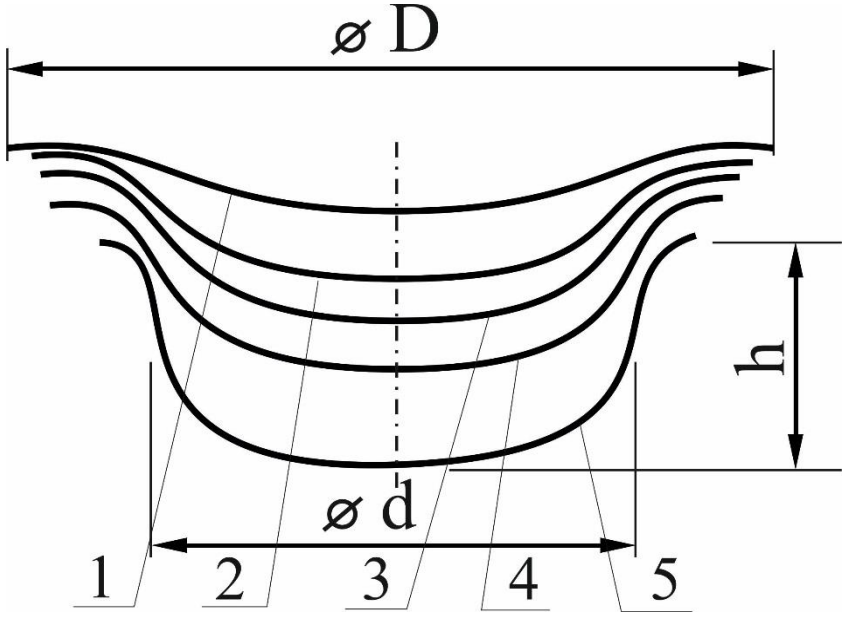


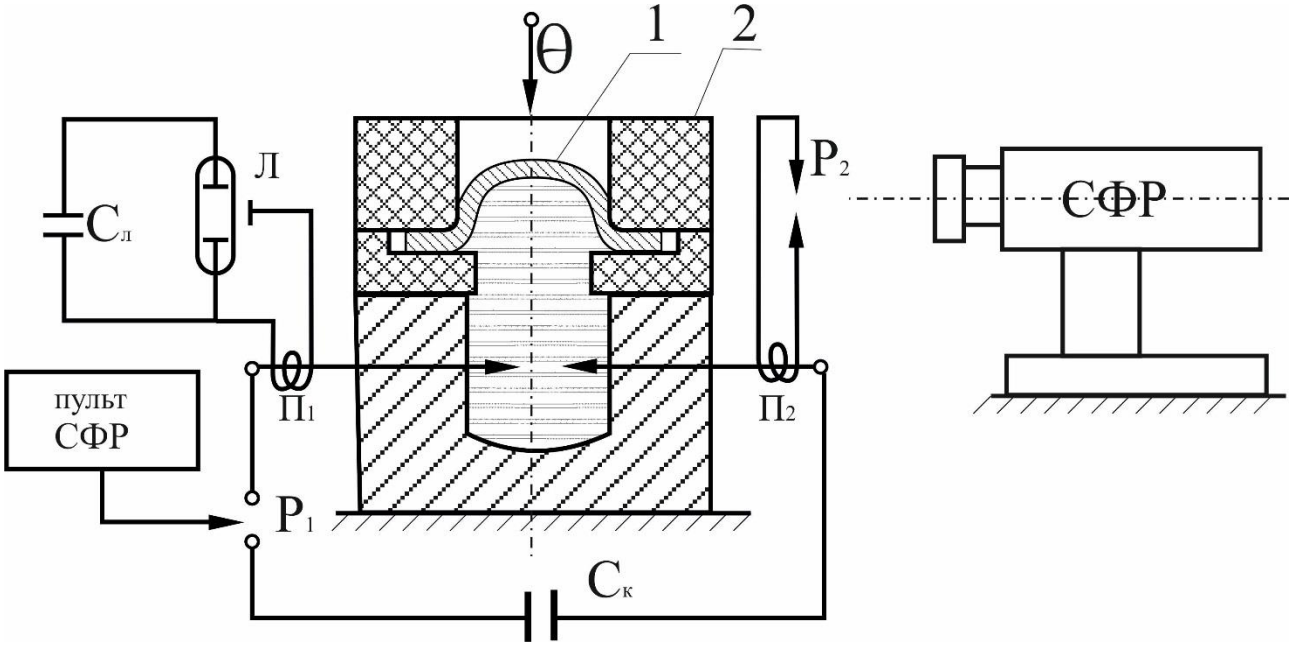
Рисунок 3. Кинематика движения заготовки при ЭГИ вытяжке.
Материал – Латунь Л63 (S =0,8 мм, К = 1,6).
Деталь №1 h/d = 0,15; №2 h/d = 0,25; №3 h/d = 0,3; №4 h/d = 0,4; №5 h/d = 0,5

Для этого в конце каждого этапа процесса вытяжки фиксируется форма и размеры получившихся деталей, а затем разрезав их пополам они соединяются в плоскости разрезов. Вытяжка детали осуществляется за несколько разрядов при оптимальной величине энергии, выделяемой в каждом разряде [3]. Технологические параметры накопленной энергии для разряда определялись экспериментально с использованием методики планирования эксперимента для проходного сечения матрицы dм = 50 мм, исходной толщины материала заготовки So = 1 мм, величина энергии единичного разряда Wi определялась для материалов: АМцАМ – Wi = 1,5 кДж, латунь Л63 - Wi = 2,0 кДж, Сталь10 - Wi = 3,0 кДж, нержавеющая сталь 1Х18Н9Т - Wi = 1,5 кДж.

Анализируя полученные детали на рисунке 2, можно отметить, что форма купола деформируется до момента, соответствующего охвату перетяжного ребра матрицы (деталь №3). При дальнейшей вытяжке (детали №4 и №5) кривизна участков свободного деформирования остается постоянной в процессе всей дальнейшей вытяжки и перемещается вниз за счет увеличения цилиндрического участка детали, что подтверждает исследования И.В. Вершинина /4/. При

этом происходит интенсивный набор материала из фланца заготовки, чего не наблюдается на начальной стадии процесса вытяжки.

Подтверждение изменения геометрических характеристик последовательности формообразования в стеклянной матрице подкреплено съемками скоростным фоторегистратором СФР-2М в проходящем свете. Схема съемки процесса ЭГИ вытяжки изображена на рисунке 4.



1 – деталь; 2 – матрица; Р1 и Р2 – управляемые разрядники; Л – лампа подсветки (ИФК-2000); Ск и Сл – батареи конденсаторов разрядного контура и подсветки.

Рисунок 4. Схема съемки электрогидроимпульсной вытяжки сверхскоростным фоторегистратором СФР-2М

Подсветка процесса осуществлялась импульсной лампой вспышкой ИФК-200 при величине энергии до 3000 Дж. Съемка проводилась при числе оборотов зеркальца n = 7,5 тыс. оборотов в минуту с погрешностью до 0,5 %. Время протекания процесса, регистрируемого на неподвижную пленку в режиме лупы времени, при двухрядной линзовой вставке, имеющей по 30 линз в каждом ряду, запишется

$$\Delta t = t\sum \cdot \frac{x}{60}$$

или при счете кадров в одном ряду

$$\Delta t = t\Sigma \cdot \frac{X}{30}$$

где X – число кадров пленки; $t\Sigma = \frac{7,5}{n}10^3$ - время проецирования изображения при числе оборотов зеркальца « *n* » по шкале тахометра в тыс. об/мин.

Тогда время протекания процесса между двумя соседними кадрами, при счете в одном ряду определяется

$$\Delta t1 = \frac{7,5}{7,5} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{30} = 33,3 .$$

Частота съемки (*кад/с*)

$$f = \frac{K}{t\Sigma} \cdot 10^6 .$$

где К=60 общее число кадров в двухлинзовой вставке.

$$f = \frac{60 \cdot 7,5}{7,5 \cdot 1000} \cdot 10^6 = 60000 \text{ кад/с} .$$

Анализируя СФР-грамму, видно, что процесс ЭКИ вытяжки состоит из трех основных этапов: первый – разгон, второй – движение с примерно постоянной скоростью и третий – этап торможения.

На этапе разгона образующая донной части заготовки перемещается параллельно самой себе. В месте перетяжки ребра матрицы образуется стационарный пластический шарнир, а на некотором расстоянии от него нестационарный пластический шарнир. Форма купольной части заготовки представляет усеченный конус. При этом угол наклона конуса переменный во времени.

На втором этапе начинается преобразование конической поверхности в сферическую с переменной величиной радиуса сферы. На этапе торможения нестационарный пластический шарнир движется к центру заготовки. В конце этапа купол принимает форму близкого к параболоиду вращения. Последующее импульсное нагружение заготовки, предварительно вытянутой до полного охвата перетяжного ребра матрицы, не изменяют форму купола, но увеличивают высоту вытяжки (рис. 3).

По данным СФР-граммы построена зависимость перемещения центральной точки купола при ЭГИ вытяжке (рис.5) латунной заготовки толщиной S =

0,8 мм. Тангенс угла наклона кривой в точке будет характеризовать мгновенное значение скорости в данной точке, а отношение ординаты к абсциссе данной точки кривой характеризует среднее значение скорости на данном участке. Из рисунка 5 видно, что максимальное значение скорости приходится на начало процесса вытяжки. К концу процесса скорость вытяжки плавно уменьшается до нуля.

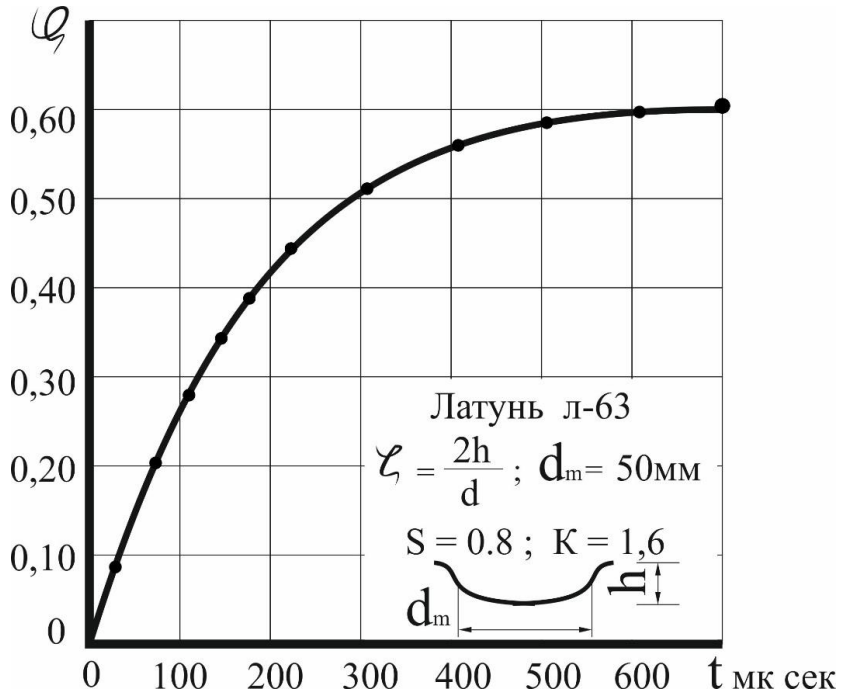


Рисунок 5. Перемещение центральной точки купола при ЭГИ вытяжке

Среднее значение скорости V перемещения центральной точки заготовки за время t = 600 мксек получилось 25 м/с, в то время как мгновенное значение скорости на этапе разгона достигает 80 м/с.

Список литературы

1. Навагин Ю.С. Основы расчета процесса гидровзрывной штамповки. Сб. Вопросы теории и практики гидровзрывной штамповки. Л., 1995

2. Анучин М.А., Антоненков О.Д. и др. Штамповка взрывом (основы теории). М.: Машиностроение, 1992

3. Богоявлинский К.Н., Орешенков И.А., Перевощиков В.Д. и др. Определение области эффективного применения электрогидравлических процессов и экспериментальное исследование процессов деформирования электрогидравлическим методом листовых заготовок. Отчет НИР. Тема №9175, Рег. № Б367527. Ленинград 1994

4. Вершинин И.В. Вытяжка цилиндрических деталей с фланцем. Изв.вузов №10, 1995

5. Куимов Е.А., Перевощиков В.Д., Жуйков В.А. Технологические особенности процесса электрогидроимпульсной штамповки. Advance Sciense. Научный журнал №1 (4) стр.75-86, ВятГУ, Киров 2014.

Болонский процесс причина кризиса вузовского образования

Петров И.Е.
кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: ie_petrov@vyatsu.ru

Аннотация: Рассматривая причины проблем Российского образования мы сталкиваемся с Болонским процессом, основополагающей основой организации образования. Российское образование присоединилось к Болонскому процессу в сентябре 2003г. обязавшись к 2010 г. воплотить в жизнь основные принципы Болонского процесса. Исследуя различные аспекты реализации системы трансформации образования можно сделать выводы что Болонская система превращает образование в сферу предоставления услуг. А в таких условиях не нужно учить студентов когнитивным технологиям, которые позволяют человеку стать самообучаемым. В Болонской системе интересно, чтобы за каждой новой компетенцией, он прибегал в ВУЗ и платил деньги, а ВУЗ ускоренно готовил его. Болонская структура зарубежом это несколько десятков мощных университетов и несколько десятков тысяч ВУЗов, которые называются университетами, но на самом деле – это уровень ПТУ, а то и ниже, т.е. очень слабое образование. Подтверждение тому программа WorldSkills активно внедряемая в Вузах.

Ключевые слова: кризис образовательных реформ, болонский процесс, критика образовательного процесса, трансформация образования

Рассматривая причины проблем Российского образования мы сталкиваемся с Болонским процессом, основополагающей основой организации образования. Российское образование присоединилось к Болонскому процессу в сентябре 2003г. обязавшись к 2010 г. воплотить в жизнь основные принципы Болонского процесса. Результаты воплощения в жизнь этих принципов мы можем видеть уже сейчас.

Сторонники Болонского процесса считали, что реформирование системы высшего образования в рамках Болонской декларации сделает полученное российским студентом образование понятным и приемлемым для работодателей по всей Европе, а также для иностранных менеджеров на территории России; студенты получат возможность в течение семестра или года учиться по программам мобильности в зарубежных вузах; они смогут скорректировать выбор про-

фессии или выбор вуза, при переходе с уровня на уровень – из бакалавриата в магистратуру или из магистратуры в докторантуру; студенты смогут накапливать академические кредиты и использовать их для получения, например, второго высшего образования и для образования в течение жизни; появятся новые возможности для глубокого изучения иностранных языков в родном вузе и в странах, носителях языков [1, с. 111].

С другой стороны, в научном и образовательном сообществе изначально были противники Болонского процесса. Их позиция основывается на том, что вступление в единое образовательное пространство повлечет за собой потерю некоторых качественных характеристик национальных систем высшего образования, отличающих эти системы друг от друга [2, с. 20].

Рассматривая итоги, вступления России в Болонский процесс, мы видим что отечественная система высшего образования не вполне оправдала ожидания реформаторов.

В рамках общеевропейской системы высшего образования, Болонский процесс сводятся к следующему:

1. введение двухуровневого обучения;
2. введение кредитной системы;
3. контроль качества образования;
4. расширение мобильности;
5. обеспечение трудоустройства выпускников;
6. обеспечение привлекательности европейской системы образования

Очевидно, что государственные вузы стали соответствовать тем параметрам, которые предопределяла Болонская реформа, такие как двухуровневая система обучения, академическая мобильность, формальное признание дипломов в зоне Единого образовательного пространства и т.д.

Однако, по мнению многих экспертов, Болонская реформа как минимум не работает, если не сказать больше она провалена. Причин много, но основная причина это отличие радикально уклада отечественной системы высшего образования от западных университетов. Говоря словами П.Г. Щедровицкого был

скопирован продукт (Болонский процесс), но не была реализована система разделения труда соответствующая продукту.

В Российской двухуровневой системе подготовки практически остался традиционный специалитет, только завуалированный под бакалавриат, уменьшенный по сроку обучения и набору дисциплин. При этом, государство приравняло специалитет и бакалавриат, в Федеральном законе «о высшем и послевузовском профессиональном образовании» гласит, что «…диплом бакалавра является документом, которым подтверждается завершение высшего профессионального образования…» [3].

Получение диплома бакалавра на Западе свидетельствует о его начальных навыках и потенциальной возможности получения определенной профессии.

«Суть бакалавриата в самостоятельном формировании студентом своей образовательной траектории. Предназначение бакалавра – не работать в узкой профессиональной нише. А гибко перестраиваться, приспосабливаясь к конъюнктуре рынка…»[1, с.122].

Рассматривая обучение в магистратуре, которое у нас отождествляется с продолжением карьеры «по научному пути», а не получение специальности для «конкурирования» на рынке высококвалифицированных специалистов как на западе.

Таким образом, западное двухуровневое образование не нашло свое отражение в результатах Болонской реформы в России.

Еще одним условием Болонской декларации было внедрение системы зачетных единиц (кредитов), которые как предполагалось создателями Болонского процесса, смогут отражать тот объем информации, который освоил студент в случае смены им образовательной программы.

В российских же Вуза получилось так, что зачетные единицы были «механически» трансформированы из академических часов, что является недопустимым в силу невозможности их природной несопоставимости. Отсюда вытекает, что требование Болонской реформы было выполнено только формально в силу несопоставимости процесса обучения в России и на Западе.

Рассматривая академическую мобильность студентов и преподавателей в другие вузы, как внутри страны, так и за ее пределы с целью учебы или работы, не теряя своего постоянного места учебы и работы соответственно, то можно сказать, что она существует номинально. Иными словами, академической мобильности западного типа в России не существует, несмотря на то, что она предполагается в ряде федеральных документов. Тоже самое, можно сказать и о полном финансировании академической мобильности, которая реализуется в крупнейших вузах страны и практически не касаясь переферийных вузов. Большинство студентов, проходивших обучение за рубежом, выполняет это либо на собственные средства, либо на средства грантов и стипендий принимающей стороны. Можно говорить и о том, что академическая мобильность «…превращена в ресурс, которым распоряжается администрация вузов; причем ресурс этот вмонтирован в механизм распределения других ресурсов, необходимых учреждениям высшего образования…» [4]. Известно, что число иностранных студентов напрямую влияет на рейтинг вузов, соответственно влияющий на успешное финансирование и функционирование.

К настоящему времени Европейское пространство высшего образования создано не в полной мере, поэтому новые цели поставлены к 2020 году, в частности это касается и уровня академической мобильности, которой к намеченному времени планируется достичь двадцати процентов [5, с. 159]. Причем, «Поставленная амбициозная цель в 20% мобильных студентов в ЕПВО к 2020 году может не быть достигнута, в основном, из-за препятствий, находящихся вне компетенции высшей школы. Речь идет о кредитах и субсидиях на мобильность и их отсутствии, о проблемах с визами и разрешениями на проживание и т.д.» [6, с. 171].

Что касается курсов по выбору, то это требование болонского процесса было выполнено, но опять же с формальной точки зрения. По факту выбор дисциплин делают не студенты, а руководство кафедрами, факультетами в угоду финансовым интересам по снижению затрат. Студенты же принимают их как обязательные, не особо погружаясь в тонкости образовательного процесса. [4].

Если рассмотреть майноры (факультативные курсы), которые студенты должны выбирать в рамках своего обучения, то тут мы сталкиваемся с тем что студент пойдет по пути наименьшего сопротивления, иными словами будет выбирать (записываться на направления) наиболее простые и уж ясно, что он не пойдет к профессуру с высокими требованиями.

Таким образом, Болонская система будет вымывать, выбивать наиболее требовательных и серьезных профессоров, оставляя легкие курсы, т.е. понижая уровень образования.

Балльно-рейтинговая оценка, тоже не соответствует западной системе. В России система оценок предназначена для перевода студента на последующий курс (семестр), на Западе же для получения полной картины об уровне образования, то есть «… для унификации и конвертации полученных составных частей образования…». Таким образом, они свидетельствуют об уровне знаний независимо от названия предмета и направления подготовки.

Подводя итог вышесказанному, можно с уверенностью утверждать, что цели Болонской реформы в России достигнуты не были. Если поверхностно взглянуть на результаты (формально), то может показаться, что система образования соответствует западной, однако, реально «остался советский вуз»[4].

Такой исход событий можно было предусмотреть, ведь функции высшего образования российского отличаются от западного, и, как следствие, превращение нашей системы высшего образования в западную было изначально обречено на неудачу, т.к. копирование западного продукта без переноса механизмов трудовой деятельности и нормальной финансовой обеспеченности ни к чему хорошему привести не могло. Отсутствие системного мышления или как теперь называют интегрального системного мышления привели к таким последствиям.

Нельзя оставить без внимания и требования рынка (в специалистах) в России оно отлично от западной экономики. На Западе высшее образование, в первую очередь, несет в себе классово-формирующую функцию, а также формирует в студентах способности к постоянной смене сферы деятельности и об-

раза жизни. Не секрет, что подготовка западных студентов уступает советской системе и Российской системы даже в том ее состоянии. [7,с.33].

Подводя итог формальной реализации Болонского процесса в Российском образовании, можно с уверенностью сказать, что данные реформы не затрагивая содержания и качества высшего образования. «Переход к двухуровневой системе высшего профессионального образования привел даже к некоторому снижению качества подготовки студентов по сравнению с предыдущей системой ВПО». [8, с. 22].

Самое страшное , что Болонская система превращает образование в сферу предоставления услуг. А в таких условиях не нужно учить студентов когнитивным технологиям, которые позволяют человеку стать самообучаемым. В Болонской системе интересно, чтобы за каждой новой компетенцией, он прибегал в ВУЗ и платил деньги, а ВУЗ ускоренно готовил его. Что, является в духе либерального правительства, которые помешанного на монетизации всего и вся.

По мнению работодателей, Высшее профессиональное образование в России остается оторванным от реальных экономических потребностей развития общества. К примеру вводя подушное финансирование государство разрушает свою экономику, ибо университету не выгодно отчислять студентов за неуспеваемость, вуз не хочет терять деньги, а экономика в этих условиях получает низко качественные кадры.

В результате университеты уничтожаются и не только в России. Болонская структура зарубежом это несколько десятков мощных университетов и несколько десятков тысяч ВУЗов, которые называются университетами, но на самом деле – это уровень ПТУ, а то и ниже, т.е. очень слабое образование. Подтверждение тому программа WorldSkills активно внедряемая в Вузах.

Поэтому, руководству страны для того, чтобы возродить отечественную промышленность, сделать из России не сырьевой придаток экономик Европы и Азии, а страну с высокоразвитой промышленностью, в том числе наукоёмкой, необходимо не только возрождать производство, но и готовить для него про-

фессионально подготовленные кадры, а этого не добиться с нынешней системой высшего профессионального образования.

Список литературы

1. Болонский процесс: интеграция России в европейское и мировое образовательное пространство / А.И. Гретченко, А.А. Гретченко. — М.: КНОРУС, 2009. — 432 с.
2. Болонский процесс и его значение для России: Интеграция высшего образования в Европе / под ред. К. Пурсиайнена, С.А. Медведева. – Москва: РЕЦЭП, 2005. – 199 с.
3. Федеральный закон «Об образовании в РФ» № 273 – ФЗ // КонсультантПлюс: справ.-правовая система. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/f7169c27cf027b5789a861029f7ad1c4f2ac78e4/
4. Вахитов, Р. Болонский процесс в России / Р. Вахитов // Отечественные записки. – 2013. – № 4 (55). http://magazines.russ.ru/oz/2013/4/11v-pr.html
5. Болонский процесс 2020 – Европейское пространство высшего образования в новом десятилетии: коммюнике Конференции европейских министров, ответственных за высшее образование, Ленев/Лувен-ла- Нев,28–29 апреля 2009 года // Высшее образование в России. 2009. № 7. С. 159.
6. Болонский процесс: итоги десятилетия / под науч. ред. В.И. Байденко. – Москва: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2011. – 446 с
7. Гребнев, Л.С. Болонский процесс и «четвертое поколение» образовательных стандартов / Л. С. Гребнев // Высшее образование в России. – 2011. – № 11. – С. 33.
8. Рысаев, И.Ш. Болонский процесс: первые итоги, противоречия и перспективы / И.Ш. Рысаев // Экономика и управление: научно-практический журнал. – 2014. – № 1(117). – С. 16-23.

Системный подход к управлению знаниями основа выхода из кризиса вузовского образования

Петров И.Е.
кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: ie_petrov@vyatsu.ru

Аннотация: Развитие объемов информации значительно изменило ландшафт системы обучения, но остались без изменения методы и инструменты командной работы с информацией. В исследовании были поставлены цели построения самоорганизующейся системы управления знаниями в образовательной организации. В качестве объекта исследования были выбраны 2 учебных группы в общем количестве 37 человек. В качестве методики оценки восприятия информации была выбрана соционика. Были рассмотрены различные варианты построения информационного обмена как внутри групп обучения, так и межгрупповые коммуникации. Было исследовано влияние преподавателя на изменение системы управления знаниями. В результате исследований были разработаны методики построения системы управления знаниями образовательного процесса.

Ключевые слова: реформа образования, соционика, критика образовательного процесса, информация, модель обучения

Ни для кого не секрет, что реформы, проводимые в высшем образовании, зашли в тупик и качество обучения становиться все хуже и хуже. В чем же кроется проблема, в отсутствии системного понимания геополитических и рыночных отношений в стране и мире. На сегодняшний день, при частичной геополитической изоляции, продолжение реализации так называемого “Болонского процесса” и попытки копирования лучшего западного опыта выглядят мягко говоря утопическими. В условиях гибридной войны разрушение образования несет самые тяжелые последствия для России. В таких условиях нужно отказаться от либеральных концепций, предлагаемых ВШЭ, РАНХиГС, СКОЛКОВО и менять курс на индивидуализацию обучения направленную на развитие способностей и талантов людей.

Теперь, если рассмотреть экономику России, то что мы видим согласно данных Росстата ВВП в 2016/2017 году вышел в плюс и рецессия преодолена. Однако согласно экономистам БКС и ФК «Уралсиб» это было достигнуто по-

средством роста цен на нефть и гособоронзаказа, остальная же экономика либо стагнирует, либо снижается. По данным ВШЭ доля секторов, связанных с добычей сырья, в российском ВВП выросла с 7,8% в 2013 году до 8,2% в 2016-м. Доля оборонных производств и госуправления поднялась с 5,5% до 5,8%, тем самым общий вес в экономике сырьевых и военных отраслей достиг максимума по крайней мере с 2011 года. Какие бы цифры почти нулевого прироста не нарисовали в Росстате для Кремля, очевидно то, что это прямой путь к новому затяжному экономическому кризису.

Объективную картину происходящего в стране дает не Росстат и отчеты правительства, а те самые не попавшие в эфир прямой линии граждане, письма в администрацию президента, которая не решает проблемы народа, протесты, но не неосознанной молодежи без идеологических воззрений, а людей, доведенных до отчаяния — дальнобойщиков, налогоплательщиков, фермеров, шахтеров и прочее. [1] Серьезные проблемы во многих отраслях промышленности, высокие затраты, низкая производительность, сокращения, долги, банкротства, компании не выдерживают конкуренции с западными производителями. В сухом остатке мы имеем разрушенную экономику и низко эффективное законодательство.

Кого же готовит в таких условиях ВУЗ. Подготовка будущих инженеров оторвана от реальной производственной базы, от передовых исследований и разработок в своих областях. Но что же будет, если данная подготовка будет соответствовать передовым исследованиям и разработкам. Кому нужны такие специалисты, если производственная база большинства предприятий находится на уровне устаревших станков, доставшихся по «контрибуции» с советующей организацией разделения труда, разве что западным предприятиям. Следовательно, экономика первична и если нет в экономике современных рабочих мест под соответствующий уровень компетенций, то это пустое выбрасывание денег на ветер. Тоже самое и касается программы опорных Вузов, на которые возложена задача подъема экономики, в условиях ее отсутствия. Вызывают улыбку и разговоры о том, что Россия сумеет перейти к шестому технологическому

укладу, и нужна подготовка студентов по фантастическим специальностям, опять все упирается в экономику, которой с 90-х годов никто системно не занимался, ибо со времен Б.Н.Ельцена шел развал отраслей экономики с набиванием карманов горсткой людей, абсолютно не думающих о своем государстве. В результате для перехода к современному технологическому укладу необходимы изменения на уровне законодательства, организации и экономики страны.

Тем не менее, на данный момент имеет место быть переход высшего образования на проектные методы работы, делаются попытки перехода к пятому укладу. Начиная с пятого технологического уклада, значимым условием для развития и функционирования проекта или компании является команда специалистов и компетенций, которыми она обладает. Инфраструктура и рабочие места в проекте создаются под заведомо известные способности и особенности специалистов. [2]

Что же делать в таких условиях, и что противопоставить развалу образования. Одним из вариантов является внедрение типологического подхода в профориентацию, обучение и в управление предприятием. Согласно внутреннего проекта «Психоинформационный анализ контингента студентов первого курса» на кафедре ПИ, ориентация на вид деятельности получилась следующая:

Таблица1

По группе ПИ	**По группе БИ**
1. Производственно-управленческая: 8	1. Производственно-управленческая: 6
2. Научно-исследовательская: 4	2. Научно-исследовательская: 2
3. Коммуникативная: 5	3. Коммуникативная: 5
4. Социальная: 3	4. Социальная: 3

Отсюда вытекает что в группе ПИ 12 человек имеют эффективную профориентацию (сумма 1 и 2 строки), и у 8 человек потребуется адаптация деятельности в смежных областях профессиональной деятельности (сумма 3 и 4 строки), возможен уход из профессии. В группе БИ 8 человек имеют эффективную профориентацию, и 8 человек потребуют адаптация деятельности в смежных областях профессиональной деятельности, т.е. половина группы. Иными

словами, из двух групп, 16 студентам будет “сложно” учиться по направлению ПИ и БИ исходя из ориентационного анализа.

Теперь рассмотрим две группы с точки зрения применения методик обучения опираясь на результаты проекта «Психоинформационный анализ контингента студентов первого курса» . Рассмотрим индивидуализацию методик обучения по группам БИ и ПИ см. таблицу 2. Какие выводы можно сделать исходя из этого анализа, что в обоих группах оптимальным было бы применение методики Шаталова, т.к. там максимальное количество студентов. Следовательно, для правильно ориентированных студентов (логиков-сенсориков), оптимально вести дисциплину с применением методики Шаталова, но как видно из таблицы 2. по ПИ 12 человек, а по БИ 10 человек для кого данная методика не будет высоко эффективной.

Таблица 2

	По группе ПИ	**По группе БИ**
Методика Шаталова	8	6
Методика Иванова КТД	3	3
Методики „всесторонне развитой личности"	5	5
Методика ТРИЗ	4	2

Конечно этим студентам можно попытаться подстроиться по методику Шаталова, но это потребует дополнительных усилий. При этом необходимо обратить внимание, что тип каждого преподавателя будет тяготеть к той или иной методике, свойственной его типу. Так например, профессор занимающейся наукой, интуитивный-логик по типу, будет тяготеть к методике ТРИЗ, а следовательно должен будет подстраиваться под методику Шаталова и практически индивидуально работать по остальным методикам. Поэтому система оценки преподавателей глазами студентов, абсурдна и низко эффективна, ибо не дает понимания причин и следствий, а только констатирует факт.

В такой ситуации необходимы кардинальные шаги на повышение эффективности обучения. Первый шаг, это типирование студентов и преподавателей («Психоинформационный анализ контингента студентов первого курса»). В результате чего студенты и преподаватели получили:

- Понимание самого себя, своего Типа:
- Сильные, слабые стороны Типа;
- Проблемы Типа;
- Чего от этого Типа нельзя требовать и ожидать;
- Рекомендуемый род деятельности;
- Как создать условия для работы;
- Интеллектуальный уровень;

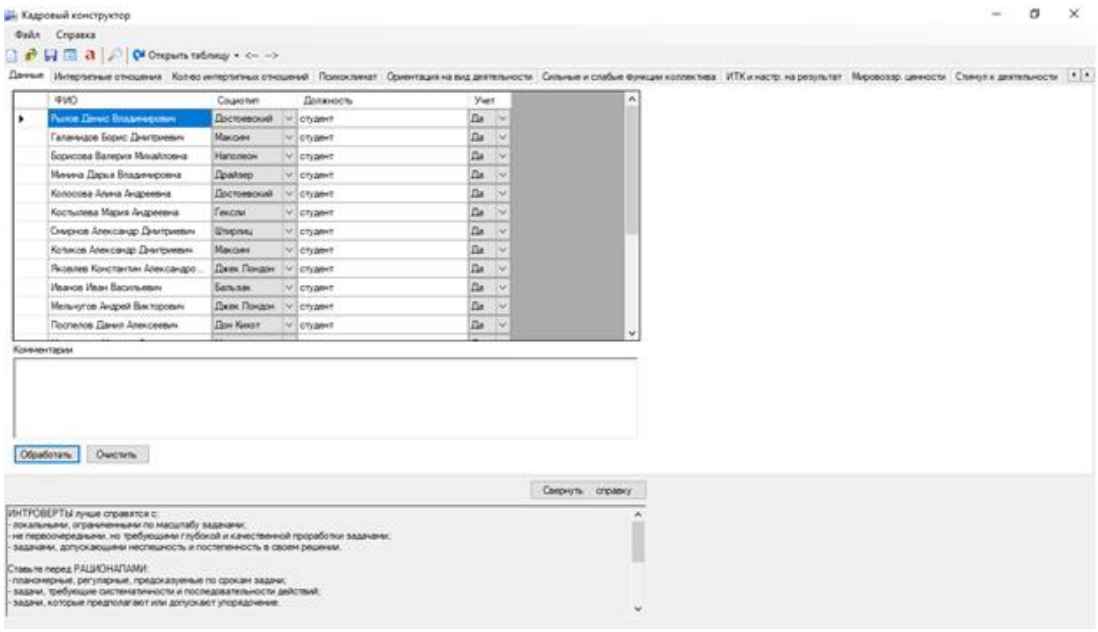


Рисунок 1. Типологический анализ студенческой группы программой «Кадровый конструктор»

- Рекомендации к самообучению:
- Какие учебники лучше выбрать дедукционные и/или индукционные;
- Как данному Типу изучать курс, методика индивидуальных действий;
- Что является основным каналом восприятия информации;
- Форма и стиль мышления, при помощи которого соционик обдумывает и решает вставшую перед ним интеллектуальную задачу;
- Стрессоустойчивость своего Типа;
- Мотивация своего Типа.

Для работы преподавателя проект предоставил:

- Типологическая карта группы, кто есть кто;

- Интертипные отношения в группе и интертипные отношения группы с преподавателем, это основа управления неявными знаниями(информационным обменом), и проектной деятельности;

- Формирование диад, триад, квадр на проекты основываясь на интертипных отношениях и сильных сторонах Типа (способностях и таланте);

- Формирование диад под научную деятельность;

- Понимание ориентации каждого студента на вид деятельности (управленци, социалы, исследователи, гуманитарии);

- Сильные слабые функции коллектива и каждого студента, интегральный тип коллектива;

- Стимулы к деятельности каждого студента;

- Целеполагание каждого студента ;

- Индивидуальные методы обучения(Шаталов, Иванова(КТД), Триз, всесторонние развитие личности), группировка студентов под метод;

- Каналы восприятия информации у студентов;

- Рекомендации по выбору учебной литературы, других ресурсов;

- Описание стилей мышления;

- Стессоустойчивость каждого студента.

Рассматривая проектные подходы к обучению, которые активно внедряются в пилотных вузах, то без научных методов построения команд и управления талантами это будет очередная утопия, даже если пытаться собрать “сливки” по ЕГЭ. Психоинформационный анализ интертипных отношений студентов и преподавателей позволяет формировать диады, триады и квадры для решения научных и производственных задач, управлять неявными знаниями в командах см.рис.2.



Рисунок 2. Типологические основы управления неявными зананиями

При этом анализ в совокупности с управлением талантами (способностями), позволяет грамотно распределять потоки работ, повышая эффективность, за счет использования участников проекта по сильным сторонам (способностям) каждого типа, передавая работы по слабым функциям на человека у кого они будут сильными. Применение психоинформационный анализ позволяет моделировать и найти баланс между эффективным распределением потока работ и отношениями в коллективе.

Применение такого анализа имеет большие перспективы для управления знаниями и персоналом на предприятиях см.рис2., ибо позволяет встраивать выпустника в коллектив предприятия с минимальным временем адаптации и под определенный круг задач с сохранением или улучшением качества отношений.

Список литературы

1. Людмила И. К. Мифический рост российской экономики в 2017 году/ Людмила И. К.// Центр научной политической мысли и идеологии. http://rusrand.ru/analytics/mificheskiy-rost-rossiyskoy-ekonomiki-v-2017-godu

2. Шевченко И.К. Структурный анализ технологических укладов в процессе развития промышленного сектора экономики: генезис, закономерности и тенденции / Шевченко И.К. //МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА» №12-1/2016 ISSN 2410-6070 https://cyberleninka.ru/article/n/trudnosti-perehoda-k-novomu-tehnologicheskomu-ukladu-v-rossii

Организация непрерывного мониторинга энергосистемы путём введения резервного канала связи

Петухов П.А.[a], Вахрушев В.Ю.[b]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
e-mail: paxanchick@mail.ru[a], vahrushev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: На примере энергосистемы Кировской области рассматриваются варианты организации обмена данными для круглосуточного и непрерывного управления взаимосвязанными технологическими режимами работы объектов электроэнергетики. Дан анализ метода передачи информации с использованием высокочастотной связи по линиям электропередач с указанием возникающих при этом проблем. Для преодоления этих проблем предлагается реализация резервного канала передачи данных. Рассмотрены различные варианты реализации каналов. Для реализации одного из рассмотренных вариантов резервного радиоканала удалённого мониторинга энергосистемы на обеих подстанциях предлагается установить радиостанции.

Ключевые слова: передача данных, линия электропередач, резервный информационный канал.

В электроэнергетике Кировской области для обмена данными между энергосистемами (подстанциями) районов электрических сетей (РЭС) и диспетчерскими пунктами (ДП) РЭС используется система высокочастотной (ВЧ) связи по линиям электропередачи (ЛЭП). Условно выделяется два вида подстанций (ПС): категории А и Б.

На ПС категории А располагается сервер телемеханики и автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчера и инженера связи, с помощью которых осуществляется оперативно-диспетчерское управление посредством централизованного круглосуточного и непрерывного управления взаимосвязанными технологическими режимами работы объектов.

На ПС категории Б, как правило, отсутствует обслуживающий персонал, поскольку там установлены контролируемые пункты телемеханики (КП ТМ). Это оборудование позволяет осуществлять дистанционный контроль и управление основными процессами в энергосистеме.

ВЧ-связь по линиям электропередачи работает по принципу модулирования передаваемой информации для последующей её передачи и демодуляции. Отличие ВЧ-связи по ЛЭП от других технологий коммуникации состоит в том, что для передачи информационного сигнала она использует тот же кабель, который применяется для передачи и распределения электроэнергии. Каналы ВЧ-связи по ЛЭП организуются на базе линий, находящихся под высоким напряжением – 35 кВ и выше с частотой переменного тока равной 50 Гц.

Проблема заключается в том, что существует вероятность обрыва линии электропередачи вследствие неблагоприятных погодных условий либо износа оборудования, а также вывода высоковольтной линии в ремонт, рис.1. В обоих случаях линию электропередач необходимо отключать и заземлять, то есть, использовать ВЧ-связь не представляется возможным. При этом передача информации о состоянии удалённого объекта по всем его параметрам (телеизмерения, телесигнализация, телеуправление) должна производиться непрерывно, то есть возникает необходимость реализации резервного канала передачи данных.

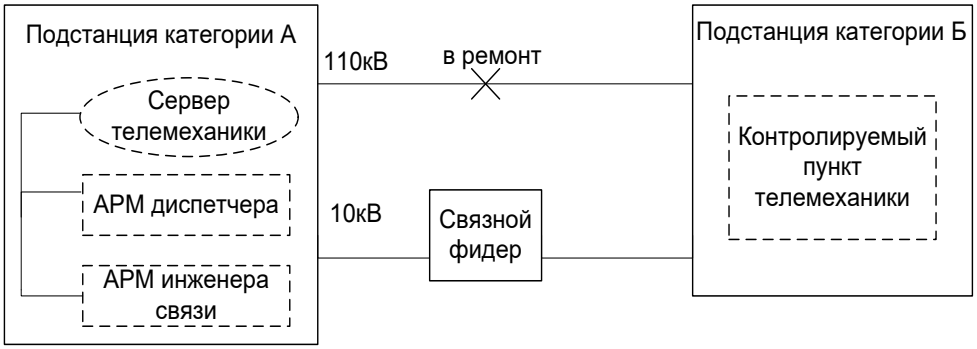


Рисунок 1. Структурная схема системы электропитания подстанции категории Б

Для реализации резервного канала нужно выбрать и обосновать способ передачи данных. Этот канал является временным, а расстояние между подстанциями в некоторых случаях достигает 40-50 км. Поэтому создавать канал с использованием дополнительной физической линии будет нерентабельно.

Предлагается использовать радиосвязь, а именно gsm-телефонию, спутниковую связь, радиостанции и т. д. На пример, [Безгин, с. 518], рассматривается возможность передачи телеметрии с помощью SBD-модемов компании Iridiumв современных системах спутниковой связи. Iridium обеспечивает каче-

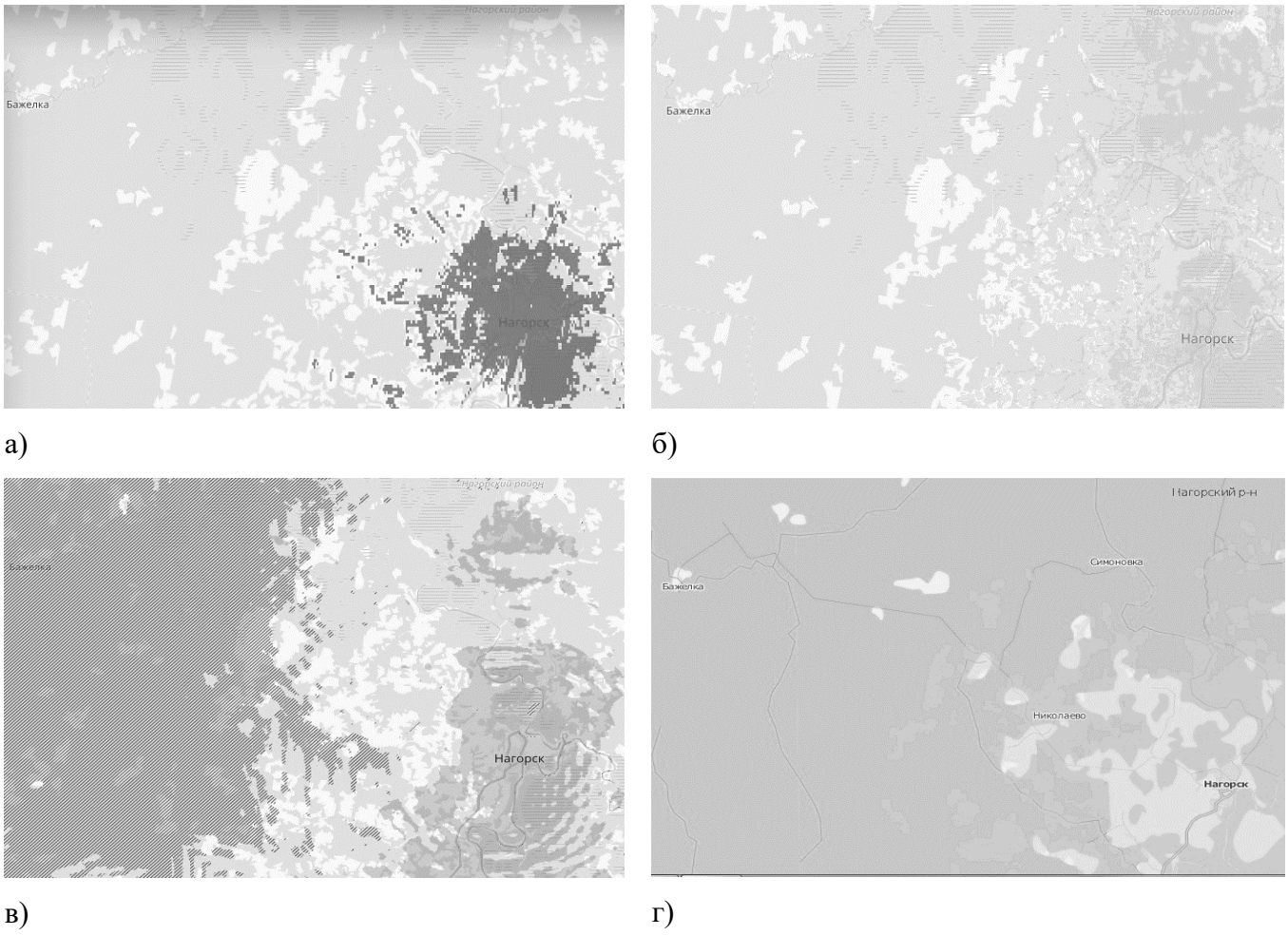
ственное глобальное покрытие всей поверхности Земли. Технология SBD — простая и эффективная возможность передавать малые объемы данных (сотни байт), она хорошо согласуется с требованиями к телеметрии современных автономных наблюдательных платформ: объем единоразово передаваемых данных — несколько десятков байт при относительно большой скважности. Недостаток: существенные финансовые и материальные затраты.

Для организации каналов передачи данных с использованием GSM-модемов или радиостанций требуется относительно недорогое оборудование. С использованием данных технологий реализовано огромное количество систем телеметрии для решения различных задач [Алексеев, с. 96]. Резервный канал связи с использованием GSM-технологии, на первый взгляд, оказывается более простым и экономически выгодным, поскольку для реализации необходимы модем, антенна и SIM-карта с соответствующим тарифным планом. В то время как во втором случае помимо установки и настройки радиостанций, юстировки направленных антенн, подключения блоков питания необходимо также получить у Роскомнадзора разрешение на радиочастоту, что также ведёт за собой финансовые и временные затраты. Стоит отметить, что во всех РЭС уже имеются выделенные радиочастоты, предназначенные для оперативных переговоров, соответственно, их можно использовать для передачи телеметрии с ПС.

Существенным минусом канала связи с использованием GSM-технологий является то, что малая зона покрытия сети во многих районах Кировской области не обеспечивает даже сигнал 2G. Для примера, на рис. 2 а, б, в, г изображены зоны покрытия сети Нагорского района операторов сотовой связи Теле2, МТС, Мегафон и Билайн соответственно. Данные взяты с сайтов поставщиков услуг.

Из приведённых иллюстраций можно сделать вывод, что без дополнительного оборудования (направленной антенны, усилителя сигнала) связь между ПС категории А, находящейся в Нагорске, и ПС категории Б, находящейся в Бажелке невозможна. Для проверки работоспособности канала передачи данных будем использовать программу Radio Mobile [Henderson, с. 13].

Для точного моделирования каналов связи необходимо знать такие параметры, как мощность передатчика, чувствительность приемника, тип антенны, коэффициент усиления антенны, высота подвеса антенны, диапазон рабочих частот и другие.



а) б)

в) г)

Рисунок 2. Зона покрытия сети сотовой связи Нагорского района: Теле2 (а), МТС (б), Мегафон (в), Билайн (г).

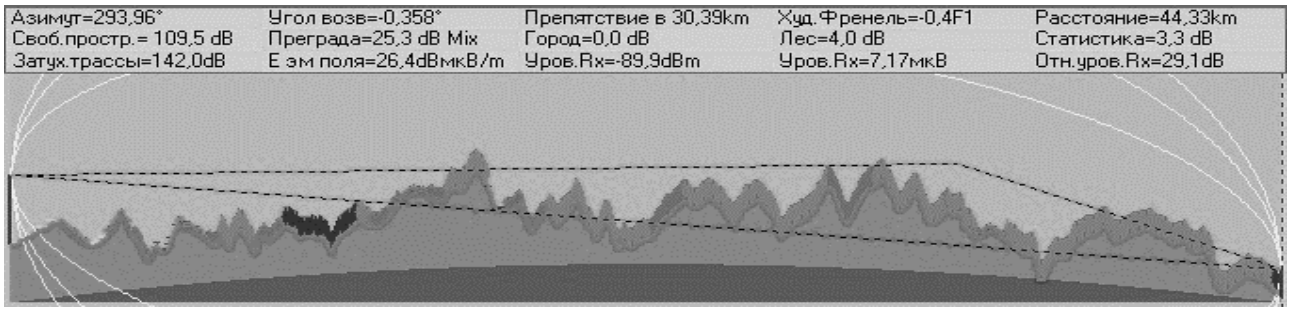
Характеристики приёмо-передатчиков и антенн обеих систем приведены в табл. 1. При передаче данных с использованием сотовой связи важно, чтобы был устойчивый приём между базовой станцией (БС) оператора сотовой связи и GSM-модемом на ПС категории Б, поскольку ПС категории А находится в зоне покрытия сети.

Таблица 1

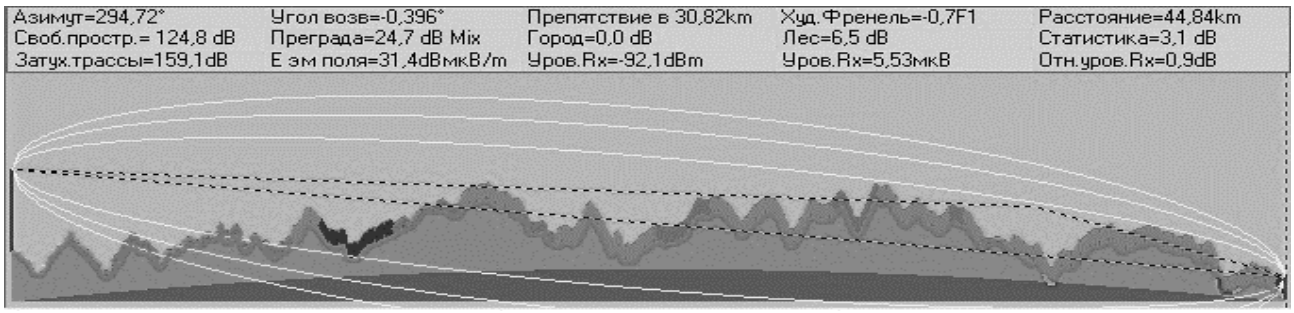
Характеристики приёмо-передатчиков и антенн

Тип канала / Параметр	GSM-канал		Канал с использованием радиостанций	
	Базовая станция	ПС категории Б	ПС категории А	ПС категории Б
Мощность передатчика, Вт	10.5	2	25	25
Чувствительность приемника, мкВ	0.89	5	0.25	0.25
Тип антенны	всенаправленная	направленная	всенаправленная	направленная
Коэффициент усиления антенны, дБи	17	14	5.15	6
Высота подвеса антенны, м	75	19	51	19
Диапазон рабочих частот, МГц	935-960	890-915	160.675	160.675

Установим станции в соответствующие реальным координатам места, после чего смоделируем полученные радиоканалы между станциями, проанализируем их с точки зрения профиля трассы и параметров сигнала. Результаты моделирования представлены на рис. 3 а, б.



а)



б)

Рисунок 3. Результаты моделирования: передача данных между ПС категории А и ПС категории Б (а); между БС и ПС категории Б (б).

Соотношение уровня приёма (Уров. RX) с чувствительностью приёмника при передаче данных с использованием GSM технологии крайне мало, соответственно шансы на успешную передачу данных в этом случае тоже малы. Канал связи с использованием радиостанций на подстанциях при меньшей чувствительности приёмника показывает лучший уровень приёма, поэтому он является оптимальным решением.

Для реализации резервного радиоканала удалённого мониторинга энергосистемы на обеих подстанциях смонтированы радиостанции, на радиомачтах установлены антенны. Для сопряжения и передачи данных между радиостанциями и оборудованием телемеханики используются модемы, преобразующие аналоговый сигнал с радиостанции в посылки в цифровом формате и обратно. Радиостанции и модемы взаимодействуют по протоколу RS232. Для преобразования битового синхронного информационного потока в байтовый асинхронный и обратно необходим адаптер связи синхронных протоколов телемеханики. Для опроса существующих на подстанции модулей ввода/вывода используется микроконтроллер.

На подстанции категории А принимает данные с радиостанции устройство преобразования сигналов (модем телемеханики) с цифровой обработкой сигнала для проводных каналов связи, каналов тональной частоты и радиоканалов. Далее информация отправляется в коммутационный контроллер, с помощью которого происходит сопряжение устройств телемеханики с сервером.

В протоколе обмена данными между КП и ДП используются посылки изображённые на рис. 4, 5.

<table>
<tr><td>0111.1110</td><td colspan="2">xxxx.xxxx</td><td colspan="2">xxxx.xxxx</td><td colspan="2">xxxx.xxxx</td><td rowspan="3">ДАННЫЕ</td><td colspan="2">xxxx.xxxx</td><td>xxxx.xxxx</td><td>0111.1110</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ФЛАГ</td><td>ДП</td><td>УС</td><td>Тип Пкт</td><td>АФБ</td><td>Тип Инф</td><td>N Грп</td><td colspan="3" rowspan="2">Циклический код защиты (CRC)</td><td rowspan="2">ФЛАГ</td></tr>
<tr><td colspan="2">КП</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td><td colspan="2">4</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Рисунок 4. Формат посылки от КП к ДП

<table>
<tr><td>0111.1110</td><td colspan="2">xxxx.xxxx</td><td colspan="2">0001.xxxx</td><td>xxxx.xxxx</td><td>xxxx.xxxx</td><td>0111.1110</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ФЛАГ</td><td>ДП</td><td>УС</td><td>Тип Пкт</td><td>АФБ</td><td colspan="2" rowspan="2">Циклический код защиты (CRC)</td><td rowspan="2">ФЛАГ</td></tr>
<tr><td colspan="2">КП</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
</table>

Рисунок 5. Формат посылки от ДП к КП

Здесь *ДП*–номер диспетчерского пункта, где установлен узел связи с нужным КП(от 0 до 15); *УС* - адрес узла связи (от 1 до 15); *КП* – это совокупность ДП и УС (число от 1 до 128, уникальное для одного ДП); ТипПкт - тип пакета (как правило равен 0100 – информационный пакет); *АФБ* - адрес функционального блока сформировавшего данный пакет (от 1 до 15),определяется физическим местом установки блока в КП; Тип Инф– Телесигнализация/Телеизмерение; N Грп - Номер информационной группы.

«Прозрачность» данных, передаваемых внутри пакета (между флагами), обеспечивается с помощью бит-стаффинга: при передаче после пяти подряд идущих «1» принудительно вставляется «0». Приемной стороне необходимо удалять эти нули. Пакет формируется по алгоритму стандарта HDLC: флаги, полином защиты, бит-стаффинги.

Основные нюансы работы с протоколом:

- при передаче первым в канал уходит старший бит байтов
- расчет CRC производится со старшего бита
- для стандарта RS-232 сигналы в канале инверсны
- перед флагом начала пакета в канал посылаются 12 битов (чередующиеся 0-1) для фазовой подсинхронизации приемопередатчика.

Логика работы канала связи:

Инициатором обмена всегда является ДП, если у него есть посылка на передачу, он передает ее. В противном случае он формирует на передачу меандр (12 битов чередующихся 0 и 1). КП принимает меандр и в ответ передает либо

меандр (если передавать нечего) либо информационный пакет. Пауза между принятым меандром и ответным составляет четыре бита.

На основе радиосвязи можно построить резервный канал удалённого мониторинга подстанции, способный временно заменить существующие в электроэнергетике каналы ВЧ-связи. Для организации каналов передачи данных с использованием GSM-модемов или радиостанций требуется относительно недорогое оборудование. Для реализации резервного радиоканала удалённого мониторинга энергосистемы на обеих подстанциях требуется установить радиостанции, на радиомачтах установить антенны. Канал связи с использованием радиостанций на подстанциях при меньшей чувствительности приёмника показывает лучший уровень приёма, поэтому он является оптимальным решением.

Список литературы

1. Современные системы спутниковой связи и особенности их применения для решения задач оперативной океанографии/ А.А. Безгин, Н.Ю. Юркевич //Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования: материалы Молодежн.науч.конф.,25-29 апреля 2016 г.Севастополь, 2016. С. 517-522.

2. Алексеев В., Моисеенко Д. GSM/GPRS модемы Wavecom и пакетная передача данных в системах GSM/GPRS телеметрии // Компонентыи технологии. 2003. №28.С. 96-98.

3. Henderson B. J., CoudeR.Radio Mobile. Radio Propagation and Radio Coverage Computer Simulation Program. Canada. 2013. 75 P.

Совершенствование системы управления процессом получения исходно разрешительной документации на строительство объекта средствами MS Office

Печенкина Ю. А., Провалов В. С.
бакалавр бизнес-информатики, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры прикладной информатики Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация
E-mail: usr11643@vyatsu.ru

Аннотация: В статье авторами рассматриваются особенности бизнес-процессов строительной организации малого бизнеса. Приведены модели отдельных бизнес–процессов в стандарте IDEF0. Выявлены следующие проблемы строительных предприятий малого бизнеса: отсутствие регулярного менеджмента; отсутствие строго формализованных процедур реализации управленческих функций; низкий уровень планирования и контроля исполнения решений. Предложен типовой шаблон планирования цикла подготовки и получения исходно разрешительной документации на основе диаграммы Ганта средствами MS Excel, шаблоны типовых документов в MS Word.

Ключевые слова: малый бизнес, строительство, бизнес-процесс, исходно-разрешительная документация, диаграмма Ганта.

В условиях постоянного изменения требований, регламентирующих норм и правил, характерных для российской экономики, на первое место выходит потребность постановки регулярного менеджмента, и, в первую очередь, эффективного планирования работ, особого внимания к вопросам организации и контроля исполнения. В этих условиях руководство компании все чаще задумывается о внедрении процессного подхода к управлению. Без четкого видения бизнес-процессов, их формализованного описания, анализа и оптимизации решение этой задачи невозможно.

Одним из способов оценки эффективности компании является ее рассмотрение с позиций уровня зрелости процессов управления. Понятие зрелости процесса характеризует степень управляемости компании, насколько ее деятельность формализована, воспроизводима и контролируема. В методологии CMMI (Capability Maturity Model Integration) выделяют пять уровней зрелости управления: Отсутствующий; Начальный; Управляемый; Определяемый; Измеряемый; Оптимизируемый [1].

Многие строительные компании малого бизнеса по качеству управления можно отнести к первому уровню, когда большинство процессов плохо предсказуемы и слабо контролируемы, действия менеджмента ситуативны, высоки риски низкого качества результатов деятельности, превышения сроков строительства и бюджета. В качестве причин отсутствия четкой регламентации внутренних бизнес-процессов, по данным исследования [2, с. 5] являются их сложность, высокая стоимость описания (41%), некомпетентность персонала (72%), нестабильность функций компании (46%), высокая стоимость привлечения консультантов (38%).

На рисунке 1. представлена схема бизнес-процессов малого строительного предприятия, работающего на рынке строительства жилья.

Среди особенностей строительной отрасли, оказывающих наибольшее влияние на процессы управления, оказывают высокая степень государственного регулирования, продолжительность и индивидуальность реализуемых проектов [3, с. 3]. Так, только получение различных разрешений на начальных этапах строительства может занять несколько лет.

Проведенный анализ бизнес-процессов «Как есть» (рисунок 1) позволили выявить проблемы в реализации процессов документационного обеспечения строительства, особенно в части подготовки и получения исходно–разрешительной документации в бизнес-процессах «Предпроектный анализ» и «Проектирование объекта» [4].

Этап предпроектного анализа (рисунок 2), осуществляемый, как правило, совместно с внешними проектными организациями, призван ответить на вопросы «Что?, Где? и Как?» строить, насколько это выгодно.

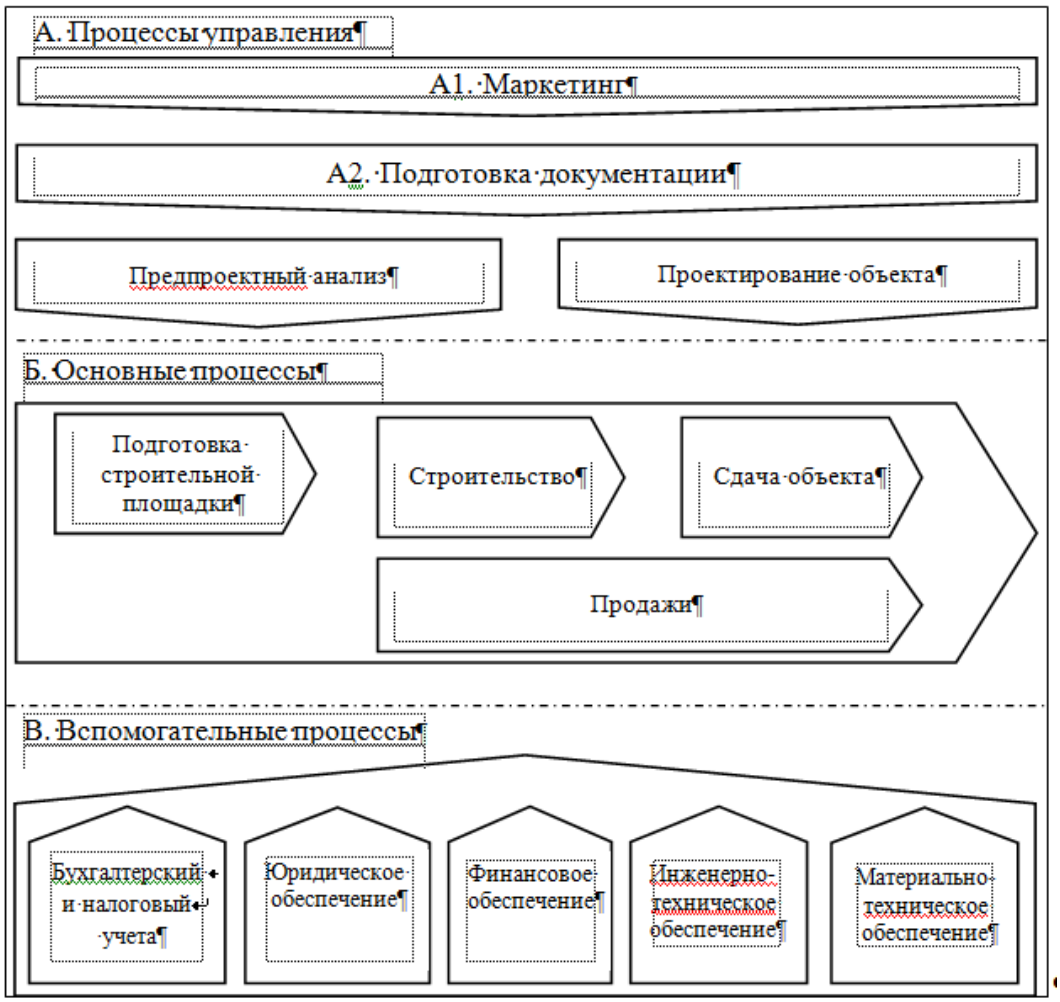


Рисунок 1. Бизнес – процессы строительного предприятия

Анализ начинается с процесса «Выбор предполагаемого места строительства» (рисунок 3) на основе карты градостроительного зонирования. Процесс выбора требует глубокого и серьезного анализа большого количества факторов. Необходимо учесть предпочтительные для строительства градостроительные зоны, физические характеристики территории, такие, как структура почв, наличие водоемов и водотоков, водоохранные зоны и зоны охраны водозаборов, зоны культурного наследия, наличие на территории источников загрязнений, и др. Характеристики земельного участка влияют на последующий выбор объекта строительства, высотность, применяемые материалы, определяют себестоимость проекта.

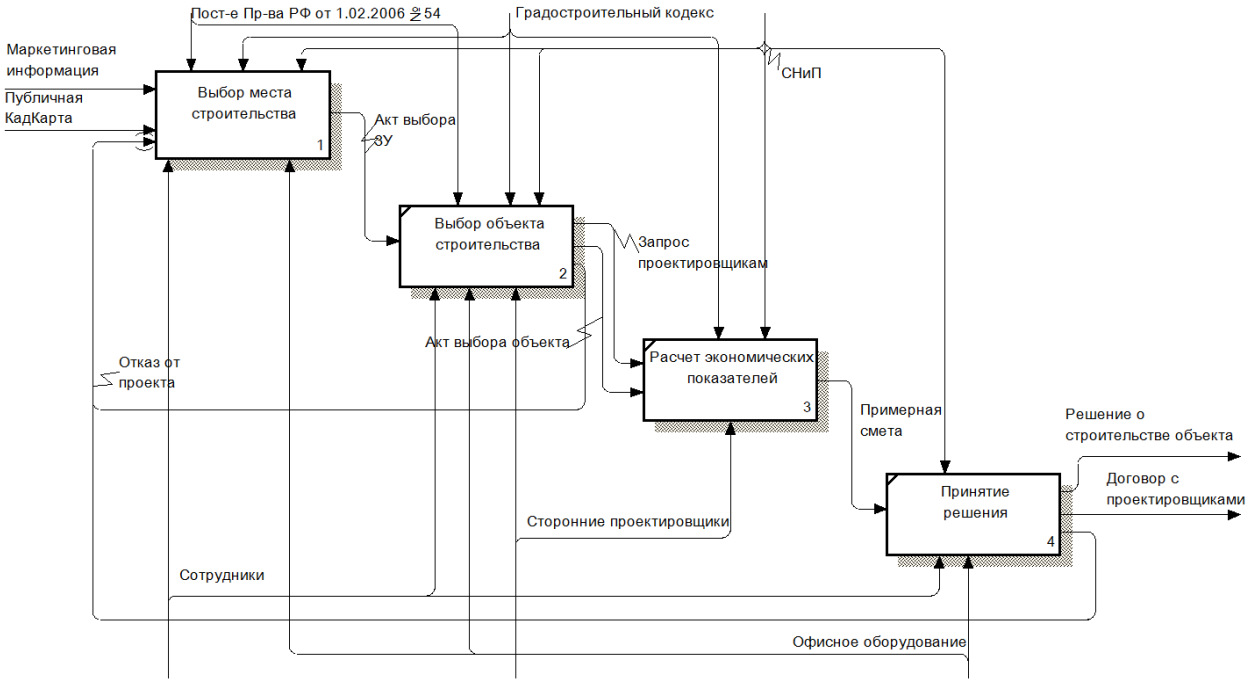


Рисунок 2. Декомпозиция процесса «Предпроектный анализ»

После предварительного выбора перспективного участка для строительства необходимо официально запросить сведения о нем из Росреестра, подать заявление в территориальную администрацию о предоставлении участка под строительство, сделать запросы в соответствующие организации о возможности подключения к сетям электро, тепло, газоснабжения.

На всех этих этапах Застройщик может получить отказы в соответствующих инстанциях или сам отказаться от реализации проекта, например, при отсутствии инженерных сетей. В этом случае процесс выбора места строительства начинается заново. Конечным итогом является принятие окончательного решения о выборе земельного участка и его документальное оформление под строительство (рисунок 4).

Представленные данные показывают, насколько важными и значимыми в строительном бизнесе являются процессы документационного обеспечения и в частности, подготовка и получение исходно-разрешительной документации.

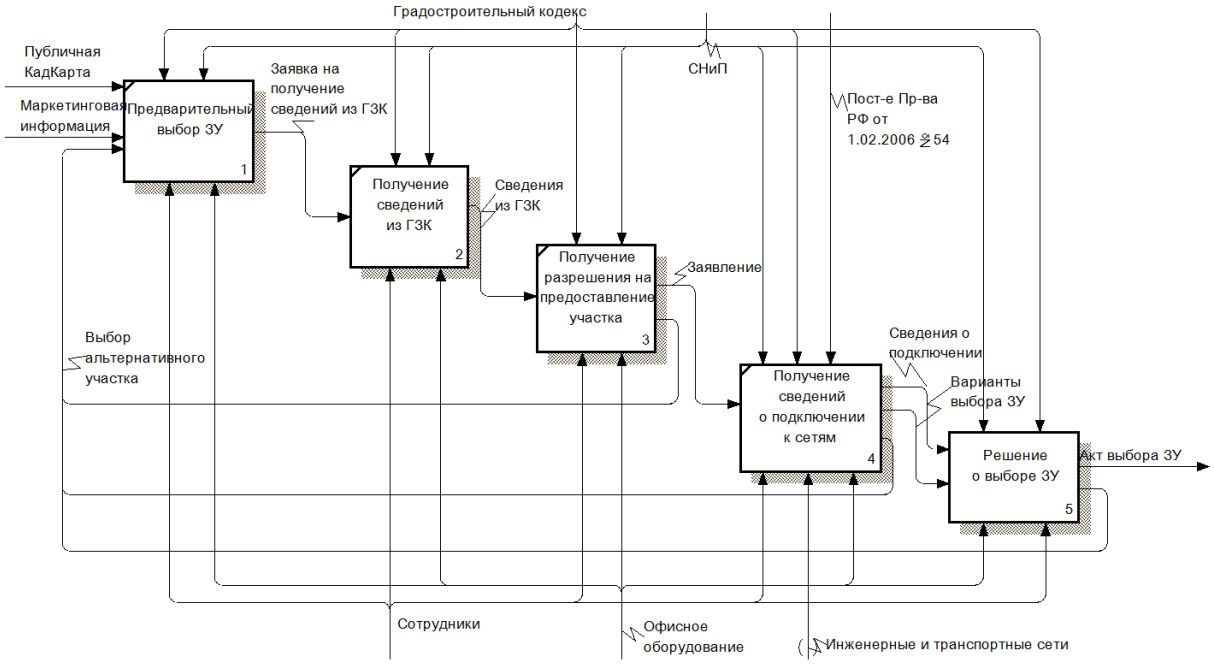


Рисунок 3. Декомпозиция процесса «Выбор места строительства»

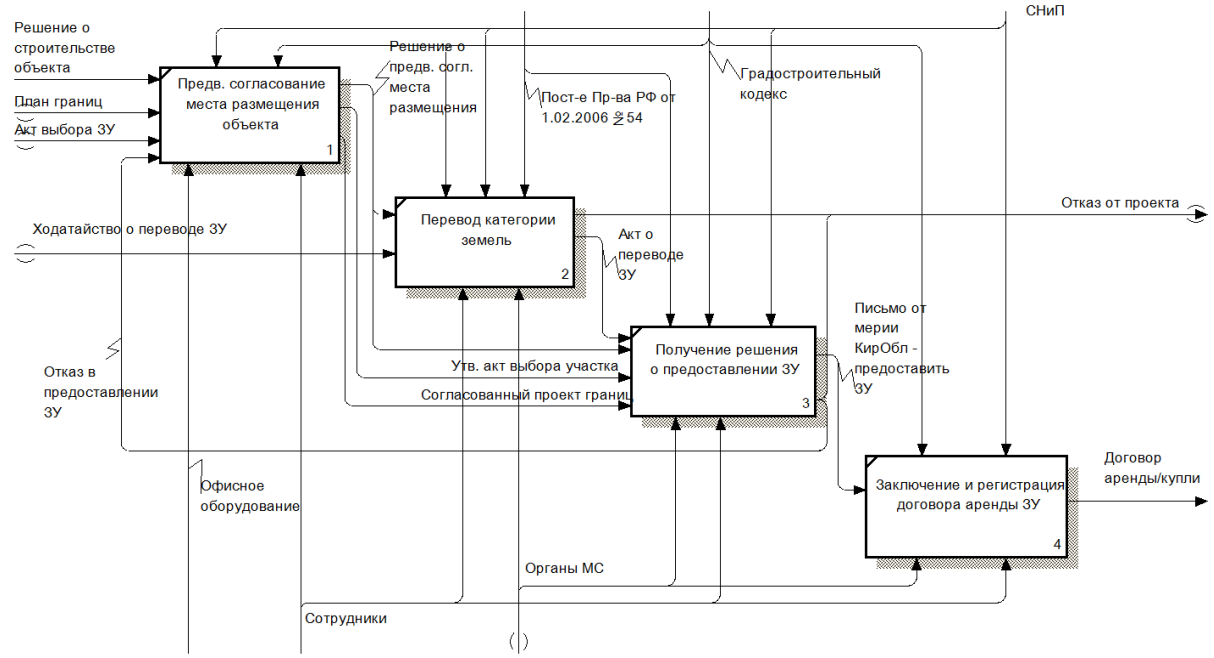


Рисунок 4. Декомпозиция процесса «Отвод земельного участка

Исходно-разрешительная документация – термин, используемый для обозначения документации, оформляемой в соответствии со статьями 44 - 51 Градостроительного кодекса РФ вплоть до получения разрешения на строительство (ст. 51 ГрКРФ), а также получение разрешения на ввод объекта в эксплуатацию (ст. 55 ГрКРФ).

В состав ИРД входят распорядительные документы (постановления, распоряжения), разрешения, технические условия, материалы инженерных изыс-

каний, согласования и утверждения и иные документы, полученные от уполномоченных государственных органов, и специализированных организаций для разработки, согласования проектной документации и строительства объекта недвижимости. ИРД выдается заявителю специальным органом власти или уполномоченной организацией. Недостаточный уровень планирования и низкое качество реализации этой стадии работ приводит, как правило, к нарушению сроков строительства, несоблюдению бюджета и конфликтам с инвесторами.

Представленная на рисунке 5 диаграмма процесса получения ИРД отражает сложность этого этапа работ, требующую четкой организации, планирования и контроля.

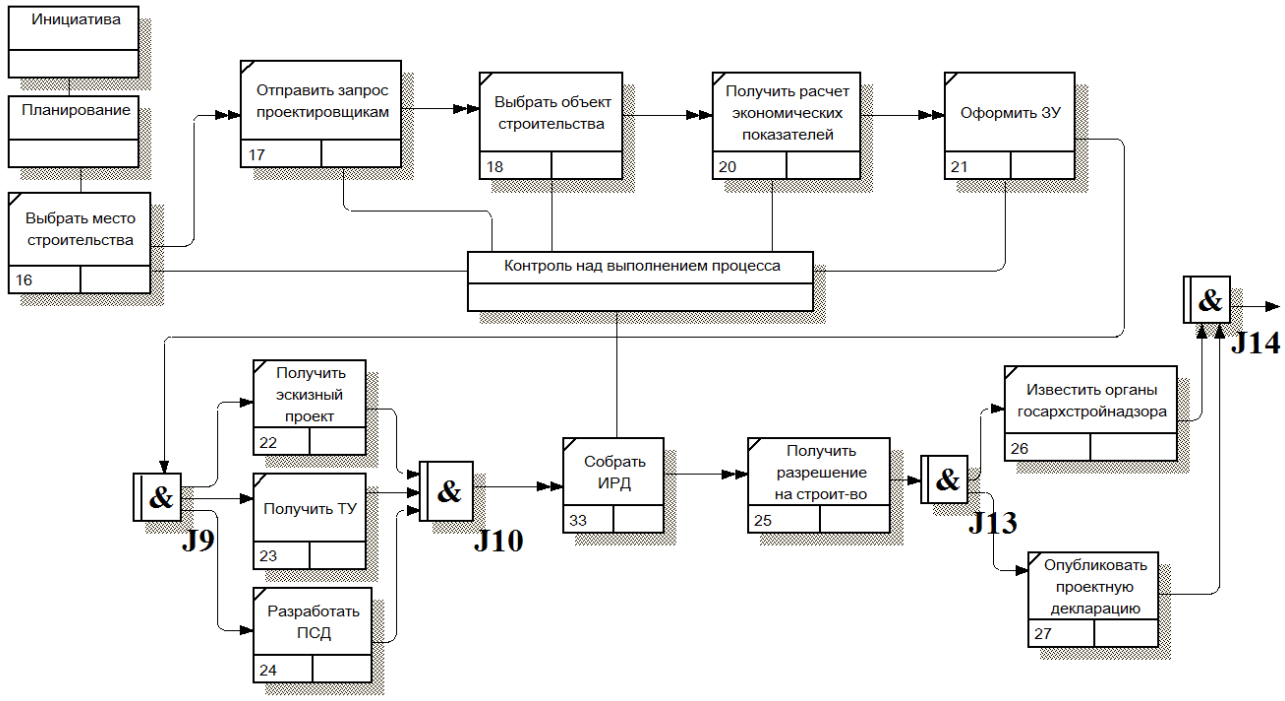
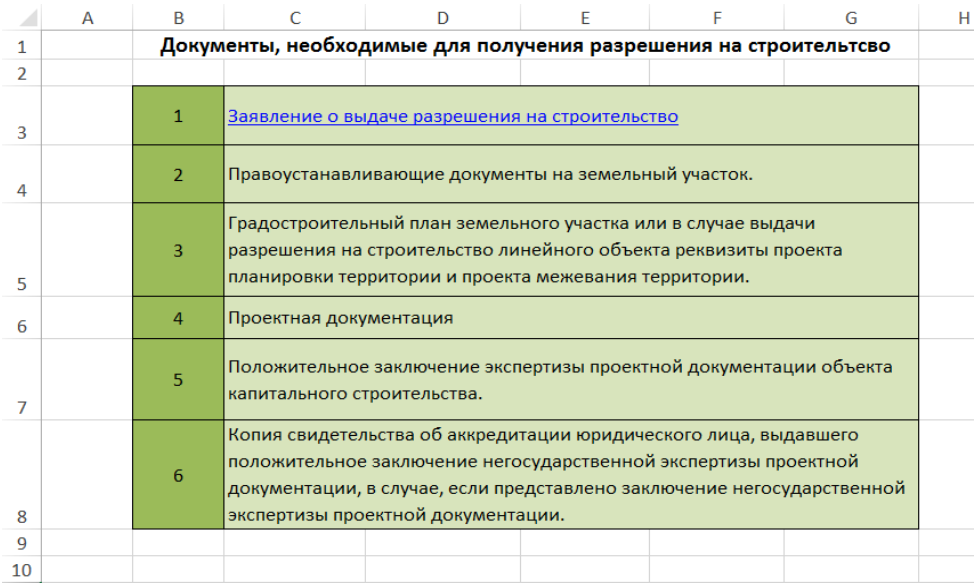


Рисунок 5. Диаграмма декомпозиции процесса «Получение ИРД»

Для повышения эффективности управления процессом получения ИРД в среде MS Excel на основе диаграммы Ганта разработан типовой шаблон планирования и контроля цикла подготовки и получения разрешительных документов на строительство (рисунок 6) в соответствии с моделью бизнес-процесса «Как должно быть».

В столбце «Описание процесса» представлено иерархическое дерево подпроцессов, процедур и операций «Получение ИРД». Для удобства работы с деревом процесса используется механизм группировки записей.

Процессы, в которых должны быть созданы типовые документы, имеют соответствующие ссылки на перечень этих документов и их типовые шаблоны (формы) текстового редактора Word (рисунок 7).



	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Документы, необходимые для получения разрешения на строительтсво						
2								
3		1	Заявление о выдаче разрешения на строительство					
4		2	Правоустанавливающие документы на земельный участок.					
5		3	Градостроительный план земельного участка или в случае выдачи разрешения на строительство линейного объекта реквизиты проекта планировки территории и проекта межевания территории.					
6		4	Проектная документация					
7		5	Положительное заключение экспертизы проектной документации объекта капитального строительства.					
8		6	Копия свидетельства об аккредитации юридического лица, выдавшего положительное заключение негосударственной экспертизы проектной документации, в случае, если представлено заключение негосударственной экспертизы проектной документации.					
9								
10								

Рисунок 7. Экранная форма перечня документов

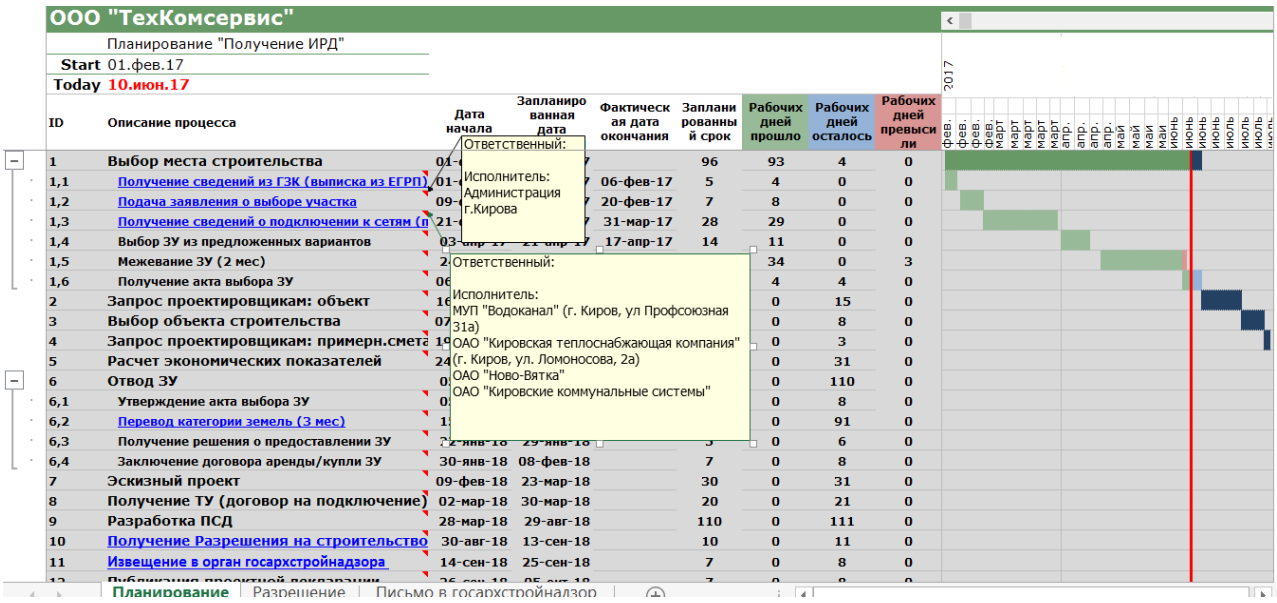


Рисунок 6. Экранная форма плана процесса получения ИРД

Для каждого объекта строительства на основе шаблона создается план процесса получения ИРД. План может быть изменен или дополнен с учетом особенностей конкретного процесса. Например, подпроцесс «Перевод катего-

рии земель» реализуется не всегда, а лишь по мере необходимости. Поэтому, в конкретной реализации плана он может быть удален, либо строки этого подпроцесса оставляются незаполненными.

Для каждой записи процесса указывается планируемая дата начала и срок выполнения процесса исходя из его трудоемкости или установленных нормативов исполнения документов. В модели учитывается и тот факт, что процесс осуществляется в рабочие дни. С помощью примечаний для каждой записи могут быть указаны ответственный за процесс (владелец) и исполнители.

В правой части формы графически отображается ход исполнения процесса во времени. Красной вертикальной чертой отмечается текущая дата. Зеленым фоном заполняется часть строки (период времени), отражающая выполненную часть работ; синим – остающийся период в пределах отведенного планом времени на реализацию работ. Если время реализации работ превышает плановое значение, соответствующая часть стоки заполняется красным цветом.

Несмотря на простоту реализации и использования, модель бизнес процесса в форме диаграммы Ганта оказалась очень эффективным инструментом управления в части планирования, обеспечения качества оформления документов и, особенно, в части контроля за ходом реализации бизнес-процесса. Благодаря четко отработанным механизмам планирования и контроля исполнения существенно сокращаются срок получения разрешений на строительство и, как следствие, общие сроки строительства. Модель легко обобщается на все бизнес-процессы строительной организации.

Список литературы

1. Capability Maturity Model Integration (CMMI) [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki.

2. Полумордвинова, А.О. Управление бизнес-процессами строительной организации на основе когнитивно-графовой модели [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд.техн. наук: 05.13.10 / А.О. Полумордвинова; [науч. рук. В.Ф. Шуршев]; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение "Астрах. гос. техн. ун-т". - Астрахань, 2013.

3. Ларионова В. Особенности управленческого учета и бюджетирования в строительной компании [Текст] / В. Ларионова // Финансовый директор. – 2005. – №9.

4. Печенкина Ю.А. О бизнес-процессах в строительной организации малого бизнеса [Текст] / Ю.А. Печенкина, В.С. Провалов // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития : материалы II Междунар. науч.–практ. конф. (Чебоксары, 16 июля 2017 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017.

Определение влияния компонентного состава топливной смеси на кинематическую вязкость

Плотников С. А.[a], Бузиков Ш. В.[b], Козлов И. С.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения[a]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой машин и технологии деревообработки[b]
аспирант кафедры машин и технологии деревообработки[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: sa_plotnikov@vyatsu.ru[a], usr10012@vyatsu.ru[a], vz-43@mail.ru[c]

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена необходимостью определения влияния компонентного состава топливной смеси на кинематическую вязкость. Целью исследования является определение влияния доли рапсового масла, процентного содержания депрессорно-диспергирующих присадок и вида самих присадок на кинематическую вязкость смесевого топлива. Для этой цели были проведены экспериментальные с применением методики планирования многофакторного эксперимента по определению кинематической вязкости топливной смеси, состоящей из дизельного топлива, рапсового масла и разных депрессорно-диспергирующих присадок. В результате впервые была получена математическая модель регрессии кинематической вязкости в зависимости от количественных показателей состава топливной смеси. Анализ полученных данных показал, что в не зависимости от использования вида присадки, а также его процентного содержания кинематическая вязкость значительно повышается с увеличением доли рапсового масла в смеси. Полученные данные свидетельствуют о том, что при использовании смесевого топлива, состоящего из дизельного топлива и рапсового масла с содержанием доли последнего от 0 до 20% эффективней будет использовать присадку Дифрон Н372, а при увеличении доли рапсового масла от 20 до 40% - Антигель Intenpum.

Ключевые слова: топливная смесь, рапсовое масло, топливные присадки.

В настоящее время как для научных целей, так и промышленного использования представляет особый интерес применение различных видов смесевых топлив, получаемых путём смешивания традиционных топлив с альтернативными. Альтернативные топлива в основном получают из возобновляемого растительного сырья, запасы которых неисчерпаемы [Плотников[1], с.110, Карташевич[1], с.39, Карташевич[2], с.13, Плотников[2], с.105]. В основном это как правило растительные масла достаточно широкого спектра [Kuimov, с.1209, Плотников[3], с.26].

Непосредственно использовать растительные масла в качестве моторного топлива в дизелях затруднительно, в связи с разностью жирнокислотного со-

става и физико-механических свойств, оказывающих существенное влияние на конструктивно-технологические параметры топливоподающей аппаратуры [Карташевич[3], с.11, Карташевич[4], с.129].

Одним из самых распространённых растительных видов масел, используемых в качестве альтернативного топлива в дизелях, является рапсовое масло, однако по сравнению с дизельным топливом оно обладает высокой кинематической вязкостью [Плотников[4], с.1378, Плотников[5], с.97].

В Вятском государственном университете при помощи лабораторной установки, состоящей из вискозиметра, штативов, термостата, термометра и секундомера была проведена серия однофакторных экспериментов. По результатам этих исследований были определены наиболее значимые факторы такие как доля содержания рапсового масла в смеси, процентное содержание топливной присадки, а также вид самой присадки. Критерием оптимизации являлась кинематическая вязкость ν, мм^2/с.

С целью определения влияния данных факторов на кинематическую вязкость и взаимодействия их между собой проведены исследования с применением методики планирования многофакторного эксперимента [Мельников, с.78]. С целью сокращения количества опытов было принято решение не реализовывать полный факторный план второго порядка типа 3^3, а реализовать D-оптимальный план Бокса – Бенкина для 3 факторов. Исследуемые факторы, уровни и интервалы их варьирования, а также результаты исследований приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Матрица плана Бокса - Бенкина второго порядка для 3 факторов и результаты экспериментальных исследований

Уровни варьирования факторов	Факторы			Критерий оптимизации
	Доля содержания рапсового масла в смеси, %	Процентное содержание топливной присадки, %	Вид присадки	Кинематическая вязкость ν, мм2/с
	X_1	X_2	X_3	Y
Верхний уровень (+)	40	2	Антигель Intenpum	
Нулевой Уровень (0)	20	1	Дифрон LT345	
Нижний уровень (-)	0	0	Дифрон H372	
Опыты				
1	+	0	-	13,270
2	0	0	0	7,205
3	0	-	+	7,287
4	0	-	-	7,885
5	+	-	0	12,476
6	0	0	0	7,205
7	-	0	-	4,455
8	-	0	+	4,508
9	0	+	-	7,123
10	-	-	0	4,872
11	-	+	0	4,444
12	0	+	+	8,279
13	+	0	+	13,626
14	+	+	0	12,769
15	0	0	0	7,205

В планировании второго порядка преобладающее значение имеют коэффициенты регрессии при квадратичных членах и эффектах взаимодействий. Многофакторный эксперимент позволяет оценить эффект влияния и направленности действия того или иного фактора, а также возможные взаимодействия между ними [Мельников, с.78].

Результаты проведённых исследований обработаны при помощи математического анализа и пакета программ STATGRAPHICS Centurion 2018.

Проверку воспроизводимости опытов проводили по критерию Кохрена ($G_{табл}$=0,1980 при уровне значимости 0,05). Расчётное значение критерия Кох-

рена для уравнения *Y* равно 0,1790. Таким образом, процесс воспроизводим, так как расчётные значения критерия Кохрена меньше табличного.

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по величине доверительного интервала Δb_i. Из уравнений были удалены те слагаемые, величина коэффициентов, регрессии которых превышает величину Δb_i.

После исключения незначимых слагаемых математические модели пересчитывали и проводили проверку адекватности полученных моделей по критерию Фишера ($F_{табл}(0,05)=2,1471$). Расчётное значение критерия Фишера равно 1,84386 для уравнения *Y*. Табличное значение F-критерия больше расчётного, значит, модель адекватна:

$$Y=7,205+4,233X_1+0,012X_2+0,121X_3+1,378X_1^2+0,180X_1X_2+0,076X_1X_3+0,057X_2^2+0,438X_2X_3+0,3815X_3^2 \quad (1)$$

Анализ математической модели регрессии (1) показывает, что на кинематическую вязкость влияют все факторы, однако наибольшее влияние оказывает доля содержания рапсового масла в смеси (b_1) и вид присадки (b_2), а также парное взаимодействие процентного содержания топливной присадки и вида самой присадки (b_{23}). Полный анализ оценочных влияний факторов на критерий оптимизации и их парных взаимодействий представлен в Табл. 2, Парето анализ на Рис. 1.

Таблица 2

Оценочные влияния и взаимодействия факторов

Эффект	Оценка влияния	Стандартная ошибка	Коэффициент инфляции дисперсии
b_0	7,205	0,186446	
X_1	8,4655	0,228348	1,0
X_2	0,02375	0,228348	1,0
X_3^2	0,24175	0,228348	1,0
X_1^2	2,7565	0,33612	1,01111
X_1X_2	0,3605	0,322934	1,0
X_1X_3	0,1515	0,322934	1,0
X_2^2	0,114	0,33612	1,01111
X_2X_3	0,877	0,322934	1,0
X_3^2	0,763	0,33612	1,01111

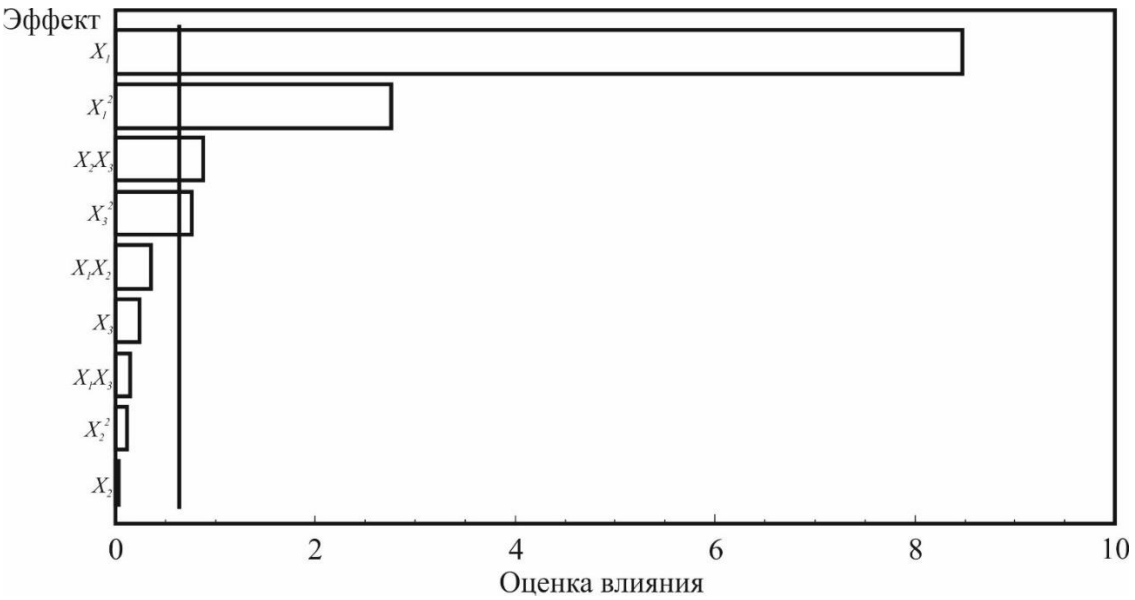


Рисунок 1. Парето диаграмма

Анализ Таб. 2 и рис. 1 показал, что на кинематическую вязкость в пределах 95% вероятности оказывают влияние - доля содержания рапсового масла в смеси, вид присадки, а также парное взаимодействие процентного содержания топливной присадки и вида присадки. Стандартная ошибка каждого из эффектов, которая измеряет их ошибку выборки не превышает 5%. Также можно отметить, что наибольший коэффициент инфляции дисперсии равен 1,01111 у квадратичных значений факторов что характерно для D-оптимального плана Бокса – Бенкина.

Проведенный анализ полученных зависимостей показал, что в не зависимости от использования вида присадки, а также его процентного содержания кинематическая вязкость значительно повышается с увеличением доли рапсового масла в смеси. При использовании присадки Дифрон Н372 с максимальным процентным содержанием её в смеси и содержанием доли рапсового масла от 0 до 20% наблюдается максимальное снижение кинематической вязкости. Однако при увеличении доли рапсового масла от 20 до 40 % и в не зависимости от процентного содержания присадки эффективность её применения снижается. В этом случае наиболее эффективной по сравнению с вышеназванной присадкой является применение Антигель Intenpum с максимальным её процентным содержанием в смеси при долях рапсового масла от 20 до 40%.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что при использовании смесевого топлива, состоящего из дизельного топлива и рапсового масла с содержанием доли последнего от 0 до 20% эффективней будет использовать присадку Дифрон Н372, а при увеличении доли рапсового масла от 20 до 40% - Антигель Intenpum.

Список литературы

1. Плотников С. А., Черемисинов П. Н., Карташевич А. Н., Бирюков А. Л. Исследование работы автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с рапсовым маслом // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 1 (25). С. 110-118.
2. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Показатели работы тракторного дизеля на рапсовом масле // Двигателестроение. 2011. № 2. С. 39-41.
3. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Оптимизация параметров топливоподачи тракторного дизеля для работы на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 3. С. 13-16.
4. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Карташевич А. Н., Зубакин А. С. Определение количественных характеристик двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 2 (34). С. 105-111.
5. Evaluation of the economic efficiency of various alternative fuels in transport / E. A Kuimov, S. A. Plotnikov // 2nd international conference on industrial engineering, Chelyabinsk, 19-20 May 2016. URL: https://doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.237 (date of the application 14.02.2018).
6. Плотников С. А. Создание новых альтернативных топлив // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2014. № S10. С. 26-30.
7. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Оценка дымности и токсичности тракторного дизеля при работе на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 9. С. 11-13.
8. Расчет тяговых показателей колесного трактора при работе на смесевом топливе на основе рапсового масла / А. Н. Карташевич и др. // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. "Наука – Технология – Ресурсосбережение", 14-16 февраля 2016 г. Киров, 2016. С. 129-133.
9. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Влияние присадок на кинематическую вязкость топлив на основе рапсового масла // Общество, наука, инновации (НПК-2016): сб. статей. 2-е издание, исправленное и дополненное. Вятский государственный университет, 2016. С. 1378-1382.
10. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Недостатки применения топлив на основе рапсового масла в дизельных двигателях // Актуальные направления

научных исследований XXI века: теория и практика: сб. статей, 2015. Т. 3. № 4-1 (15-1). С. 97-101.

11. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рощин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.

Определение влияния топливных присадок на кинематическую вязкость смесевого топлива

Плотников С. А.[a], Бузиков Ш. В.[b], Козлов И. С.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения[a]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой машин и технологии деревообработки[b]
аспирант кафедры машин и технологии деревообработки[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: sa_plotnikov@vyatsu.ru[a], usr10012@vyatsu.ru[a], vz-43@mail.ru[c]

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена необходимостью определения влияния топливных присадок на кинематическую вязкость смесевого топлива. Целью исследования является определение влияния депрессорно-диспергирующих присадок оптимально снижающих кинематическую вязкость смесевого топлива. Для этой цели были проведены экспериментальные исследования по определению кинематической вязкости топливных композиций, состоящих из дизельного топлива, рапсового масла и разных депрессорно-диспергирующих присадок. В результате впервые были получены количественные характеристики влияния разных депрессорно-диспергирующих присадок и их концентраций, а также процентного содержания рапсового масла на кинематическую вязкость топливных композиций. Анализ полученных данных показал неоднозначное влияние разных топливных присадок на кинематическую вязкость смесевого топлива. Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее предпочтительной оказалась присадка Дифрон Н372, так как её применение показало наибольшее снижение кинетической вязкости исследуемой топливной композиции с различным содержанием рапсового масла.

Ключевые слова: топливная композиция, рапсовое масло, смесевое топливо.

На данный момент времени колоссальный интерес проявляется к смесевому топливу, получаемому из возобновляемого растительного сырья, запасы которых является безграничными [Плотников[1], с.110, Карташевич[1], с.39, Карташевич[2], с.13, Плотников[2], с.105]. В первую очередь это топливо в основе которого содержатся растительные масла [Kuimov, с.1209, Плотников[3], с.26].

Непосредственное использование растительных масел в качестве топлива в дизельных двигателях связано с рядом трудностей, главной их которых является разность физико-механических свойств жирнокислотного состава и нефтяных топлив [Карташевич[3], с.11, Карташевич[4], с.129].

В сравнении с дизельным топливом рапсовое масло обладает одним существенным недостатком это высокая кинематическая вязкость [Плотников[4], с.1378, Плотников[5], с.97].

В ВятГУ на лабораторной установке при помощи вискозиметра были проведены экспериментальные исследования по определению кинематической вязкости топливной композиции, содержащей в своей основе дизельное топливо, рапсовое масло и небольшой процент депрессорно-диспергирующих присадок.

Результаты проведенных экспериментальных исследований по определению кинематической вязкости топливной композиции представлены в Табл. 1.

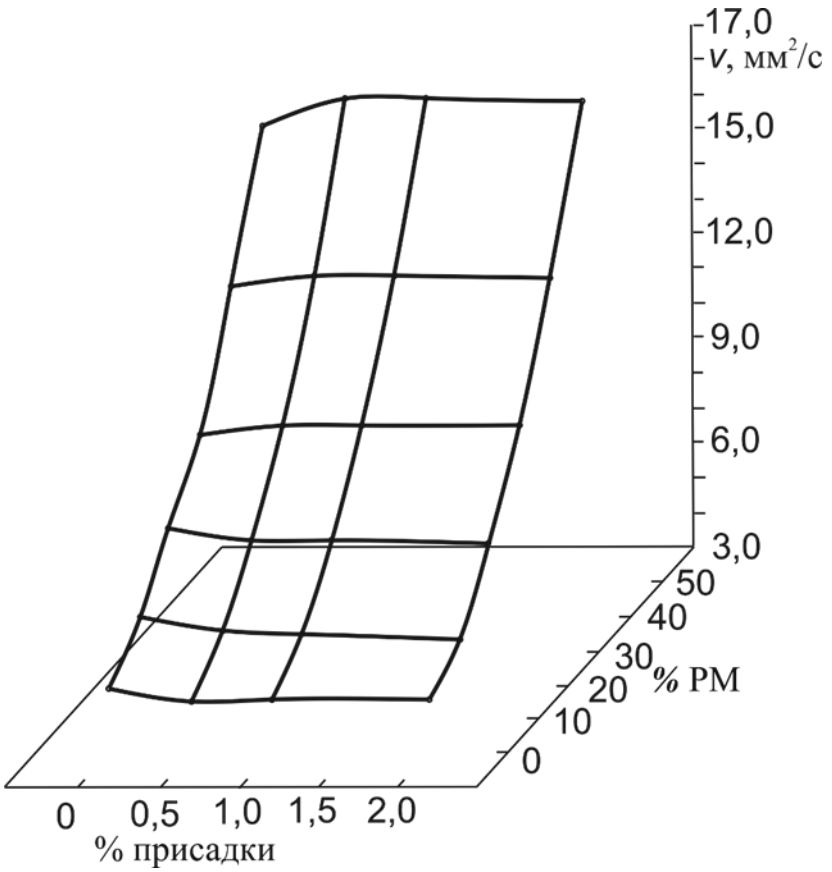
Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований по определению кинематикой вязкости топливной композиции

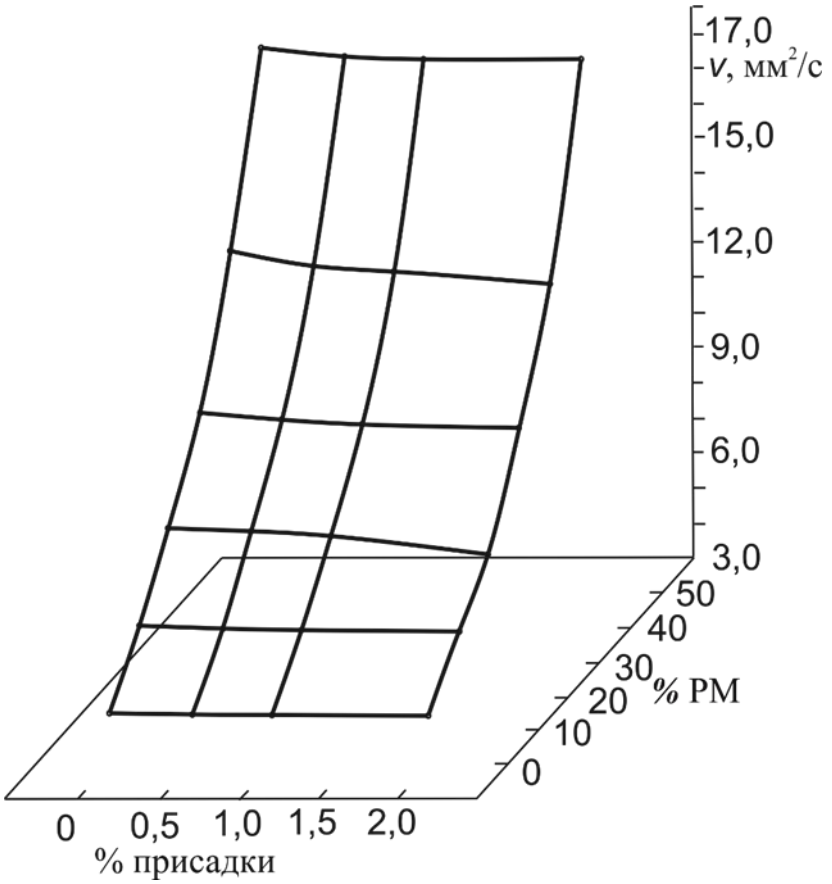
		% содержания присадки Дифрон LT345			
		0	0,5	1	2
% содержания рапсового масла РМ	0	4,872	4,392	4,433	4,444
	10	5,812	5,437	5,375	5,289
	20	7,490	7,255	7,205	7,091
	30	9,253	9,497	9,401	9,445
	40	12,476	12,839	12,819	12,769
	50	16,087	16,858	16,854	16,700
		% содержания присадки Дифрон H372			
		0	0,5	1	2
% содержания рапсового масла РМ	0	4,524	4,492	4,455	4,405
	10	6,008	5,945	5,873	5,811
	20	7,885	7,739	7,633	7,123
	30	10,264	10,096	9,984	9,860
	40	13,899	13,468	13,270	12,968
	50	17,894	17,692	17,400	16,980

		% содержания присадки Антигель Intenpum				
		0	0,5	1,0	1,5	2
% содержания рапсового масла РМ	0	4,323	4,442	4,508	4,620	4,732
	10	5,584	5,699	5,841	5,983	6,022
	20	7,287	7,466	7,670	7,939	8,279
	40	13,810	13,310	13,626	13,943	14,259

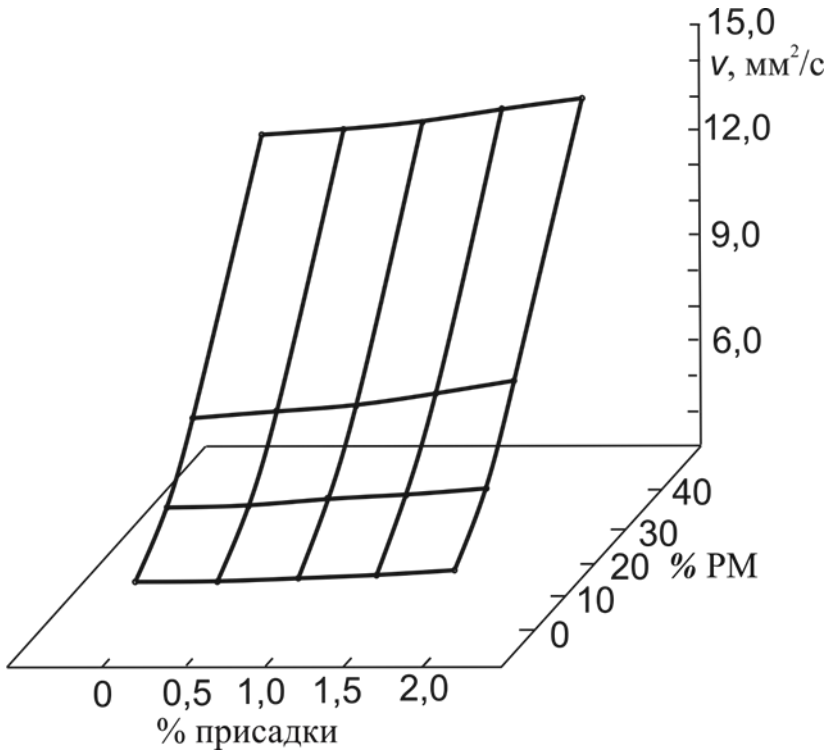
Графические зависимости влияния процентного содержания депрессорно-диспергирующих присадок Дифрон LT345, Дифрон H372 и Антигель Intenpum, а также доли рапсового масла в топливной композиции представлены на Рис. 1.


17,0
ν, мм²/с
15,0
12,0
9,0
6,0
3,0
50
40
30
20
10
0
% РМ
0
0,5
1,0
1,5
2,0
% присадки

а


17,0
ν, мм²/с
15,0
12,0
9,0
6,0
3,0
50
40
30
20
10
0
% РМ
0
0,5
1,0
1,5
2,0
% присадки

б



в

Рисунок 1. Зависимости влияния процентного содержания присадок: а - Дифрон LT345; б - Дифрон Н372; в – Антигель Intenpum в топливных композициях на кинематическую вязкость

Проведенный анализ полученных зависимостей, представленных на Рис. 1 показывает, что с увеличением процентного содержания рапсового масла в топливной композиции от 0 до 50% в независимости от наличия присадок кинематическая вязкость увеличивается с 4,323…4,872 до 13,180…17,894 мм^2/с.

При увеличении процентного содержания присадок в топливной композиции характер изменения кинематической вязкости носит неоднозначный характер. Так при увеличении содержания присадки Дифрон LT345 от 0 до 2 % и содержания рапсового масла от 0 до 20 % наблюдается снижение кинематической вязкости на 0,2…0,5 мм^2/с, однако при увеличении доли рапсового масла до 50% происходит увеличение кинематической вязкости на 0,2…0,7 мм^2/с. При использовании присадки Дифрон Н372 характер изменения кинематической вязкости имеет более линейный характер. Во всём диапазоне содержания доли рапсового масла и при увеличении концентрации самой присадки имеет место снижение кинематической вязкости на 0,1…0,9 мм^2/с. Изменение процентного содержания присадки Антигель Intenpum также имеет почти линей-

ный характер. При изменении концентрации присадки в топливной композиции от 0 до 2 %, а также доли рапсового масла от о до 40 % имеет место увеличение показателя кинематической вязкости на 0,409…1,079 мм^2/с во всём диапазоне.

На основании проведенного анализа применения трёх депрессорно-диспергирующих присадок для топливной композиции, состоящей из смеси дизельного топлива и рапсового масла по их влиянию на кинематическую вязкость сделали вывод о том, что наиболее предпочтительной оказалась присадка Дифрон Н372. Характер оказываемого влияния концентрации данной присадки в топливной композиции на кинематическую вязкость наиболее линеен и значителен по сравнению с другими. А также применение данной присадки показало наибольшее снижение кинетической вязкости исследуемой топливной композиции с различным содержанием рапсового масла.

Список литературы

1. Плотников С. А., Черемисинов П. Н., Карташевич А. Н., Бирюков А. Л. Исследование работы автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с рапсовым маслом // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 1 (25). С. 110-118.
2. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Показатели работы тракторного дизеля на рапсовом масле // Двигателестроение. 2011. № 2. С. 39-41.
3. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Оптимизация параметров топливоподачи тракторного дизеля для работы на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 3. С. 13-16.
4. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Карташевич А. Н., Зубакин А. С. Определение количественных характеристик двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 2 (34). С. 105-111.
5. Evaluation of the economic efficiency of various alternative fuels in transport / E. A Kuimov, S. A. Plotnikov // 2nd international conference on industrial engineering, Chelyabinsk, 19-20 May 2016. URL: https://doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.237 (date of the application 14.02.2018).
6. Плотников С. А. Создание новых альтернативных топлив // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2014. № S10. С. 26-30.
7. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Плотников С. А. Оценка дымности и токсичности тракторного дизеля при работе на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 9. С. 11-13.
8. Расчет тяговых показателей колесного трактора при работе на смесевом топливе на основе рапсового масла / А. Н. Карташевич и др. // Улучшение

эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. "Наука – Технология – Ресурсосбережение", 14-16 февраля 2016 г. Киров, 2016. С. 129-133.

9. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Влияние присадок на кинематическую вязкость топлив на основе рапсового масла // Общество, наука, инновации (НПК-2016): сб. статей. 2-е издание, исправленное и дополненное. Вятский государственный университет, 2016. С. 1378-1382.

10. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Недостатки применения топлив на основе рапсового масла в дизельных двигателях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. статей, 2015. Т. 3. № 4-1 (15-1). С. 97-101.

Исследование коэффициентов линейного предсказания

Подгорный В.А.[a], Болховских А.А.[b], Лялин С.Г.[c]
студент группы ИТб-3301-01-00[a]
студентка группы ИТб-3301-01-00[b]
преподаватель кафедры АТ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
E-mail: lyalinstas@gmail.com[c]

Аннотация: В данной статье рассматриваются коэффициенты линейного предсказания (КЛП). Англоязычный термин – Linear Prediction Coefficients (LPC). Использование коэффициентов линейного предсказания совместно с другими методами, которые характеризуют голос, позволяет повысить точность голосовой идентификации.

Разработано приложение, вычисляющее коэффициенты линейного предсказания. Исследование коэффициентов линейного предсказания выполняется на реальных голосовых записях пользователей с частотой дискретизации 48 кГц и на искусственно созданных сигналах с различными параметрами. Исследовано влияние количества коэффициентов линейного предсказания на среднеквадратическую ошибку. С помощью полученных коэффициентов разработана система, выполняющая идентификацию диктора с точностью 29% на выборке из 100 пользователей. При формировании голосового портрета пользователя использовалось 3 звуковых фрагмента длительностью 3-5 секунд. Разработанное решение может применяться для сжатия речевых данных и для повышения точности голосовой идентификации совместно с другими методами.

Ключевые слова: голосовая идентификация, классификация, вектор признаков, linear prediction coefficients.

Защита информационных ресурсов стоит в приоритете у каждого физического и юридического лица. Распознавание личности по голосу один из самых эффективных методов защиты информации в наше время. Голос – это пароль, который невозможно потерять или забыть. Самый оптимальный метод, который обладает таким свойством, как идеальное соотношение «цена-качество» - это голосовая биометрия. Достоинства биометрии по голосу:

- Не видим абонента на другом конце провода;
- Не нужны дополнительные сканирующие устройства;
- Самый дешевый способ биометрии.

Одним из подходов к решению задачи голосовой идентификации является использование коэффициентов линейного предсказания (КЛП) в качестве признаков, характеризующих индивидуальные особенности голоса диктора.

Достоинства КЛП:

1. Приемлемо характеризуют речь.
2. При применении вектора коэффициентов линейного предсказания на сигнал будут ярче выделены форматные частоты, что является хорошим началом для их обнаружения.

Недостатки LPC:

1. Неустойчивы к помехам.
2. Необходимо подбирать параметры.

Суть коэффициентов линейного предсказания в том, чтобы получать индивидуальные характеристики (особенности) голоса. Коэффициенты линейного предсказания можно рассчитать с помощью метода наименьших квадратов путём вычисления среднеквадратической ошибки, которая при определенных параметрах (оценках) будет принимать минимальное значение.

Коэффициенты линейного предсказания позволяют вычислить значение i-го отсчета сигнала по его *p* предыдущим отсчетам [1]:

$$x_n = \sum_{i=1}^{p} a_i x_{n-i}$$

Так как значение *p* варьируется в промежутке от 2 и более, в таком случае зависимость будет иметь вид гиперплоскости (см. рисунок 1).

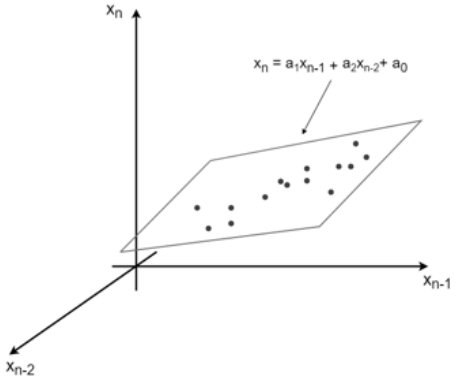


Рисунок 1. Гиперплоскость, образованная двумя КЛП

Нахождение КЛП можно свести к решению задачи регрессии, только вместо целевой величины будет значение текущего отсчёта, а вместо входных значений – *p* предыдущих значений речевого сигнала.

Рассмотрим алгоритм вычисления КЛП:

1. На некотором временном интервале берется M отчетов сигнала. Число M зависит от частоты дискретизации сигнала и от длины временного интервала. Обычно берут фрагменты сигнала длительностью 20-30 мс, так как такие короткие промежутки сигнала уже могут нести в себе уникальные признаки голоса диктора.

2. Для выбранных отсчетов формируется матрица признаков, по которой методом наименьших квадратов подбираются коэффициенты так, чтобы минимизировать среднеквадратическую ошибку (mean squared error – MSE). Количество строк в матрице *X* соответствует количеству элементов в *y* и имеет значение *w* - *p*, где *w* – количество отсчетов в рассматриваемом временном промежутке речевого сигнала, которое напрямую зависит от частоты дискретизации сигнала. Процесс формирования матрицы признаков показан на рисунке 2:

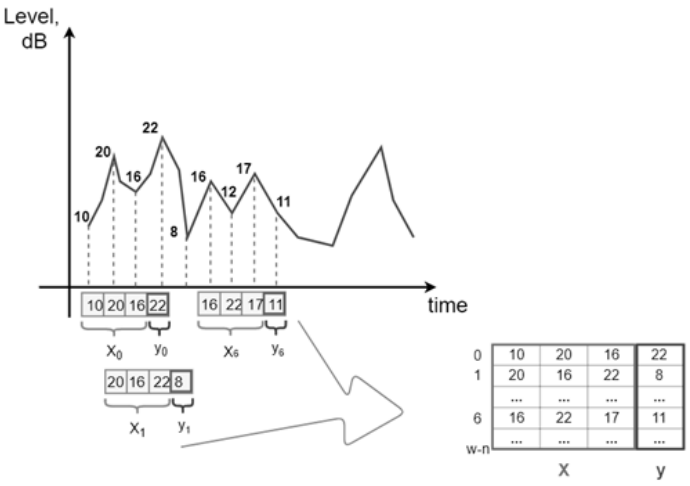


Рисунок 2. Формирование матрицы признаков X

Заполнение строк матрицы происходит последовательно с шагом p+1. Первые *p* отсчетов представляют собой набор признаков, последний – целевое значение. Из первых *p* столбцов формируется матрица признаков *X*, из последнего – вектор целевых значений *y*. Формула для вычисления оптимальных КЛП имеет вид [2]:

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T \vec{y}$$

3. КЛП, вычисленные для каждого блока сигнала, усредняются (см. рисунок 3).

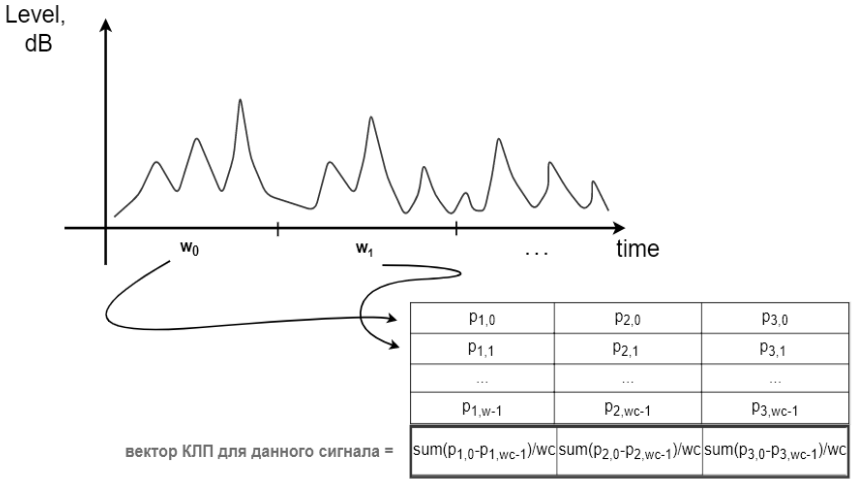


Рисунок 3. Среднее значение векторов КЛП

Попробуем построить различные сигналы, спрогнозировав их значение с помощью вектора КЛП для разных сигналов, и посмотрим на зависимость точности от количества КЛП.

Чистый сигнал – запись голоса с удаленными паузами.

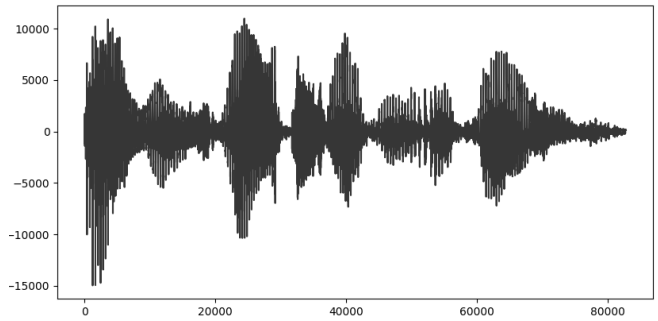


Рисунок 4. Чистый сигнал

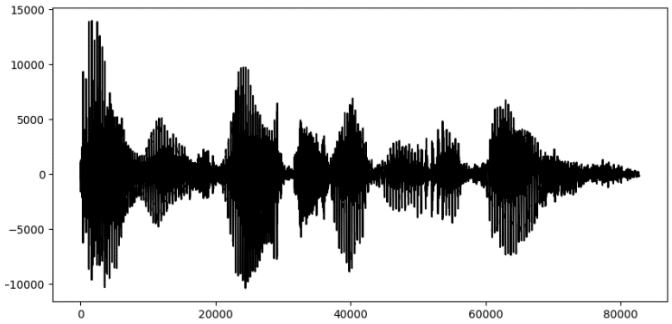


Рисунок 5. Спрогнозированные отсчёты при 3 КЛП

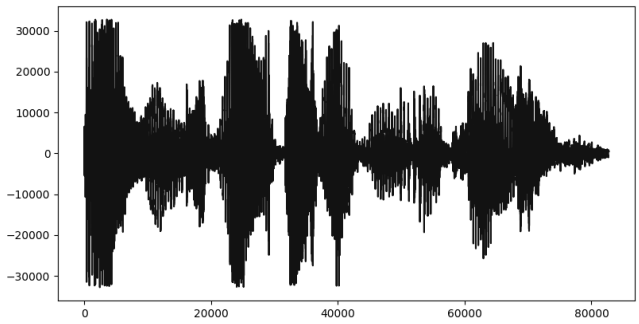


Рисунок 6. Спрогнозированные отсчёты при 6 КЛП

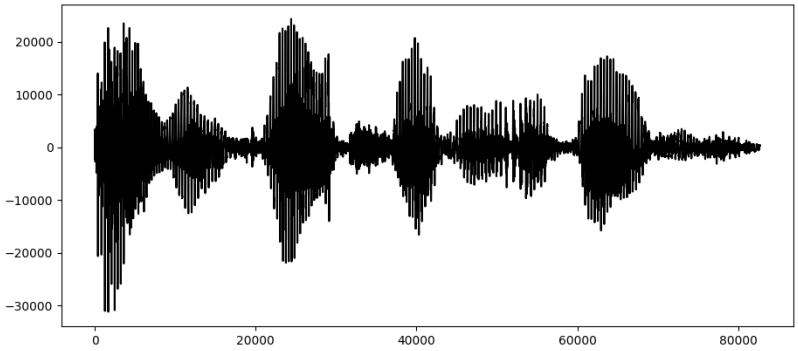


Рисунок 7. Спрогнозированные отсчёты при 9 КЛП

Хорошо видно, что при 3 КЛП сигнал слабо отличается от исходного. При 6 ярко выражены форманты, а при 9 сигнал выглядит аппроксимированным. Таким образом, можно сделать вывод, что для параметризации разных типов сигналов необходимо подбирать количество коэффициентов в векторе опытным путем. Второй и третий случаи устанавливают закономерность: чем больше количество КЛП, тем ниже характеризующие свойства вектора КЛП. Нельзя делать однозначный вывод на данном этапе исследования, но можно подтвердить результат, используя большую выборку данных, что и ждет нас далее.

На рисунках 8 и 9 показаны результаты прогнозирования с помощью различного количества КЛП для синусоидального сигнала и для суммы синусоид:

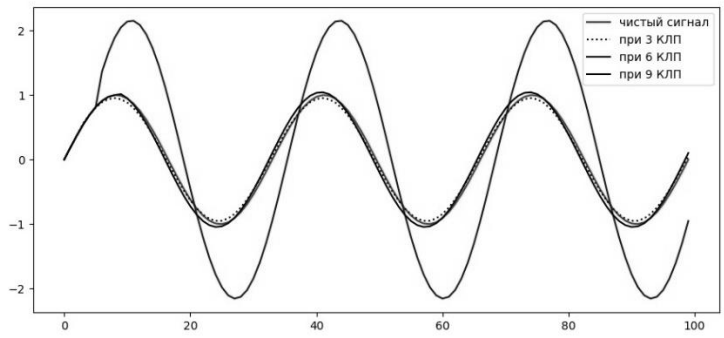


Рисунок 8. Прогноз для синусоиды при разном количестве КЛП

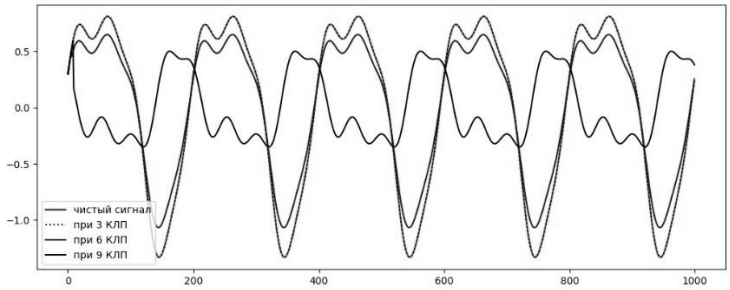


Рисунок 9. Прогноз для суммы синусоид при разном количестве КЛП

Рассмотрим применимость КЛП для решения задачи голосовой идентификации. Исходными данными являются речевые файлы с частотой дискретизации 48 кГц и длительностью 3-5 с. Классификатор тестируется на выборке из 100 пользователей, при этом для каждого пользователя по 3 записи используются для формирования голосового портрета и 1 файл – для тестирования модели. Исходя из особенностей задачи подходящим методом классификации будет метод k ближайших соседей с количеством соседей, равным 3, так как для каждого пользователя голосовой портрет формируется по 3 файлам.

На рисунке 10 приведена зависимость точности классификации от количества КЛП (по вертикали) и размера окна в миллисекундах (по горизонтали). Из рисунка видно, что максимальная точность достигается при 5 КЛП для окна в 10 мс. Последний столбец показывает усреднённую по строкам точность. В целом видно, что наибольшая точность классификации достигается при 4-7 КЛП, а размер окна не влияет на точность классификации.

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
2	17	10	12	14	9	12	13	7	11	11
3	19	15	16	18	13	13	14	17	13	15
4	27	22	20	21	19	27	20	19	20	21
5	29	24	20	23	24	20	20	22	23	22
6	28	20	19	19	24	19	23	26	19	21
7	22	19	20	23	24	17	24	22	16	20
8	18	14	12	4	14	13	15	16	13	13
9	12	5	11	10	13	8	5	12	9	9
10	7	10	10	7	11	5	3	6	5	7
11	3	5	6	3	7	8	2	8	3	5
12	9	5	6	5	7	4	7	9	4	6
13	6	8	4	5	10	3	6	2	2	5
14	3	6	6	4	7	8	3	8	4	5
15	4	4	7	3	7	8	2	7	9	5
16	2	2	5	4	4	1	4	1	6	3
17	4	2	6	2	0	2	8	1	4	3
18	2	4	6	1	1	3	1	4	2	2
19	2	0	2	0	6	9	4	2	6	3
20	2	0	0	1	0	4	2	5	5	2
21	1	2	3	2	3	3	2	2	5	2

Рисунок 10. Зависимость точности классификации от числа КЛП и размера окна

В итоге мы получили точность классификации 29% с применением фильтра низких частот с полосой среза 3 кГц и удалением пауз. Этого показателя недостаточно для того, чтобы использовать КЛП самостоятельно для голосовой идентификации, но возможно их применение в сочетании с другими голосовыми признаками, например, мел-частотными кепстральными коэффициентами. Кроме того, метод расчёта КЛП, рассмотренный выше, может применяться для сжатия голосовых записей.

Список литературы

1. *Линейное предсказание* // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki Линейное предсказание (дата обращения: 28.09.2017).

2. *Линейная регрессия (пример)* // machinelearning.ru URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Линейная регрессия (пример) (дата обращения: 30.09.2017).

Обзор перекрестного проектирования в ключе динамического спектра для когнитивного радио

Поздин В.Н.[a], Колупаев А.А.[b], Красиков М.И.[c]
кандидат технических наук, доценткафедры автоматикии телемеханики[a,c]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E–mail: usr00324@vyatsu.ru[a], govardfavt@gmail.com[b], usr00197@vyatsu.ru[c]

Аннотация: Когнитивное радио - это интеллектуальное радио, которое динамически изменяет параметры приемопередатчика в зависимости от условий окружающей среды. В когнитивных радиосетях каждый вторичный пользователь может динамически получать доступ к спектру без вмешательства в первичные пользователи в сети. В этом обзоре представлены основы когнитивных характеристик радиосвязи, классификация когнитивной радиосети и различные межплатформенные среды, которые предназначены для улучшения качества обслуживания вторичных пользователей. Представления, представленные в этой статье, дают межслойный дизайн в когнитивной радиосети.

Ключевые слова: Когнитивные радиосети, спектр, радиоинтерфейс.

1. Введение

Когнитивное радио - это интеллектуальное радио, которое динамически изменяет параметры приемопередатчика в зависимости от условий окружающей среды. В когнитивных радиосетях каждый вторичный пользователь может динамически получать доступ к спектру без вмешательства в первичные пользователи в сети. Пользовательский узел может подключаться к когнитивной радиосети, если он имеет возможности беспроводной связи, сети и когнитивного радио. Существует два типа пользователей, использующих сеть; Первичные пользователи (PU) и вторичные пользователи (SU). Первичные пользователи также называются лицензированными пользователями, которые будут использовать уже выделенный спектр. Вторичные пользователи также называются когнитивными пользователями или нелицензируемыми пользователями, поскольку для связи не выделяется фиксированный спектр для SU. SU могут использовать спектр PU без помех PU.

2. Постановка и цели задач исследования

Параметры качества обслуживания (QoS) сети - это пропускная способность, сквозная задержка, джиттер, пропускная способность и т. Д. Все сети предлагают два типа качества услуг: гарантированное QoS и наилучшее качество QoS. Для PU гарантируется качество обслуживания. Для SU обеспечивается наилучшее качество QoS, поскольку они используют неиспользованный спектр PU, когда есть необходимость в общении. Когда определенный лицензированный спектр свободен, SU будут использовать этот лицензированный спектр. Когда PU получают доступ к этому спектру, SU переходят к другому свободному спектру, не внося никакого вмешательства в SU. Свободный спектр называется белым пространством или спектральной дырой и показан на рис. 1. Каждое белое пространство спектра включает в себя несколько каналов, и каждый канал может быть использован для связи, когда он связан с радиоинтерфейсом какого-либо узла.

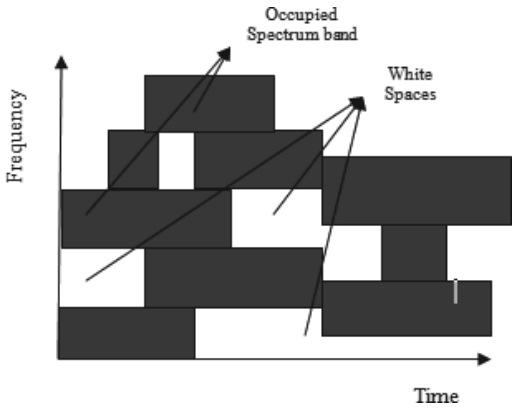


Рисунок 1. Использование спектра

Когнитивные радиосети классифицируются в зависимости от различной структуры сети, как показано на рисунке 2. Инфраструктурная когнитивная радиосеть имеет подвид: централизованная когнитивная радиосеть. В инфраструктурных (Infrastructureрис. 2) когнитивных радиосетях будет существовать отдельная базовая станция для SU и PU. Базовая станция, используемая SU, называется вторичной базовой станцией.

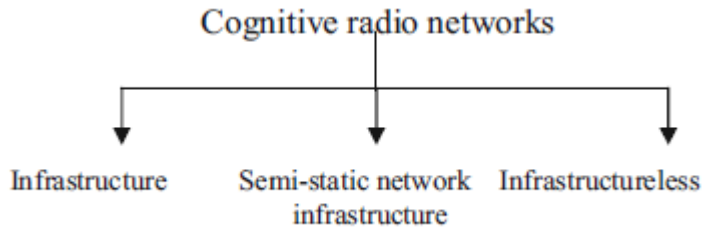


Рисунок 2. Классификация когнитивных радиосетей

Инфраструктурная когнитивная радиосеть также называется когнитивной радиоадгезивной сетью. В бессистемной когнитивной радиосети нет базовой станции. SU в сети будут обмениваться между собой, как правило, как сеть adhoc, используя свободную лицензионную полосу спектра. Полустационарная сетевая инфраструктура когнитивной радиосети также называется когнитивной сетью беспроводной сети. Беспроводная ячеистая сеть является самоорганизующейся и самонастраиваемой. Она состоит из узлов сетки, которые могут получить доступ в Интернет через сетчатые маршрутизаторы. Сетчатые узлы соединены проводным соединением.

Когнитивный узел использует два разных подхода для доступа к спектру: наложение спектра и субстрат спектра (spectrumoverlay, spectrumunderlay). В режиме перекрытия вторичные пользователи занимают незанятые спектральные дыры, когда первичные пользователи не занимают его. Когда PU начинает передавать в этом спектре, SU переходит в другое незанятое отверстие спектра и не создает помех для первичных пользователей. С другой стороны, в основе когнитивной системы, вторичные пользователи используют спектр, когда первичные пользователи передают. SU работают на малой мощности и ниже порога помех для основных пользователей.

3. Различные подходы в межслойном дизайне

Для обеспечения связи между двумя различными устройствами с семью слоями была смоделирована OSI Referencemodel. Позднее для межсетевого взаимодействия была введена модель TCP / IP. В этом случае уровни приложения, сеанса и презентации объединены, а объединенный слой называется прикладным уровнем. Информация, доступная на каждом уровне, будет полезна для анализа эффективности протокола. На физическом уровне доступна информа-

ция о мощности передачи, скорости передачи битов, адаптивном кодировании и модуляции. Различные данные, доступные на уровне данных, являются текущей схемой коррекции ошибок (FEC), количеством переданных кадров, адаптивным размером кадра и событиями, связанными с передачей.

Информация, доступная на сетевом уровне, - это события инициирования / завершения сеанса связи и текущий интерфейс сети. Информация о транспортном слое - это время прохождения в оба конца, максимальная единица передачи, окно приемника, окно согласования, количество потерянных пакетов и фактическая пропускная способность. Прикладной уровень объединяется с нижними уровнями для удовлетворения его требований к качеству обслуживания, таких как допуск на задержку, допустимое отклонение задержки, требуемая пропускная способность и приемлемая скорость потери пакетов. В беспроводных сетях многоуровневая архитектура протокола не может обеспечить оптимальную производительность. Кроме того, для достижения высокой сквозной пропускной способности, увеличения пропускной способности сети и ее использования, а также для уменьшения помех и энергопотребления для различных приложений предлагается межслойный дизайн. Проектирование межслойного слоя может осуществляться между физическими и цифровыми каналами, каналом данных и сетевым.

В когнитивных радиосетях когнитивная энергия, лежащая в основе когнитивного радио, будет использовать обмен информацией между различными уровнями и взаимодействия с различными беспроводными интерфейсами и устройствами для достижения наилучшего качества обслуживания для всех коммуникаций ,уровнем, сетевым и транспортным уровнем, каналом данных и транспортным уровнем и т.д. и показан на рисунке 3.

В когнитивных радиосетях когнитивная энергия, лежащая в основе когнитивного радио, будет использовать обмен информацией между различными уровнями и взаимодействия с различными беспроводными интерфейсами и устройствами для достижения наилучшего качества обслуживания для всех коммуникаций.

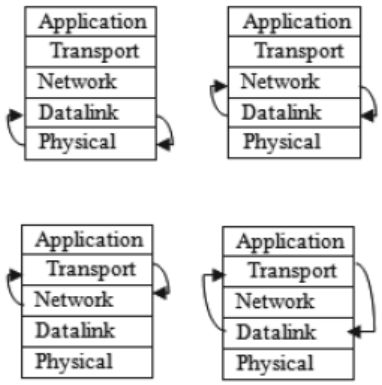


Рисунок 3. Различные многослойные конструкции

4. Обзор межслойного проектирования между физическим и канальным уровнем

Функция физического уровня состоит в передаче данных в виде бит с минимальными разрядниками и с подходящей мощностью. Функция слоя данных - это предоставление связи и связи между данными и фрагментами в кадры, чтобы обеспечить надежную передачу с минимальной надёжностью. Авторы RuiWang(2009) совместно разработали межслойную структуру, комбинируя спектральное зондирование и адаптацию поднесущих для систем CR на основе ортогональной частоты с ортогональным частотным разделением (OFDMA). Это оптимизирует системную утилиту и максимизирует пропускную способность системы.

В статье [Ронга Юй и др., 2010] структура перекрестной оптимизации оптимизирована с учетом стратегии управления доступом к вызову (CAC) и схемы зондирования спектра. Параметры CAC и спектрального зондирования одновременно настраиваются для минимизации скорости падения, удовлетворяя порогу блокировки и порогу помех.

Первичная сеть может быть любой существующей беспроводной сети. Авторы [Show-ShiowTzeng и Ying-JenLin, 2013] рассматривали основную сеть, в которой время делится на слоты, а передача данных происходит в временном интервале. Вторичный пользователь, который пытается отправить данные во временном интервале, начнет считывать спектральный диапазон последовательно. Если конкретная спектральная полоса свободна, она передает данные с

фиксированным размером кадра. Настоящий документ представил вперед и напомнил методы оценки. Передовая политика определяет группы один за другим, а политика отзыва определяет группу и записывает соответствующую информацию для дальнейшего общения. Межслойный дизайн выполняется между физическим уровнем и каналом данных, который выбирает оптимальное время считывания и размер кадра для политики отслеживания вперед и назад. Напомним, что политика зондирования дает более эффективный путь, чем другие чувствительные политики при загрузке легкого канала.

Эффективность сквозного TCP повышается за счет использования межслойной перспективы в статье [ChangqingLuoи др., 2009]. При этом совместно рассматриваются схема модуляции и кодирования на физическом уровне и размер кадра в слое данных. Здесь многоканальный процесс доступа в когнитивной радиосистеме моделируется как особый тип проблемы стохастического управления, называемый неустойчивой бандитской системой. Канал с самым высоким индексом выбирается для доступа, который может обеспечить самую высокую сквозную пропускную способность. В статье [HaoMaetal., 2012), чтобы максимизировать спектральную эффективность с целевой скоростью потери пакетов, кросс-слойная конструкция выполняется с учетом агрессивной адаптивной модуляции и кодирования на физическом уровне с автоматическим запросом повторного запроса на слой данных.

Совместное общение достигается между первичными пользователями и вторичными пользователями. В этом случае SU может получить доступ к каналу в зависимости от услуг SU, предоставленных PU. Здесь первичная пропускная способность пользователя достигается почти на оптимальном уровне. В статье [DongyueXue и EylemEkici, 2013] предлагается алгоритм планирования перекрестного уровня пропускной способности, в котором средним пользователям предоставляется гарантированный сквозной проход, пропорциональный первичным пользовательским данным, которые они перекладывают (действуя как промежуточный узел). Вышеупомянутый алгоритм реализуется в спектральном оверлейном подходе. В статье [JuanLiuetal., 2012], чтобы минимизи-

ровать общую вероятность отказа передачи сообщений, совместное формирование луча на физическом уровне и оптимальное оппортунистическое планирование в MAC-уровне. Эта работа выполняется для когнитивной сети с одним хопом, и анализы должны выполняться для сети с несколькими переходами.

5. Обследование других подходов к перекрестному дизайну

Перекрестный подход может быть также выполнен между нижними уровнями (физическое, цифровое, сетевое) и верхними уровнями (приложение и транспорт).

5.1. Межслойная конструкция между физическим и сетевым слоями

Для связи между несколькими вторичными парами отправителя и вторичного назначения конструкция межслойного слоя осуществляется путем объединения передаваемой информации на физическом уровне и сетевого кодирования на сетевом уровне для увеличения пропускной способности, уменьшения задержки и повышения робастности.

5.2. Межслойная конструкция между физическими и транспортными слоями

Для обеспечения оптимального распределения мощности для каждой линии связи на поднесущую в мультиходовой CRN на базе OFDM вводится совместная система междоменного контроля перегрузки и управления мощностью (JCPC). Предлагаемый алгоритм в статье [MuiVanNguyenи др., 2012] связан с механизмом управления перегрузкой в существующем TCP для получения использования спектра и для увеличения совокупного сквозного объема SU.

5.3. Межслойная конструкция между физическими, Datalink и транспортными слоями

Эффективность связи в централизованной когнитивной радиосети улучшается за счет взаимодействия между физическими, MAC и транспортными уровнями. В статье [MuhammadFaisalAmjadetal., 2013] междоменный подход реализован на базовой станции без изменения каких-либо параметров в конечных системах. Разделенный подход TCP используется базовой станцией, которая прерывает сквозную семантику TCP-соединения.

6. Заключение

Когнитивное радио обеспечивает идеальную коммуникационную парадигму в области беспроводной связи в беспроводных коммуникациях. В этом обзоре представлены основы когнитивных характеристик радиосвязи, классификация когнитивной радиосети и различные межплатформенные среды, которые предназначены для улучшения качества обслуживания вторичных пользователей. Представления, представленные в этой статье, дают межслойный дизайн в когнитивной радиосети. Однако большинство из этих ранних работ выполняются в физических и канальных каналах. Но для обеспечения эффективной связи, обеспечивающей связь с использованием спектра, в рамках межсегментного подхода необходимо провести большую исследовательскую работу. Для эффективной коммуникации между вторичными пользователями в когнитивной радиосети необходимо рассмотреть сквозную передачу от источника к получателю. Для этого TCP обеспечивает надежную передачу.

В литературном обзоре четко указывается необходимость подходящих модификаций в современных подходах к перекрестному дизайну.

Список литературы

1. A. de Bayanst, P. Maonen, M. Petrova.ARQbased cross-layer optimization for wireless multicarrier transmission on cognitive radio networks//Elsevier-Computer Networks 2008P. 778–794.

2. A. Ghosh, W. Hamouda. Multiple-input multiple-output cross-layer antenna selection and beamforming for cognitive networks.// IET Wireless Sensor Systems. 2012. P. 170–175.

3. A. Ghosh, W. Hamouda. Cross-layer Antenna Selection and ChannelAllocationforMIMOCognitive Radios.// IEEE Transactions on Wireless Communications. 2011. P. 3666–3674.

4. B. Wang, K. Liu.Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey.// IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2011. P. 5–23.

Информационная система сбора и анализа данных о двигательной активности пациента

Поздин В.Н.[a], Семеновых В.И.[b], Крекнин А.А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[a,b]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E–mail: usr00324@vyatsu.ru[a], usr00376@vyatsu.ru[b], tttwist94@gmail.com[c]

Аннотация: Рассматриваемая система сбора и анализа данных предназначена для методики определения и оценки собственного объема двигательной активности пациента, как показателя оценки физической подготовленности. Предлагается альтернативный вариант диагностики, который использует метод функциональной пробы. Описывается работа предлагаемого регистрирующего устройства диагностики двигательной активности. Используемый метод функциональных проб основан на регистрации значения мощности нагрузки с одновременным измерением пульса. При этом за счет автоматизации увеличивается точность диагностики. Приведено описание метода. Описывается применение метода. Применимость метода оправдывается тем, что он используется для диагностики в кардиологии и применяется как стандартная нагрузочная проба в диагностике ишемической болезни сердца. Предлагаемое устройство может поддерживать архивирование данных для наблюдения за динамикой изменения физической активности пациента.

Ключевые слова: метод функциональной пробы, мощность нагрузки, частота сердечных сокращений, PWC170.

1. Обзор области применения

Одной из неотъемлемых сторон общей культуры личности является физическая культура. Она обеспечивает биологический потенциал жизнедеятельности организма, создает предпосылки для гармоничного развития личности, содействует проявлению высокого уровня социальной активности и творческого отношения к труду. Методика определения и оценка собственного объема двигательной активности пациента - это важнейший показатель оценки физической подготовленности.

Для контроля и/или диагностики двигательной системы на сегодняшний день применяется множество способов, которые прямо или косвенно могут определить физическое состояние пациента. Среди способов диагностики, основанных на методах совершения какой-либо нагрузки можно выделить:

- холтеровское мониторирование [Сыркин, с.5] (дает возможность оценить работу сердца в течение длительного времени, штатная нагрузка);
- тредмил-тест (бег по дорожке со съемом кардиограммы);
- различные методы функциональных проб с дозированной физической нагрузкой (например, Проба Руфье-Диксона, Гарвардский степ-тест, проба Котова-Дешина).

Все эти методы в той или иной степени сложны или неточны (например, выполняются на основании ручных заметок), занимают много времени (например, требуют наблюдения за изменениями параметров в течение длительного промежутка времени), требуют наличия профессионально ориентированного сотрудника, должны проводиться в специализированных медицинских учреждениях.

Таким образом, предлагается альтернативный вариант диагностики, рассмотренный в данной статье, который использует метод функциональной пробы в устройстве для сбора и анализа данных о двигательной активности.

2 2. Описание работы устройства

По форм-фактору данное устройство представляет собой весы напольного типа. Человек встает на весы, происходит фиксация реального веса, затем выполняется глубокий присед (нижняя точка (максимальный вес) – момент начала подъема – принимается за 0).

При выполнении упражнения, на весы создается определенное давление. Это давление механически передается на ножки весов, в которых расположены чувствительные элементы. В зависимости от силы воздействия, меняется электрическое сопротивление твердого тела (материала датчика) при его деформации, приложенной силой (на чувствительный элемент–тензодатчик). Электрическое напряжение, полученное по закону Ома из электрического сопротивления, передается на АЦП, с АЦП с определенной частотой (например, каждые 0.005 сек.) считывается контроллером, обрабатывается и передается на устройство обработки и отображения информации (компьютер, смартфон, или др.

устройство) посредством, например, WiFi интерфейса, Bluetooth интерфейса или через Com-порт.

Таким образом, т.к электрическое напряжение это численная величина, то можно представить её изменение во времени, при выполнении упражнения, в виде сигнала (Рисунок 1).

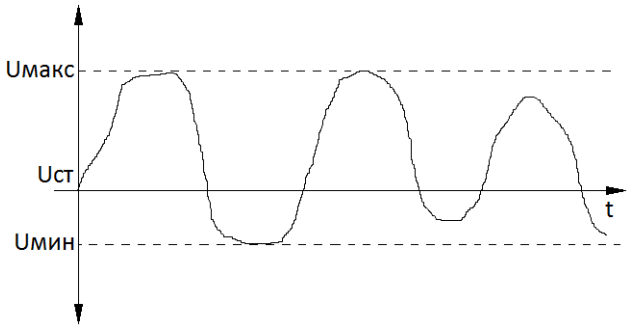


Рисунок 2. Пример выходного сигнала при выполнении упражнения

В момент приседания человек в некоторой степени теряет свой вес, ав момент подъема, наоборот вес увеличивается. Следовательно:

Uмакс – момент наибольшего воздействия на платформу (в конце подъема);

Uмин – момент наименьшего воздействия на платформу (в конце приседа);

Uст – статическое положение пользователя на платформе.

Данный тип диагностики выбран на основании того, что приседание [Ингерлейб, с.15] – одно из базовых и анатомически естественных движений, оно считается одним из важнейших упражнений не только в силовом спорте, но и в общефизической подготовке. Это упражнение задействует многие мышечные группы тела и в значительной мере нагружает сердце.

Таким образом, исходя из форм-фактора устройства и вида выполняемого упражнения, мы можем вычислять силу воздействия на поверхность весов в момент подъема и приседа.

Полученные данные позволяют вести статистику выполнения упражнения (отслеживать прогресс и регресс).

3. Метод диагностики

Для диагностики на основании полученных данныхприменим один из существующих методов функциональной пробы - PWC170 [Ингерлейб, с.32]. Для его применения, используется значение мощности нагрузки, также необходимо измерение пульса. Таким образом, в наше устройство необходимо внедрение устройства измерения пульса. При этом частота дискретизации пульсометра должна примерно совпадать с частотой дискретизации АЦП весов для наложения выходных значений веса и пульса друг на друга в каждый момент времени.

Уникальность способа заключается в том, что в стандартном виде метода, мощность нагрузки находится из табличных данных на основании пульса, с отслеживанием «на глаз». В нашем устройстве значения мощности нагрузки и пульса считаются напрямую при выполнении упражнения. При этом отсечка в нужный момент происходит автоматически.

Таким образом, можно сделать вывод, что устройство увеличивает точность диагностики.

2.1 3.1. Описание метода

Тест PWC170 [Мясников, с.20] основан на закономерности, заключающейся в том, что между частотой сердечных сокращений (ЧСС) и мощностью нагрузки существует линейная зависимость. Это позволяет определить величину механической работы, при которой ЧСС достигает 170 уд/с, путем построения графика линейной экстраполяции данных путем расчета по формуле, предложенной В.Л Карпманом (Рис. 2).

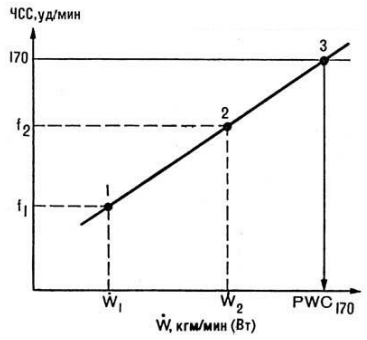


Рисунок 2. Графическое определение PWC170

ЧСС, равная 170 уд/мин, соответствует началу зоны оптимального функционирования кардиореспираторной системы. Кроме того, с этой ЧСС нарушается линейный характер взаимосвязи ЧСС и мощности физической работы. Нагрузка может быть выполнена на велоэргометре, на ступеньке (степ-тест), также в виде специфической нагрузки для конкретного вида спорта.

Для увеличения точности определения применяется математическое выражение, позволяющее вычислить PWC170 аналитически (без построения графиков). Для этого можно воспользоваться следующей формулой:

$$PWC170 = W1 + (W2 - W1) \times \left(\frac{(170 - f1)}{(f2 - f1)}\right) \quad (1)$$

где PWC17 – мощность физической нагрузки, при которой достигается ЧСС;

W1, W2 – мощность первой и второй нагрузок;

f1, f2 – ЧСС в конце первой и второй нагрузок.

Полученное значение PWC170 сравнивается с табличными диапазонами значений, принадлежащими тому или иному виду спорта, к определенному возрасту и определенному уровню физического развития.

3.2. Применение метода

В компьютерной программе устройства, при выполнении упражнения, складываются работы (А) каждого подъема из приседа и суммируются (их может быть, например 10 или 20) и делятся на время осуществления нагрузки (t_n, например, 30 сек – время выполнения упражнения, - время осуществления нагрузки) – получаем среднюю мощность нагрузки (W).

$$A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n = A_{sum} \quad (2)$$

$$W = \frac{A_{sum}}{t_{подъема}} \quad (3)$$

Так как выходное электрическое напряжение прямо пропорционально силе воздействия на весы, то график зависимости можно представить по аналогии с рисунком 1 (рис. 3).

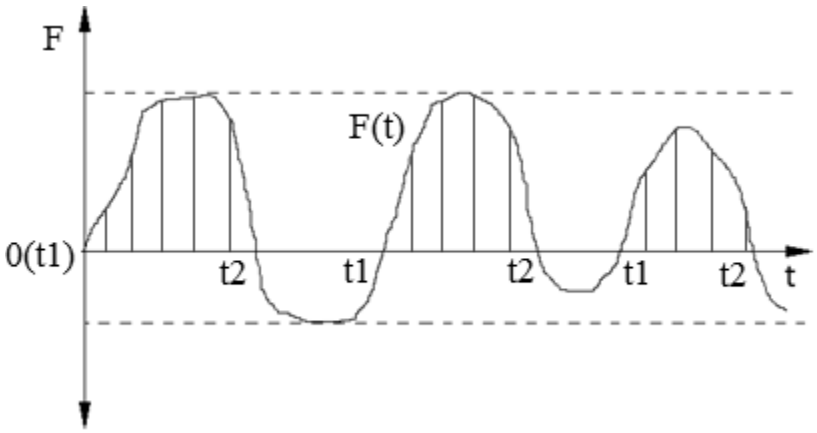


Рисунок 3. График зависимости силы от времени

Если сила не постоянна по величине и является функцией времени *F=F(t)*и направлена под углом α к перемещению, то работа есть интеграл от силы по времени.

$$A = \int_{t1}^{t2} F(t)dt \qquad (4)$$

Соответственно, подставив (4) в (2), получим сумму работ при каждом подъеме. Подставив (2) в (3) получим мощность выполнения нагрузки.

В методике предусмотрены две нагрузки с перерывом в 5 минут, т.е два значения мощности двух нагрузок – первая легкая, вторая более интенсивная. Запуск каждой нагрузки осуществляется нажатием кнопки на компьютере, либо смартфоне (в зависимости от выбора устройства управления). Все полученные данные мощности нагрузки подставляются в формулу 1.

Параллельно выполняется фиксация пульса в реальном масштабе времени. Зафиксированный пульс на последних секундах двух последовательных нагрузок, разделенных 5-минутным перерывом, подставляются в формулу 1. Начало снятия показателей веса и пульса синхронизируются, фиксируются метками на непрерывных графиках данных. По результатам этих 4-х измерений (W1,W2,f1,f2) вычисляется PWC170. Далее на основании полученного значения, компьютер (или другое устройство) делает выводы о физическом состоянии пациента на основании табличных данных метода.

3 4. Заключение

В данной статье описано устройство диагностики двигательной активности, которое использует автоматизированный метод PWC170. Также для увели-

чения точности диагностики, можно применить несколько методов диагностики одновременно (который используют значения пульса или мощности нагрузки, например проба Руфье-Диксона).

Данное устройство может поддерживать архивирование данных, соответственно, можно наблюдать за динамикой изменений физической активности пациента.

Также, можно создать базу данных пользователей, на основании начальной, нулевой массы тела и архива данных.

Данное устройство можно усовершенствовать, разграничив выходной сигнал с каждого чувствительного элемента. В результате чего, можно будет получать значения силы упора каждой ноги, в каждый момент времени и на основании выходного графика делать выводы о прогрессе, либо регрессе отдельных мышечных групп.

Список литературы

1. Холтеровское мониторирование ЭКГ: возможности, трудности, ошибки / под ред. А.Л. Сыркина. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. – 192 с.

2. Анатомия физических упражнений / М.Б. Ингерлейб. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2009, - 187 с.

3. Интегральная оценка донозологического адаптивного состояния индивида с помощью классических и компьютерных технологий: учебное пособие для студентов вузов / авт.-сост. Ю.С.Мясников, А.П.Спицин, В.А. Оборин. – Киров: Изд-во ВятГГУ, 2010.- 155с.

Генерация ключей с использованием генетического алгоритма для шифрования изображений

Поздин В.Н.[a], Хохлов М.Г.[b], Куклин В.В.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[a,c]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E–mail: usr00324@vyatsu.ru[a], khokhlovmikha@gmail.com[b], usr00786@vyatsu.ru[c]

Аннотация: Криптография необходима для защиты информации, поскольку важность безопасности растет с каждым днем с появлением онлайн–обработки транзакций и электронной коммерции. Генетические алгоритмы – это класс алгоритмов оптимизации. Они могут быть использованы для решения различных задач путем моделирования упрощенной версии генетических процессов. В этой статье предложен метод, основанный на генетическом алгоритме, который используется для генерации ключа с помощью генератора случайных. Генерация ключей будет проходить через ряд процессов, а основными критериями для выбора последовательности чисел, использующейся в качестве ключа, будет значение функции приспособленности. AES или Rijndael – симметричным алгоритмом шифрования ключа, использующийся для шифрования изображения. Дополнив AES генетическим алгоритмом, проверим как изменится результат шифрования и дешифрования изображений.

Ключевые слова: криптография, генератор случайных чисел; AES.

Введение. Секретность данных стала важной проблемой в приложениях передачи мультимедийных данных. Для защиты ценной информации от несанкционированного доступа используются различные типы криптографических схем. Криптография используется для преобразования исходных данных в нечитаемый формат. Для шифрования и дешифрования используются ключи. Существует два типа криптографических схем, основанных на использовании ключа.

В симметричной криптографии ключ используется для шифрования и дешифрования. Симметричная криптография ключей является одним из наиболее важных типов криптографии, в которых ключ разделяется между обеими сторонами. Симметричная криптография используется для шифрования данных с высокой производительности. Например, AES, IDEA, DES и т. д.

В асимметричной криптографии используются два разных ключа, где ключ для шифрования называется открытым ключом, а другой для дешифрова-

ния называется закрытым ключом. Например, RSA, протокол Диффи – Хеллмана.

Применение генетических алгоритмов (ГА) в криптографии изучено слабо, однако наработки в данной области уже имеются. Было предложено только несколько криптографических схем на основе генетических алгоритмов. Kumar [Kumar, с. 7] описывает шифрование с помощью оператора кроссинговера и генератора псевдослучайных чисел. M. K. Ghose [Ghose,с. 11] расширил работу и использовал мутацию после шифрования. Tragha [Tragha, с. 8, Tragha, с. 13] описал новый подход симметричного блочного шифрования под названием ICIGA (улучшенная криптография с использованием генетических алгоритмов), где ключ сеанса генерируется в случайном процессе. A. Agarwal [Agarwal, с. 6] применила ГА в алгоритме шифрования с использованием секретного ключа.

Sonya Goyat [Goyat, с. 4] в своих исследованиях доказывает, что если качество случайности чисел, полученных ГА, является хорошим, тогда сгенерированный ключ будет сильным. Случайность выборки проверялась коэффициентом корреляции. F.Ahamad [Ahamad, с. 3050] предложил модель, которая использует ГА для генерации псевдослучайных чисел. Процесс шифрования следует за работой оператора кроссинговера и мутации. Он использует понятие меметических алгоритмов и псевдослучайную двоичную последовательность. В процедуре генерации ключей используются девять параметров линейных конгруэнтных генераторов. K. Nitin [Nitin, с.10] использует концепции мозговых волн, генетических алгоритмов и псевдослучайных двоичных последовательностей. Эта методология шифрования данных является очень надежной, но сложна в реализации и медлительна.

Постановка цели и задач исследования. Целью исследования является проверка работы и криптостойкости алгоритма шифрования AES при внедрении ГА в процесс генерации ключа.

Таким образом, в ходе экспериментального исследования необходимо решить две задачи:

1. Внедрить генетический алгоритм в блочный шифр Rijndael.

2. Проверить его работу на примере шифрования и дешифрования цифровых изображений.

Разработка алгоритма. Характеристики, определяющие силу ключа, не поддаются количественной оценке, но для оценки и сравнения криптографического алгоритма могут использоваться матрицы.

Атаки, которые могут быть выполнены, чтобы проверить силу алгоритма – это атака грубой силой и дифференциальный криптоанализ. Параметры, используемые для оценки влияния этих атак, основаны на длине ключа и сложности алгоритма, из которого генерируется ключ. Ключ можно сделать сложным, увеличив сложность процесса генерации. В этой статье генератор случайных чисел используется для генерации ключа, а генетический алгоритм используется для того, чтобы сделать ключ более сложным. Какой ключ должен быть выбран, полностью зависит от значения функции приспособленности.

Случайное число – это число, генерируемое таким образом, что оно не может быть предсказано и которое трудно воспроизвести последовательно и надежно. Генераторы псевдослучайных чисел (ГПСЧ) используются для генерации последовательности чисел, которая аппроксимирует свойства случайных чисел. ГПСЧ используют за их скорость в генерации чисел.

Генетический алгоритм – это рандомизированный метод поиска и оптимизации, основанный на принципе естественных селекционных систем. Тремя основными операторами, используемыми в генетических алгоритмах, являются: селекция, кроссинговер и мутацию. ГА повторяет эти операции до тех пор, пока не будет достигнут желаемый результат.

Селекция – это количественный подход, при котором хромосомы из популяций выбираются для воспроизведения на основе значения пригодности хромосом.

Кроссинговер – это операции, в которой отбирается несколько хромосом (как правило две), а пара новых хромосом создается путем обмена одного или нескольких генов в этих хромосомах. На рисунке 1 показана схема работы одноточечного кроссинговера.

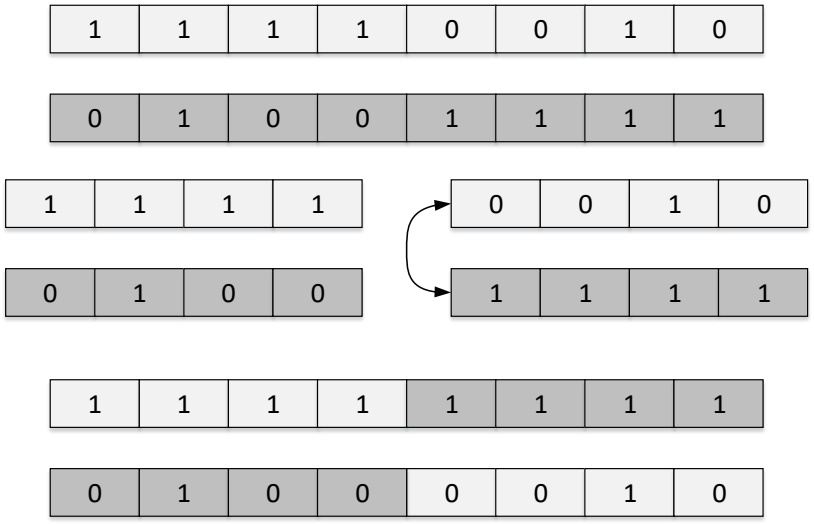


Рисунок 1. Кроссинговер

Мутация используется для сохранения генетического разнообразия от поколения к поколению. Это похоже на биологическую мутацию. Один из видов мутации – это инверсия бит в строке. При этом 0 заменяется на 1, а 1 на 0.

Базовая модель работы ГА показана на рисунке 2.

В приведенном выше примере процесс начинается с начальной популяции. Из первоначальной популяции особи, которые имеют максимальную пригодность, выбираются для дальнейшего процесса. Значение пригодности рассчитывается из функции пригодности. Выбранная популяция использует кроссинговер и мутацию для генерации потомков.

AES – симметричный блочный шифр. Это означает, что он использует один и тот же ключ для шифрования и дешифрования. Алгоритм основан на принципе Rijndael, который позволяет использовать различные размеры блоков и ключей. Блок и ключ могут выбираться независимо, иметь размер 128, 160, 192, 224, 256 бит и не обязательно должны быть одинаковыми. Ряд параметров AES зависит от длины ключа. Например, если используется размер ключа 128, число раундов равно 10, тогда как для 192 и 256 бит12 и 14 раундов соответственно. В настоящее время наиболее распространенным размером ключа, который может быть использован, является 128–битный ключ.

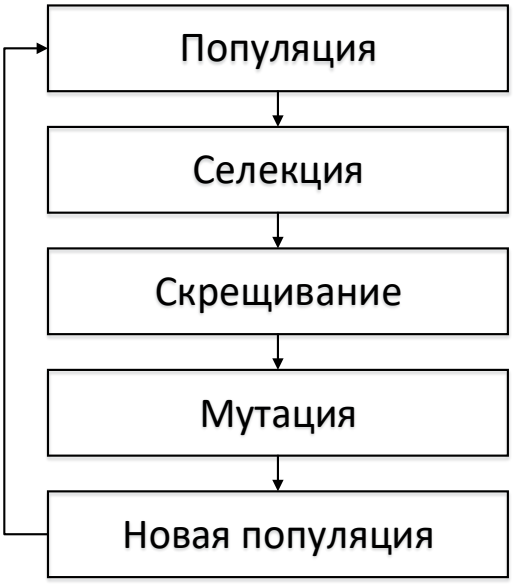


Рисунок 2. Базовая модель генетического алгоритма

Алгоритм начинается с этапа добавления раунда, за которым следуют 9 раундов из четырех этапов и десятый раунд из трех этапов. Это применяется как для шифрования, так и для дешифрования, за исключением того, что каждый этап цикла алгоритма дешифрования является обратным для его аналога в алгоритме шифрования. Четыре этапа:

1) Заменить байты
2) Сдвинуть строки
3) Смешать столбцы
4) Добавить ключ

Десятый раунд просто исключает шаг смешивания столбцов.

Начальная популяция хромосом находится в шестнадцатеричном, которое составляет 128 бит. Здесь генерируется «n» число особей. Для всех особей вычисляется функция приспособленности. Эта функция является функцией максимума, что означает, что особь, которая имеет максимальное значение приспособленности, выбирается для дальнейшего процесса. После этого выбирается пара наиболее приспособленных особей. Выполняется одноточечный кроссинговер. После выполнения кроссинговера получаем потомство выбранных особей. Теперь снова функция пригодности вычисляется для потомков, и если их значение лучше, чем у родителя, то родители заменяются на потомков. Теперь результат предыдущего шага будет работать как вход операции мутации. После

мутации получаем ключ, который будет использоваться для процесса шифрования. Весь процесс схематически показан на рисунке 3.

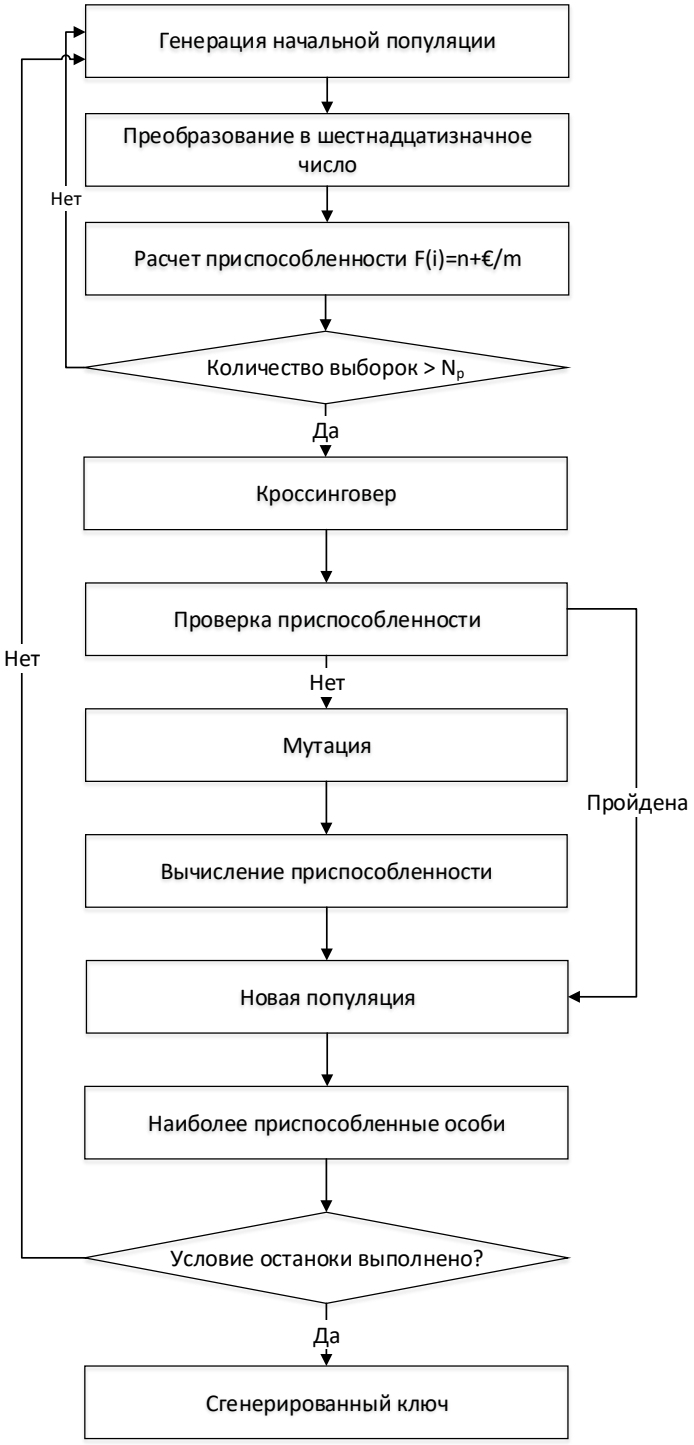


Рисунок 3. Схема работы ГА

Процесс генерации случайных чисел на основе генетического алгоритма имеет следующие шаги:

Начальное поколение населения– генерация случайных чисел в десятичном числе генерируется 128–битовыми начальными популяциями хромосом.

Конверсия–полученное значение преобразуется в шестнадцатизначное число.

Расчет пригодности– рассчитывается значение пригодности каждого индивидуума. Функция пригодности выражена как:

$$F = n + \left(\frac{€}{m}\right), \text{где}$$

F– Функция приспособленности,

n– общее количество символов, используемых при формировании ключа,

m–процент максимального символа,

€–идеальный процент каждого символа.

Результаты исследований. Работа выполнена и проанализирована. Реализация выполнена в программном пакетеMATLAB. Вычислено среднее значение функции приспособленности на разных раундах, рассчитано стандартное отклонение. Построен график среднего отклонения. Работа была протестирована на 500 итераций с 10 раундами и по 15 прогонов каждая.

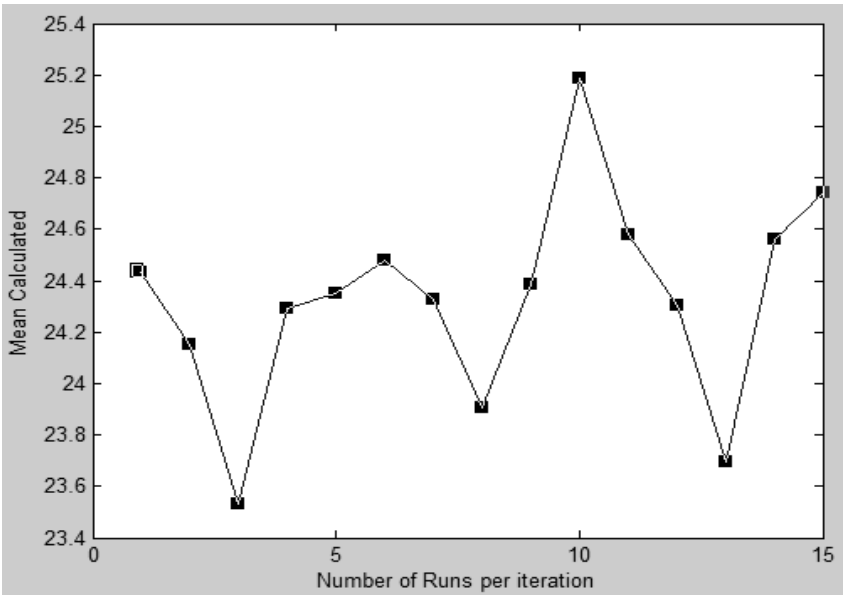


Рисунок 4. Среднее отклонение

Шифрование и дешифрование также были выполнены с использованием алгоритма AES. Рисунки 5 и 6 демонстрируют результаты работы алгоритма шифрования и дешифрования. Для наглядности выбрано два изображения. Одно изображение цветное, а другое черно-белое.

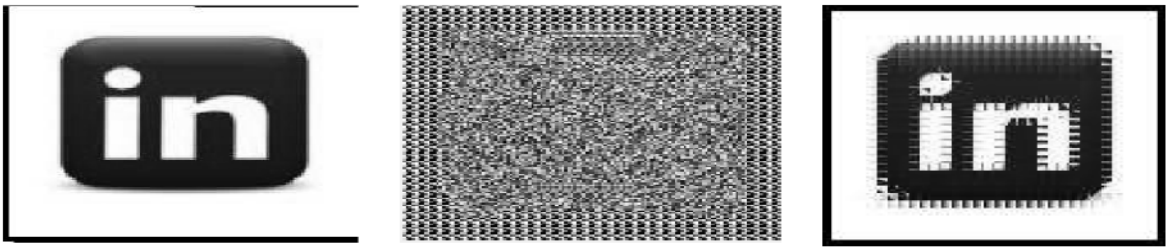


Рисунок 5. Применение алгоритма к цветному изображению

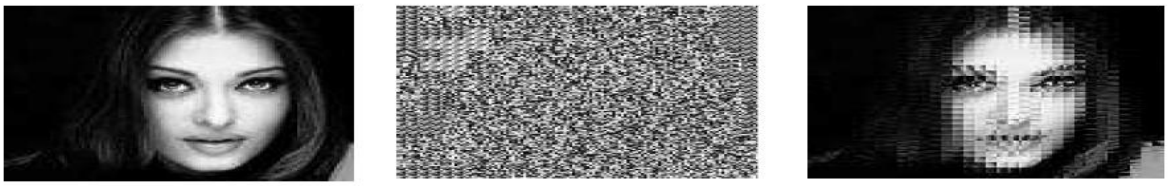


Рисунок 6. Применение алгоритма к черно-белому изображению

Заключение. В результате выполнения исследовательской работы был внедрен генетический алгоритм в блочный шифр Rijndael. Длина ключа составляет 128 бит. Данный алгоритм будет работать и для ключей большей длины. Работа алгоритма проверена на примере шифрования и дешифрования цветных и черно-белых цифровых изображений. Шифрование и дешифрование выполняются. Зашифрованное изображение расшифровать без ключа не представляется возможным. При расшифровке некоторые данные теряются, изображение приобретает эффект мозаики.

Список литературы

1. Application of Genetic Algorithm in the Field of Steganography / A. Kumaret al. // Journal of Information Technology, Jul.2004. URL : http://www.sciepub.com/reference/108193 (дата обращения 05.01.2018)
2. Information Security using Genetic Algorithm and Chaos / M. K. Ghose et al. // Journal of Information Technology, 07Dec 2009. URL : http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19393550903327558?journalCode=uiss20 (дата обращения 05.01.2018)
3. An Extension of Evolutionary Ciphering System/ F. Traghaet al/// International Conference on Hybrid Information Technology, 9–11 Nov.2006. URL : http://ieeexplore.ieee.org/document/4021109/(дата обращения 06.01.2018)
4. ICIGA:Improved Cryptography Inspired by Genetic Algorithms / F. Tragha et al. // International Conference on Hybrid Information Technology,9–11 Nov.2006. URL : http://ieeexplore.ieee.org/document/4021112/ (дата обращения 06.01.2018)
5. Secret Key Encryption Algorithm Using Genetic Algorithm / A. Agarwal// IJARCSSE,21–23Sept2012. URL :

http://ijarcsse.com/Before_August_2017/docs/papers/April2012/Volume_2_issue_4/V2I40078.pdf(дата обращения 07.01.2018)

6. Genetic Key Generation For Public Key Cryptography / S.Goyat // International Journal of Soft Computing and Engineering, July 2012. URL : https://www.techrepublic.com/resource–library/whitepapers/genetic–key–generation–for–public–key–cryptography/(дата обращения 08.01.2018)

7. Encrypting Data Using The Features of Memetic Algorithm and Cryptography / F.Ahamad// International Journal of Engineering Research and Applications, May–Jun 2012. URL : https://pdfs.semanticscholar.org/9545/ec270ca5eef2925e4c3577077c2a9cae15be.pdf (дата обращения 09.01.2018)

8. A New Approach for Data Encryption Using Genetic Algorithms and Brain Mu Waves / K. Nitin // International Journal of Scientific and Engineering Research, May–2011. URL : https://www.ijser.org/researchpaper/A_New_Approach_For_Data_Encryption_Using_Genetic_Algorithms_And_Brain_Mu_Waves.pdf (дата обращения 09.01.2018)

Взаимосвязь технологии панельного домостроения и архитектуры

Полевщиков А.С.[a], Елькина Л.В.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства[a]
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: polevshikov@vyatsu.ru[a], arh_yelkina@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В статье рассматриваются основные принципы, формирующие основы проектирования современного массового жилища для большинства населения России. Рассмотрена специфика многоэтажного жилища, выбранного в качестве объекта исследования. Выявлены и представлены основные характеристики массового строительства. Также затрагивается одна из важнейших проблем современного массового жилища – возможность создания индивидуальной объёмно-планировочной структуры. В заключительной части статьи приводятся возможные пути решения сформулированных проблем, где персонализированная функциональность объёмно-планировочной структуры выражена через свободную планировку. Традиционное архитектурное проектирование жилища в социальном плане рассматривается как материально-пространственная интерпретация реального устройства и потребностей людей. Современная ситуация в сфере науки и в практике позволяет утверждать, что требуется разработка и теоретическое обоснование принципиально нового понимания процесса и метода архитектурного проектирования.

Ключевые слова: эстетика жилища, архитектурные решения, массовое жилище.

Проблема эстетического уровня массового индустриального жилища приобрела особую актуальность в связи со значительным ростом объемов строительства. Заметно усилилось градостроительное значение жилой застройки, что повлияло на облик многих городов. В результате обнажилось несовершенство эстетической стороны архитектуры жилища. Возникла задача повышения эстетического уровня массового жилища, устранения невыразительности и однообразия застройки. Вместе с тем имеется задача по совершенствованию технологий изготовления конструкций и конструктивных элементов, в первую очередь панелей наружных стен, что в коечном итоге должно привести к снижению стоимости конечного продукта.

Современное массовое строительство зданий и сооружений должно осуществляться как строительная система, разработанная на основе комплексного

решения архитектурных, конструктивных и технологических вопросов [Полевщиков, с.715]. Любая строительная система в процессе своего применения проходит две стадии: стадию вариантного изменения и стадию коренного совершенствования. У нас в стране архитектурно-конструктивная часть системы представлена сериями полносборных (крупнопанельных или каркасных) зданий. На изменение серий влияют требования архитектурного разнообразия, предъявляемые как на уровне регионов и определяемые экономическими, национальными, климатическими и другими условиями строительства, так и на уровне отдельных кварталов и даже зданий. Социальные, строительные, климатические и национальные требования строительства меняются сравнительно редко (каждые 10-20 лет) и практически приводят к изменению строительных систем.

Улучшение архитектурно-планировочных решений зданий и повышение уровня комфорта жилища вызывают изменение номенклатуры выпускаемых деталей, увеличение их ассортимента и количества, улучшение качества применяемых строительных материалов и инженерного оборудования. Таким образом, улучшение качества жилища при изменении социальных условий приводит к частичному или полному изменению строительной системы и имеет тенденцию к увеличению стоимости строительства [Шпетер, с.30]. Поэтому изменение строительной системы в подобных случаях должно сопровождаться совершенствованием конструкций, технологии заводского и строительного производства с тем, чтобы компенсировать, насколько это возможно, удорожание строительства.

В области технологии заводского и строительного производства это достигается путем сокращения трудовых затрат и капитальных вложений, а также применения более эффективных технологических процессов и оборудования с использованием новых материалов.

Следовательно, изменение серии зданий при улучшении социальных условий приводит к коренному изменению строительной системы, к перестройке заводской и строительной базы, к большим дополнительным капитальным

вложениям. При этом возводят новые и реконструируют действующие домостроительные предприятия, изменяют строительные машины, увеличивают грузоподъемность кранов, транспорта и т. д.

Правомерно поставить такую задачу перед создателями архитектурно-конструктивной части системы, чтобы улучшение архитектурно-планировочной части (в полном объеме) и конструкций (в минимальном объеме) решалось с учетом номенклатуры деталей, уже освоенной в производстве и строительстве. В этом случае не требуется реконструкция заводов. Перевод их на новые по архитектурно-планировочным решениям дома проходит без нарушения ритма работы производственной базы.

Могут возникнуть опасения, что в предлагаемом решении на 10-20 лет замораживается технический прогресс в строительной системе. Однако это не совсем так. При сохранении технологических процессов и оборудования могут быть осуществлены мероприятия по интенсификации строительного и заводского производства. Они проводятся путем совершенствования технологии и оборудования в таких рамках, которые не приводят к их реконструкции, остановке производства и строительства или к снижению мощности. Эти мероприятия могут быть выполнены либо во время работы предприятия, либо в выходные дни и т.п.

Еще одним фактором, влияющим на изменение строительных систем жилых и гражданских зданий, является требование архитектурного разнообразия отдельных застраиваемых районов кварталов и в особых случаях даже отдельных зданий.

Оно решается разнообразием градостроительных приемов, изменением набора применяемых элементов серии (домов, блок-секций и т. д.), изменением фасадной отделки и набора малотиражных архитектурных деталей, элементов внешнего благоустройства.

Разнообразие застройки районов достигается также сооружением зданий, выполненных на основе индивидуальных проектов, в том числе с применением ограниченного количества немассовых, индивидуальных деталей.

Сроки строительства одного района застройщиком средней мощности составляют примерно от одного до трех лет. Время действия модификации серий может быть определено примерно также в один - три года. В течение этого периода для создания застройки, отвечающей современным градостроительным и эстетическим требованиям, домостроительные предприятия должны выпускать не два-три типа жилых домов, как это характерно для многих заводов, а широкий набор блок-секций, позволяющий компоновать дома различной конфигурации, протяженности и этажности.

Решение задачи обеспечения архитектурного разнообразия и художественной выразительности микрорайонов и жилых районов должно быть заложено в строительную систему.

Особое место займут мероприятия по обеспечению на будущих предприятиях гибкой технологии и организации домостроительного производства [Рубаненко, с.75]. Гибкая технология обеспечивает изготовление вариантной продукции в заданных пределах на домостроительном предприятии без снижения мощности и остановки производства, а также без существенных затрат.

Такая организация производства решает задачу обеспечения заданной мощности (в $м^2$ изделий) при наименьших затратах, оперируя тремя факторами: переналадкой форм, раскладкой изделий в формах, порядком подачи форм на технологический поток. Переналадка повышает эффективность использования форм и сокращает их количество; за счет оптимизации раскладок изделий достигается наибольший коэффициент заполнения форм; правильное регулирование очередности подачи и переналадок форм обеспечивает комплектный выпуск деталей.

На заводах с гибкой технологией производства унифицируют и типизируют только те параметры продукции и производства, которые не связаны с функциональным назначением и архитектурным обликом зданий и которые длительное время и в достаточно широких пределах могут оставаться постоянными. Кроме того, должна быть обеспечена возможность вариантной от-

делки изделий, включая варианты цветовых и фактурных решений фасадов, а также возможность изготовления достаточного ассортимента малотиражных изделий и архитектурных деталей.

Первая группа малотиражных деталей - это конструкции основных элементов зданий. Такие детали можно изготовлять на конвейерах и технологических линиях в переналаживаемых формах для выпуска массовых деталей.

Вторая группа малотиражных деталей - это архитектурные детали зданий. К ним относятся элементы входов, парапетные панели, ограждения балконов, декоративные вставки, солнцезащитные экраны и другие элементы, необходимые для повышения художественной выразительности зданий.

Третья группа малотиражных изделий - это элементы внешнего благоустройства: скамьи, подпорные стенки, элементы детских игровых комплексов, элементы зон отдыха и т.д. Элементы внешнего благоустройства обеспечивают завершенность застройки кварталов. Проектирование элементов внешнего благоустройства должны вести те же авторские коллективы, которые проектируют новые кварталы и отдельные здания. Изготовление этих элементов также целесообразно организовать на той же производственной базе, где изготавливают элементы зданий, т.е. на домостроительных заводах и домостроительных комбинатах.

Ввиду того, что элементы внешнего благоустройства по характеру применяемых материалов и отделки достаточно близки к архитектурным деталям зданий, целесообразно вторую и третью группы малотиражных деталей изготовлять на одном участке производства. Следовательно, проектирование этих деталей в рабочих чертежах будет осуществляться при разработке проектов застройки конкретных районов.

Поэтому модификация серии при изменении объектов строительства (района, микрорайона) решается строительной системой в рамках заложенных в нее возможностей.

Таким образом, при создании новой серии домов требуется обеспечить выпуск широкой номенклатуры блок-секций с разнообразным решением фаса-

дов, элементов внешнего благоустройства при высоком качестве изделий, хороших технико-экономических показателях работы предприятия и высоких санитарно-гигиенических условиях труда.

Изделия широкой номенклатуры выпускают благодаря гибкой технологии организации производства путем применения групповых переналаживаемых форм, оснащения технологических формовочных линий постами переналадки с механизированными и автоматизированными складами сменных элементов оснастки, а также применения автоматизированных систем для управления выпуском продукции на каждой технологической линии, включая порядок замены форм на линии и их переналадки.

Несмотря на сложность и многоплановость градостроительных и архитектурных задач, решаемых в процессе строительства зданий, проектные технико-экономические показатели его во многом превышают аналогичные показатели лучших предприятий страны.

Дальнейшее совершенствование современной технологии полносборного домостроения путем внедрения гибкой технологии производства, кооперирования и специализации домостроительных предприятий, компоновки прогрессивных технологических линий с учетом местных условий, дифференциации этих линий для изготовления массовой и нестандартной продукции будет способствовать повышению эстетических достоинств жилых районов и комплексов, возводимых с применением полносборных жилых зданий.

Список литературы

1. Взаимосвязь развития архитектуры и строительных конструкций / А.С. Полевщиков // Общество, наука, инновации. НПК - 2016: научное издание: всероссийская ежегодная научно-практическая конференция: НПК-2016, 18-29 апреля 2016 г. Киров, 2016. С. 715-723.

2. Шпетер А.К. Реальность и будущее крупнопанельного строительства в Сибири // Жилищное строительство. 2012. №4. С. 29-32

3. Эстетика массового индустриального жилища / под ред. Б.Р. Рубаненко. М.: Стройиздат, 1984. 208 с.

Многоквартирные дома: вопросы утепления фасадов

Полевщиков А.С.[a], Елькина Л.В.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства[a]
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: polevshikov@vyatsu.ru[a], arh_yelkina@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В настоящее время дополнительная теплоизоляция фасадов является популярным способом наружной отделки зданий и эффективным способом повышения энергосбережения. В статье рассмотрены теплотехнические и технологические качества различных фасадных систем. Представлен сравнительный анализ системы вентилируемого фасада и «мокрого фасада». Рассмотрены основные достоинства и недостатки различных конструкций фасадов. Проанализированы основные воздействия, которым подвергаются элементы фасадов в процессе эксплуатации в указанных системах. Определены оптимальные критерии выбора теплоизоляционных материалов по показателям их свойств. Предлагаются варианты решений для дополнительной теплоизоляции находящихся в эксплуатации зданий и сооружений. Сделаны соответствующие выводы и рекомендации по применению различных вариантов внешней отделки зданий и применения различных конструкций и технологий для теплоизоляции ограждающих конструкций.

Ключевые слова: теплоизоляция, вентилируемый фасад, «мокрый фасад».

В советское время о теплоизоляции зданий никто не задумывался. Если в помещении было жарко – открывали форточку. В 70-х годах прошлого столетия в мире начался энергетический кризис: цены на нефть поднялись в несколько раз. Естественно, это отразилось и на СССР: ученые занялись разработкой экономических мероприятий в государственном масштабе. В числе многих регламентирующих документов были разработаны СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» и СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология». Эти документы определяли требования к параметрам и характеристикам теплоизоляции.

Уже к концу прошлого столетия эти параметры пришлось ужесточить, так требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось почти в три раза. Затем вступил в действие СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», стала понятна неэффективность моностены. Простое увеличение толщины стены,

например, с «двух с половиной кирпичной» до «трех кирпичной» (с 640 до 770 мм) дает увеличение тепловой эффективности всего на 5-8%. Добиться соответствия современным требованиям можно при толщине стены 1,5-3.0 м, что экономически и технически нерационально [Гагарин, с.42]. И этот факт не зависит от материала стены – кирпича, бетона, керамзитобетона, бутового камня и даже дерева.

Современные многоквартирные дома возводятся в соответствии с теплотехническими требованиями. Как известно, примерно 50% теплопотерь приходится на стены, а стоимость теплоносителей достаточно велика, утепление многоквартирного дома – необходимость. Дом, построенный в России до середины 90-х потребляет 120-130 Вт·ч/кв.м., а современный дом с соблюдением требований СНиП 23-02-2003 потребляет 70-75Вт·ч/кв.м.[2].

После введения закона № 261-ФЗ об энергосбережении, большое количество существующих зданий перестали удовлетворять требованиям теплозащиты, появилась необходимость в реконструкции таких зданий. Утеплять наружные стены можно как **с внутренней, так и с наружной стороны.**

При внутреннем утеплении**,** решая задачу энергосбережения, можно получить и отрицательный результат. Ошибка в монтаже и расчетах приведет к смещению точки росы внутрь дома, что спровоцирует намокание утеплителя и фасадной стены. В результате чего – плесень и сырость в квартире, снижение теплоизоляционных качеств утеплителя и долговечности наружных стен постройки. Есть и другие минусы внутреннего утепления:

- полезная площадь комнаты уменьшается;
- для предотвращения конденсации влаги необходимо проводить достаточно сложные работы;
- возникает необходимость устройства очень мощной вентиляционной системы;
- происходит очень быстрое охлаждение стеновых поверхностей;
- нельзя жить в комнате в период выполнения работ по утеплению;

• не удается избегать промерзания стен, так как они не могут нагреваться от внутреннего тепла.

Плюсы внутреннего утепления квартир в многоквартирных зданиях:

• значительно более быстрое нагревание стеновых поверхностей;

• работы по внутреннему утеплению разрешается выполнить параллельно с работами по ремонту;

• не требуется привлечения бригад с альпинистами, что позволяет выполнить работы самостоятельно;

• иногда внутреннее утепление – это единственный вариант сделать квартиру более теплой, если из-за исторической ценности запрещается изменять внешний вид фасада.

Преимущества наружного утепления фасада многоквартирного дома:

• продлевается срок службы дома, так как слой утеплителя и декоративной отделки защищают стеновую поверхность;

• можно не оставлять квартиру на период проведения мероприятий по утеплению;

• сохраняется площадь квартиры;

• во всех помещениях сохраняется достаточно постоянная температура зимой и летом, тепло сохраняется внутри более длительный период.

Можно назвать следующие минусы наружного утепления:

• внешнее точечное утепление приносит больше вреда, чем пользы;

• произвести внешнее утепление фасада своими силами невозможно.

При внешнем утеплении изменяется и внешний облик фасада здания, что может оказаться как положительным, так и отрицательным. Если весь дом утепляется одновременно, тогда из типового многоэтажного дома можно получается оригинальный дом с необычным фасадом. Это конечно явный плюс. Но если утепление проводится жильцами фрагментарно, тогда фасад такого строения выглядит очень удручающе.

Как известно, граница утепления каждой квартиры проходит по плитам перекрытия. Точка росы в этих местах смещается резко с утеплителя внутрь

стеновой поверхности, что неизбежно приводит к конденсации и появлению плесени. Грибок в этом случае может проявиться не только в утепленной квартире – в местах стыков стены с потолком и полом – но и в квартирах, расположенных рядом. Перепад температур фасадной поверхности на соприкасающихся участках также для здания не полезно. Поэтому мы имеем проблему не только более высокой влажности, но и постепенное разрушение капитальной стены здания.

Можно назвать еще одну проблему – регулярное намокание торца теплоизоляции в его верхней части. Хотя его и стараются тщательно укрыть от осадков, но регулярное действие влаги и накапливание снежного покрова все-таки разрушает клеевое закрепление теплоизоляции и раскрывает дорогу влаге. Полная герметичность места утепления практически невозможна, так как сплошной контур теплоизоляции выполнить очень трудно.

Можно назвать два совершенно разных способа утепления фасадов многоэтажных зданий:

Первый способ это штукатурный или мокрый фасад (рис 1).

По этому способу закрепление теплоизоляционного материала происходит прямо к наружным стеновым поверхностям здания. Основа этого способа – многослойность: первоначально монтируют слой утеплителя, затем – сетка армирующая, а в завершении – штукатурка финишная [Протасевич и др., с. 8]. Этот вариант универсальный и очень надежный, но достаточно затратный и долгий – работы могут длиться более недели. Основной недостаток данной технологии – все монтажные работы выполняются исключительно при температуре выше нуля, и в ясную погоду. Срок службы этого вида фасада составит примерно 25-30 лет, при условии, что каждые 4-7 лет необходимо делать косметический ремонт.

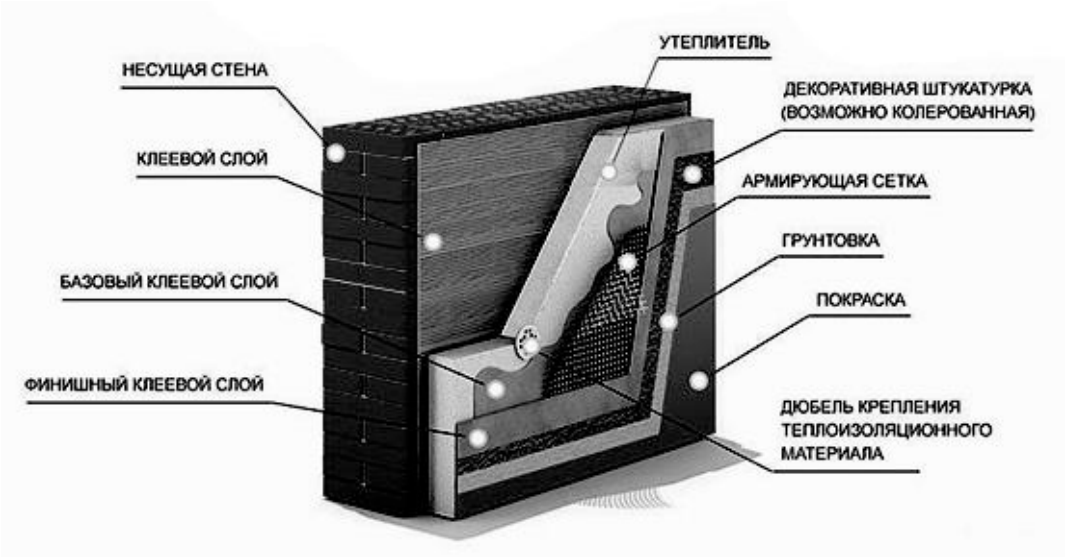


Рисунок 1. Схема «мокрого фасада» на стене

Вентилируемый или навесной фасад (рис.2) является более дорогой, но и более надежной и долговечной технологией. Навесной фасад более популярен, чем штукатурный. Порядок производства работ по утеплению следующий: вначале производится монтаж металлического каркаса, затем производится укладка утеплителя, а поверху закрепляется экран. Обязательно между утеплителем и экраном оставляется воздушный зазор. Если монтаж вентилируемого фасада выполнен правильно, то исключено накопление в фасаде влажности, а это означает, что не будет появления плесени или грибка. Значительным плюсом данной технологии можно назвать большое разнообразие вариантов оформления фасада. Фасадные экраны выполняются из алюминиевых панелей, винилового сайдинга, фасадных композитных панелей и др. Вентилируемые фасады, в отличие от мокрых, разрешается монтировать независимо от погодных условий. Скорость выполнения монтажных работ больше, чем у мокрого фасада, а срок службы может достигать 50 лет.

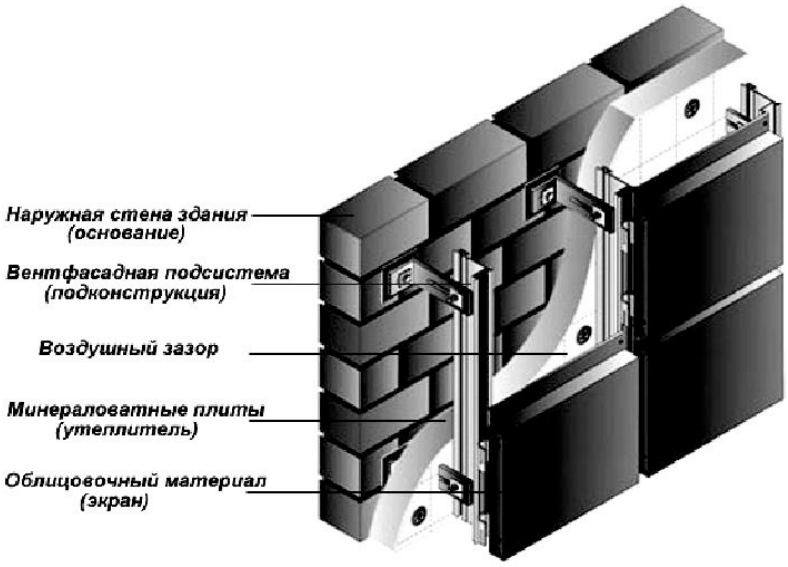


Рисунок 2. Схема фасадной системы с воздушным зазором

Таким образом, утепление наружных стен зданий, построенных без учета современных требований – необходимость. При решении вопроса об утеплении здания, необходимо принимать во внимание следующие факторы: материал, из которого построен дом; теплосопротивление стен; число этажей; возраст и прочность постройки; климат; цену стройматериалов; объем жизненного пространства; градостроительные нормы и правила. Особое внимание следует уделять точечному утеплению (например, одной квартиры).

Список литературы

1. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 41–47.

2. Утепление наружных стен жилого дома. URL: htpp://stroynedvizhka.ru/stoitelstvo-nedvighimosty/uteplenie-sten-jiloqo-doma/ (дата обращения 08.01.2018).

3. Протасевич А.М., Крутилин А.Б., Якимович Д.Д. Теплоизоляция наружных стен зданий по системе вентилируемый фасад // Жилищное строительство. 2006. № 2. С. 8–13.

Утепление фасадов: выбор материалов

Полевщиков А.С.[a], Елькина Л.В.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства[a]
старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: polevshikov@vyatsu.ru[a], arh_yelkina@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Рассмотрены теплофизические, технологические и функциональные свойства некоторых теплоизоляционных материалов с различной структурой: пеностекло, пенополистирол, пено- и газобетоны, минеральные ваты и другие. Анализ существующих конструктивных решений стен показал, что наиболее целесообразным для строительства энергоэффективных зданий являются многослойные конструкции стен. Проанализированы основные воздействия, которым подвергаются материалы в процессе эксплуатации в указанных системах. Определены оптимальные критерии выбора теплоизоляционных материалов по показателям их свойств. Предлагаются варианты решений для дополнительной теплоизоляции находящихся в эксплуатации зданий и сооружений. Даются соответствующие рекомендации по применению различных видов теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. На основании анализа авторы сделали вывод, что применение различных по свойствам и назначению теплоизоляционных материалов в строительной индустрии приемлемо и необходим.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, энергоэффективность, температурно-влажностный режим.

Современные многоквартирные дома возводятся в соответствии с теплотехническими требованиями. Как известно, примерно 50% теплопотерь приходится на стены, а стоимость теплоносителей достаточно велика, утепление многоквартирного дома – необходимость. В соответствии с расчетами по СП 50.13330.2012. «Тепловая защита зданий» [1] наружная сплошная стена не является теплоэффективной, т.к. суммарное расчетное сопротивление теплопередаче стены, при котором в помещении будет +20 С, а на улице –20 С, невозможно получить простым набором материала.

Утепление наружных стен многоквартирных жилых зданий рассчитывается проектировщиками на стадии проекта. Вид утепления выбирается исходя из соответствия нормам проектирования: теплотехническим, противопожарным, экологической безопасности и др. [Беляев и др., с. 257]. Любой утепли-

тель должен иметь соответствие сертификату качества. Все материалы, применяемые для утепления стен, имеют следующие критерии:

1-теплопроводность**.** Этот показатель характеризует количество тепла, которое проникает через слой материала за единицу времени. Теплопроводность зависит от влажности и может иметь плавающее значение.

2-плотность утеплителя**.** Этот показатель указывает на взаимоотношение веса и объема исследуемых веществ. На плотность оказывает влияние число пор в массиве плиты. Чем больше количество пустот и меньше плотность, тем более высокие теплоизоляционные свойства материалов.

3-водопоглощение**.** Эта величина указывает, какое количество влаги может впитать и удержать в себе утеплитель. Предпочтение отдается такому материалу, у которого водопоглощение самое маленькое.

4-паропроницаемость**.** Это показатель, который определяет способность теплоизоляции пропускать пар. Плиты, имеющие хорошую паропроницаемость, могут использоваться совместно с мембранными пленками. Паронепроницаемый утеплитель необходимо обеспечить достаточной гидроизоляцией.

5-огнеупорность**.** Это свойство необходимо тем материалам, которым не требуется дополнительная внешняя отделка. Хорошая устойчивость материала к высоким температурам или действию открытого пламени выражает степень безопасности как самого здания, так и людей, проживающих в нем.

6-прочность**.** Все материалы, утепляющие стены снаружи, подвергаются большим механическим нагрузкам от ударов и давления. Качественный утеплитель выдерживает такие нагрузки без уменьшения презентабельности и потери эксплуатационных качеств.

7-теплоемкость**.** Этот показатель определяет способность вещества накапливать тепло и удерживать его заданное время. Теплоемкость необходимо принимать в расчет тогда, когда стройка объекта ведется в климатических зонах с большими перепадами температур. В разных регионах нашей страны перепады между температурой ночью и днем может составлять 50° и более.

Существующие типы утеплителей для стеновых поверхностей должны иметь сопроводительную документацию с полным описанием всех технических характеристик товара и сертификат его качества**.**

Можно выделить следующие категории утеплителей для наружных стен по материалу изготовления:

1) Органические**.** Они производятся из природного сырья, экологически безопасны и безопасны для здоровья людей. Они могут использоваться для внутренних и наружных работ, хотя они более подвержены влиянию ультрафиолета, сырости, биологическим воздействиям. Для жилых зданий органические утеплители выполняют из древесины, целлюлозы, камыша, соломы, льняного волокна, каучука, пробки и др.

2) Неорганические утеплители изготавливаются и применяются в виде различных минеральных плит, матов, рулонов и пеноматериалов (пластиковых – пенополиэтилен, пенополипропилен, пенополистирол, пенополиуретан; минеральных – пеностекло, керамзит). Для их производства применяются современные технологии переработки нефти и различных минералов: стела, базальта, мергеля. Неорганические утеплители любого типа для наружных поверхностей стен устойчивы к грибку, сырости и различной плесени. Синтетические изделия могут применяться в разных областях довольно ограниченно. Часть из них при нагревании может выделять достаточно вредные вещества. Разберем некоторые из них.

Экструдированный пенополистирол - это улучшенная разновидность пенопласта. Пенопласт составлен из большого количества спрессованных между собой шариков, а экструдированный пенополистерол является монолитной, пористой субстанцией. Этот материал изготавливается методом экструзии с дальнейшим его вспениванием. Изделия из экструдированного пенополистирола имеют следующие свойства: достаточную прочность, высокую теплоизоляцию, упругость, водонепроницаемость, гибкость, легкость, долговечность, простоту в монтаже и обработке. Экструдированный пенополистирол можно укладывать на стеновые поверхности, полы и потолки, им можно утеплять цокольные

уровни и подвалы. Этот утеплитель не подвержен гниению, на нем не может быть грибков и плесени. Поскольку плиты очень гибкие, их возможно закрепить на криволинейных стенах, но из-за гибкости пенополистирольные плиты необходимо обязательно покрывать каким-то материалом, имеющим высокую плотность [3]. Например, цементным раствором или древесно-стружечными плитами. Стыкуются плиты утеплителя без щелей, поскольку на их краях имеются специальные пазы. Это позволило создать бесшовные стыки, из-за чего отсутствуют протечки и сквозняки.

Пеностекло - один из лучших современных пенотеплоизоляторов. Пеностекло – закрыто-ячеистое вспененное стекло, состоит из замкнутых пузырьков размером 0,2-0,5мм. Его положительные характеристики: гигиеническая и экологическая безопасность; стойкость почти ко всем кислотам и парам, к щелочам; высокая степень теплоизоляции; высокая механическая прочность при легкой резке и обработке; долговечность, морозостойкость, негорючесть, легкость и многое другое. Недостаток один – сравнительная дороговизна.

Утепление зданий стекловатой. Стекловата производится в виде гибкого, мягкого рулонного материала. Он производится при достаточно высокой температуре из известняка, стеклянного боя, песчаника и соды. Стекловата выполняет очень успешно роль наружного утеплителя для стеновых поверхностей и имеет следующие положительные качества: доступна по стоимости, проста в монтаже, имеет хорошую гибкость (дает возможность утеплять трудные поверхности стен), низкий коэффициент теплопроводности, устойчива к ультрафиолету, огнеупора, легкая. Но у стекловаты есть немало недостатков, из-за которых часто производители работ не хотят работать с ней. При некачественной герметизации стекловата впитывает в себя влагу, что значительно снижает ее теплоизоляционные качества. Часто происходит поломка стеклянных волокон из-за излишнего давления на нее, что в несколько раз ухудшает эксплуатационную характеристику стекловаты. Кроме того, работа со стекловатой достаточно опасна для людей, так как она выделяет большое количество летучих фрагментов, опасных для кожи, глаз, дыхательных органов. Современное производство

стекловаты значительно улучшило ее качество, что делает возможным ее использование.

Каменная вата**.** Каменная вата производится из естественных горных пород, прошедших радиационный и химический контроль. Изделия из каменной ваты имеют структуру с крупными волокнами и с большим количеством по всему объему внутренних полостей. Производится эта вата в виде рулонов или в виде объемных матов. Маты спрессовывают и запаивают в полиэтиленовую пленку для удобства хранения, транспортировки. Внешний или внутренний каркас изготавливается из стального бруса или профиля, базальтовая вата укладывается в этот каркас. Утеплитель в обоих случаях закрывается с обеих сторон мембранными пленками. Все это необходимо для обеспечения определенного уровня паропроницаемости в зданиях, выполненных из кирпича, дерева. Положительные качества каменной ваты: низкий удельный вес, упругость и гибкость, хорошее звукопоглощение, экологическая безопасность, устойчивость к механическим воздействиям и сырости, огнеупорность, неограниченный эксплуатационный срок, большая спецификация по габаритам изделий. Но при работе с ней необходимо надевать средства защиты органов дыхания, глаз, кожного покрова. Этот материал забирает значительный объем строительного пространства, поэтому не подходит для теплоизоляции небольших помещений. Требуется достаточно много времени и финансовых затрат для выполнения прочных финишных покрытий и создания достаточно прочного каркаса.

Сэндвич-панели выполняются в виде многослойных изделий, обладающих большой прочностью, они могут противостоять значительным механическим нагрузкам. Применяются только для производства внешних работ. В качестве наполнителя обычно используют пенополиуретан. С двух сторон все плиты оклеиваются ОСП, пластиком, металлом. На краях сэндвич панелей имеются замки, обеспечивающие высокую герметичность соединений. Большой выбор цветового решения и фактур внешних слоев, различных утеплительных плит дает возможность выполнять из них разнообразные фасады.

Пробковый утеплитель. Одним из самых дорогих материалов, которые применяются для утепления внутренних поверхностей жилых помещений, можно назвать пробковый утеплитель [3]. Он изготавливается только из натурального растительного сырья. Растительное сырье разбивается на мелкие части, которые спрессовывают в объемы различной формы и размера. Пробковый утеплитель устойчив к биологическим воздействиям, прост в монтаже и обслуживании, имеет отличный внешний вид, не выделяет никаких вредных для людей веществ даже при контактах с огнем.

Изделия из эковаты. Изделия из эковаты получают путем переработки целлюлозы с добавлением антипиренов и антисептиков. Производится эковата в виде приготовленных к монтажу прессованных плит или порошка. Веществом, которое связывает все элементы, является натуральный компонент древесины — лигнин. Положительные свойства эковаты следующие: устойчива к огню и высоким температурам, отсутствует необходимость создания прочного каркаса, экологическая и гигиеническая безопасность, низкий удельный вес, хорошая воздухопроницаемость, отличная тепло и шумоизоляция. Основа метода утепления эковатой: вылетая из сопла под большим давлением, эковата заполняет собой все щели, полости, отверстия, тем самым создается монолитный слой изоляции, где отсутствует мостик холода. С обеих сторон слой утеплителя покрывается мембранными пленками.

Применение для отделки стен фасадной штукатурки. Фасадная штукатурка является отличным сочетанием утеплителя и отделки и выпускается в виде сухой смеси, в основе которой лежит цемент высокой марки. В состав смеси кроме цемента входят пластификаторы, известь, различные красители и легкие синтетические наполнители. Фасадная штукатурка имеет следующие положительные качества: достаточно большой диапазон температурной эксплуатации, малую теплопроводность, малый удельный вес - 250кг/ м³, достаточно высокую прочность после застывания, устойчивость к гниению, плесени и грибкам, красивый внешний вид здания, отсутствие необходимости в дополнительных укреплениях. Фасадную штукатурку наносить достаточно легко. Сухая смесь

разводится до консистенции густого теста водой. Такой раствор имеет хорошую адгезию и прочно прилегает к различным поверхностям, даже к керамической плитке. Затем стена закрывается небольшим (до 50мм) слоем штукатурки. Для создания отличной теплоизоляции этого будет достаточно. Под собственным весом раствор не спускается вниз, сам выравнивается и в результате создается идеально ровная поверхность стены.

Проведя анализ различных теплоизоляционных материалов, можно сделать вывод, что при выборе их совсем не обязательно ограничиваться одним видом. При работе с одной стеновой поверхностью найдется место нескольким рассмотренным типам теплоизоляции. Ленточной паклей, пеной, эковатой можно заделать труднодоступные места. При работе с кирпичными поверхностями можно применять материалы достаточно воздухопроницаемые. Для утепления железобетонных поверхностей можно использовать все виды утеплителей. Грамотное сочетание разных теплоизоляционных материалов даст нам возможность добиваться высокого качества работ.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс] :актуализир. ред. СНиП 23-02-2003 **:**Прин. 30.06.2012 ;действ. с 01.07.2012. М., 2012. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

2. Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.А. Энергоэффективность и теплозащита зданий. М.: АСВ, 2012. 400 с.

3. Утепление фасадов // Современное строительство и ремонт. 2010. № 6 (28). URL: http://www.bauen-renovieren.ru/articles/materials-technologies/1245/ (дата обращения 08.01.2018).

Анализ возможности и целесообразности автоматизации индивидуальных тепловых пунктов и их перехода на работу по пониженному температурному графику в условиях города Кирова

Попова Е. С.[a], Шемпелев А. Г.[b]
магистрант группы ТиТм-2801, кафедра теплотехники и гидравлики[a]
доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: ekaterina_popova_1993@list.ru[a], agshem@mail.ru[b]

Аннотация: В России, в частности в городе Кирове, большинство тепловых магистралей запроектированы на высокотемпературные графики сетевой воды – 150°С /70°С ,130°С/70°С, а внутренние тепловые сети потребителей – на 95°С/70°С. На сегодняшний день всё больше внимания уделяется рассмотрению понижения температурного графика в целях уменьшения тепловых потерь на теплосетях и повышения уровня качества теплоснабжения. Важно, что переход к пониженному температурному графику связан с проведением многочисленных мероприятий по комплексной автоматизации всех индивидуальных тепловых пунктов. Объектом исследования являются индивидуальные тепловые пункты в городе Кирове в условиях работы по пониженному температурному графику. Цель работы – дать технико-экономический анализ возможности и целесообразности реконструкции в части автоматизации тепловых пунктов централизованной системы теплоснабжения города Кирова при переходе на пониженный температурный график. Выполнен технико-экономический расчет, в ходе которого сравнивались две системы теплоснабжения: 1– с высокотемпературным графиком, качественное регулирование, без автоматизации индивидуального теплового пункта: внешние тепловые сети - 130ºС /70ºС, внутренняя система теплоснабжения - 95ºС /70ºС; 2 – с пониженным температурным графиком, качественно-количественное регулирование, с автоматизацией теплового пункта: внешние тепловые сети - 120ºС /40ºС, внутренняя система теплоснабжения - 80ºС /50ºС. Применение системы теплоснабжения с пониженным температурным графиком и с автоматизацией теплового пункта обеспечивает уменьшение тепловых потерь на 10 % и текущих затрат на содержание и ремонт на 8%, экономический эффект при этом составит 8 млн. руб. в год. (расчет выполнен из условия комплексной реконструкции системы теплоснабжения города Кирова).

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, качественно-количественное регулирование, автоматизированный тепловой пункт.

Введение.

Система централизованного теплоснабжения в СССР сложилась под влиянием централизованно-плановой экономики. Государством был уставлен единый температурный график 130/70°С, который отвечал оптимальному соотно-

шению затрат на топливо и на строительство новых объектов теплоэнергетики [Давыдов, с. 4].

При существующей сегодня рыночной экономике наряду с результатами научно-технического прогресса возникли предпосылки к пересмотру температурного графика сетевой воды в сторону его понижения.

При переходе с высокотемпературных графиков на пониженные сокращаются тепловые потери магистральных и квартальных сетей, при этом повышается надёжность и долговечность теплосетей за счет применения полимерных труб. Со стороны тепловых потребителей при переходе на пониженные температурные графики – улучшается качество теплоснабжения, а именно устанавливаются комфортные комнатные температуры, повышается надёжность и экономичность внутридомовой системы отопления и горячего водоснабжения [Пятин, с. 875].

Переход к пониженному температурному графику непосредственно связан с всеобщей реконструкцией систем теплоснабжения у теплового потребителя. Другими словами, необходима реконструкция не только внешнего теплоснабжения, но и проведение в обязательном порядке комплексной автоматизации систем потребления тепловой энергии.

Постановка цели и задач исследования

Целью работы является технико-экономический анализ возможности и целесообразности реконструкции в части автоматизации тепловых пунктов централизованной системы теплоснабжения при переходе на пониженный температурный график применительно к городу Кирову. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) Оценить возможность использования автоматизированных тепловых пунктов в условиях города Кирова;

2) Определить количественные и качественные показатели, характеризующие переход от стандартных высокотемпературных графиков к пониженным температурным графикам в автоматизированных индивидуальных тепловых пунктах;

Ведущий подход.

Подбор температурного графика основывается на технико-экономическом расчете, так как график определяет энергоффективность теплового источника, капитальные вложения системы теплоснабжения, такие как подбор диаметров тепловой сети и оборудования абонентских вводов, тепловые потери в тепловой сети.

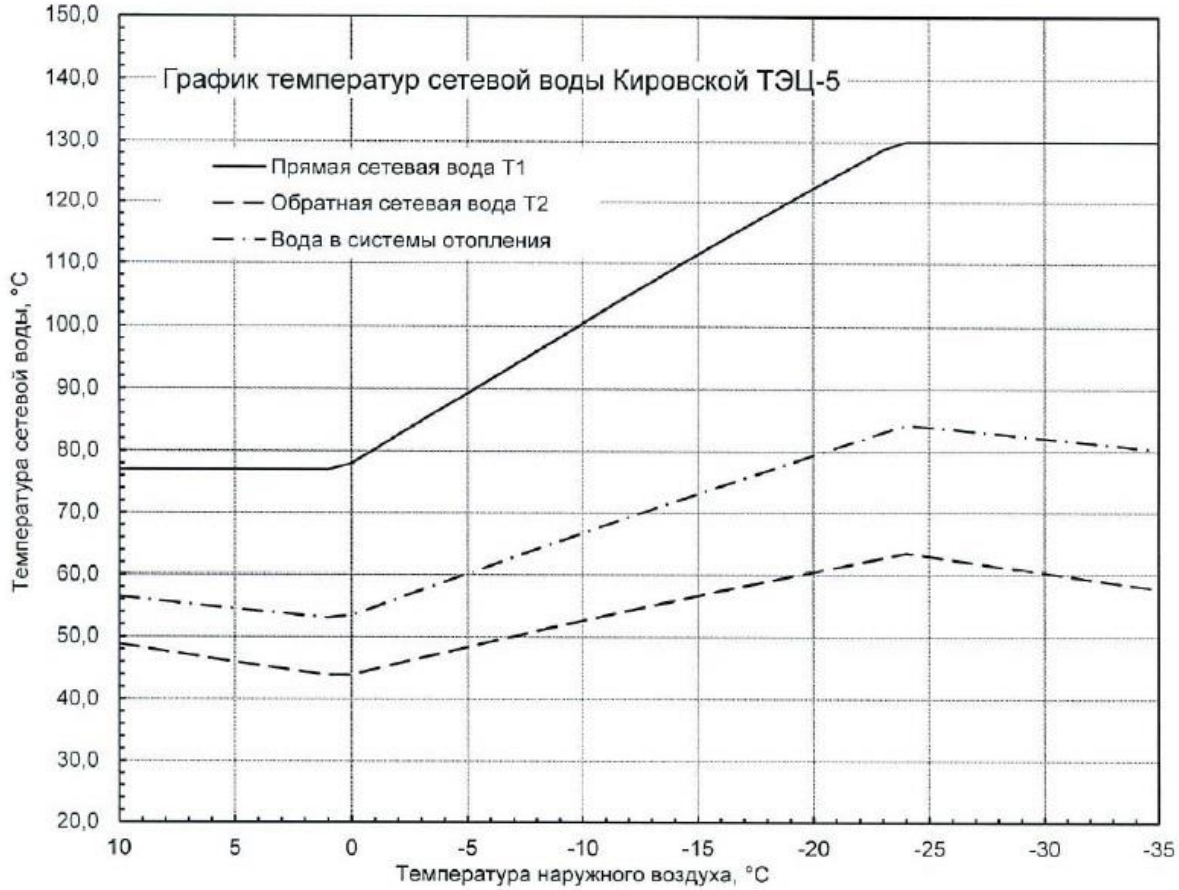


Рисунок 3. Температурный график теплосети от Кировской ТЭЦ-5

На Рис. 1 представлен отопительно-бытовой температурный график ТЭЦ-5 города Кирова с параметрами теплоносителя 130/70°С, построенный для расчетной наименьшей температуры наружного воздуха для города Кирова $t_{но}$=-33°С. При расчете температурного графика принимают начало и конец отопительного периода при температуре наружного воздуха +8 °С.

Излом температурного графика обусловлен необходимостью обеспечения потребителей с нагрузкой горячего водоснабжения водой. Температуру сетевой воды в обратной магистрали T_2 также принимают постоянной и равной темпе-

ратуре обратной сетевой воды в точке излома температурного графика, так называемое регулирование местными пропусками. В действительности такое регулирование не применяется, фактическая температура сетевой воды в обратной магистрали выше. Тем самым завышение температуры обратной сетевой воды влечет за собой уменьшение разности температур сетевой воды в подающей и обратной магистралях и приводит к перерасходу сетевой воды в тепловых сетях.

В городе Кирове применяют качественное регулирование, что обусловлено отсутствием автоматизации индивидуальных тепловых пунктов у абонентов тепловой энергии. Наиболее распространенной схемой подключения системы отопления является зависимая схема с элеваторным присоединением, которая не подразумевает применение местного регулирования тепловой нагрузки системы отопления [Соколов, с. 91]. Водяной элеватор - это нерегулируемое устройство, другими словами, элеватор рассчитан на постоянный расход сетевой воды, и при уменьшении расхода воды через него циркуляция в системе прекращается. Таким образом, при элеваторном присоединении системы отопления качественное регулирование тепловой нагрузки происходит не по текущей температуре наружного воздуха, а по средней за несколько часов. Ввиду этого, происходит медленное, инерционное изменение температуры сетевой воды у удаленных потребителей.

Несоответствие нормативных и действительных температурных графиков приводит к завышению расхода тепловой энергии в начале и конце отопительного сезона; завышению расхода электроэнергии на перекачку завышенного расхода сетевой воды.



Рисунок 4. Износ внутридомовых инженерных систем

По данным аналитики сайта «Реформа ЖКХ» износ внутридомовых инженерных систем Кировской области составляет 56% (см. Рис. 2).

В соответствии с сайтом «Реформа ЖКХ» количество жилых многоквартирных домов в городе Кирове составляет около 1000 единиц. Условно предположим, что количество жилых многоквартирных домов, не оборудованных средствами автоматизации индивидуальных тепловых пунктов, составляет 60% от общего количества домов в городе Кирове.

На Рис. 3 показана принципиальная схема реконструкции индивидуального теплового пункта с зависимой схемой подключения системы отопления через смесительный насос 21. Для типового теплового пункта выбрана закрытая схема теплоснабжения: горячая вода на нужды водоразбора готовится непосредственно в теплообменнике горячего водоснабжении; 1 и 2, схема подключения теплообменника горячего водоснабжения выполнена по смешанной двухступенчатой схеме. В тепловом пункте устанавливается: регулирующий клапан системы горячего водоснабжения 3 с электроприводом 4 для автоматического поддержания температуры горячей воды на выходе из теплообменника

1 и 2; регулирующий клапан системы отопления 27 с электроприводом 4 для автоматического регулирования температуры в подающем трубопроводе системы отопления; смесительный сдвоенный насос 21 с частотным регулированием с присоединением через него системы отопления, температура теплоносителя для системы отопления 80°С; электронный цифровой контроллер 5 для управления регулирующими клапанами систем горячего водоснабжения и отопления. Таким образом, в автоматизированном тепловом пункте качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки происходит по текущей температуре наружного воздуха при помощи датчика температуры наружного воздуха 24.

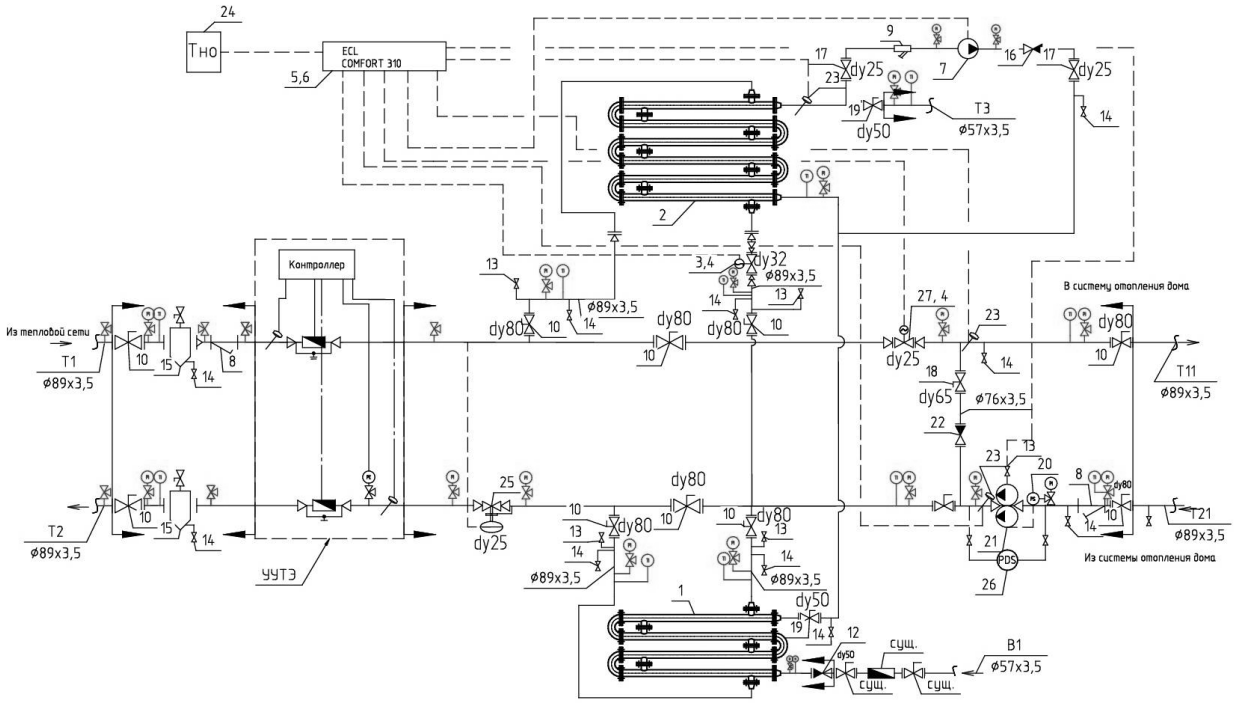


Рисунок 3. Принципиальная схема реконструкции индивидуального теплового пункта: 1-кожухотрубный секционный теплообменник горячего водоснабжения 1 ступени; 2 - кожухотрубный секционный теплообменник горячего водоснабжения 2 ступени; 3 – двухходовой регулирующий клапан горячего водоснабжения; 4 – электрический привод клапана; 5 – электронный контроллер; 6 – ключ электронного контроллера; 7 – циркуляционный насос горячего водоснабжения; 8,9 – фильтр магнитный; 10, 18, 19 – кран шаровый фланцевый; 12,16,22 – обратный клапан; 13 – воздушник автоматический; 14 – кран шаровый спускной; 15- грязевик абонентский вертикальный; 17 – кран шаровый латунный; 20 – реле давления; 21- центробежный сдвоенный насос отопления; 23 –датчик температуры погружной;

24 - датчик температуры наружного воздуха; 25 – регулятор перепада давления; 26 – реле перепада давления; 27 – двухходовой регулирующий клапан системы отопления.

Результаты исследований, их обсуждение.

Технико-экономический расчет проводился для двух систем теплоснабжения:

– первая с высокотемпературным графиком, качественное регулирование, без автоматизации индивидуального теплового пункта: первичный контур (внешние тепловые сети) - 130ºС /70ºС, вторичный контур (внутренняя система теплоснабжения) - 95ºС /70ºС

– вторая с пониженным температурным графиком, качественно-количественное регулирование, с автоматизацией теплового пункта: первичный контур - 120ºС /40ºС, вторичный контур - 80ºС /50ºС.

Выполненные технико-экономические расчеты, выполненные по методике [Давыдов, с. 170], позволили оценить суммарный экономический эффект перехода на пониженный температурный график для условий города Кирова. За счет снижения теплопотерь на магистральных и внутриквартальных теплосетях на 10% и уменьшения текущих затрат на содержание и ремонт на 8%, позволят получить экономический эффект в сумме 8 млн. руб. в год.

Определены качественные показатели, характеризующие переход от стандартных высокотемпературных графиков к пониженным температурным графикам:

1) Увеличение срока эксплуатации существующих систем теплоснабжения;

2) Сведение уровня аварийности систем теплоснабжения к минимуму;

3) Повышение качества теплоснабжения потребителей в части создания оптимальных комфортных комнатных температур, повышения надёжности и экономичности внутридомовых систем;

4) Возможность использования достижений научно-технического прогресса: применение полимерных трубопроводов, конденсационных газовых котлов, теплонасосных установок;

Заключение.

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) Рассмотрена возможность и целесообразность перехода индивидуальных тепловых пунктов и всей системы теплоснабжения города Кирова на пониженный температурный график при условии проведения мероприятий по автоматизации индивидуальных тепловых пунктов погодозависимой автоматикой. На индивидуальных тепловых пунктах применяется качественно-количественное регулировние.

2) Оптимальным температурным графиком работы источников теплоты и магистральных теплосетей является 120ºС/40ºС, для потребителей тепловой энергии – 80ºС/50ºС.

3) Выполнен технико-экономический расчет, в ходе которого сравнивались две системы теплоснабжения: 1 - с высокотемпературным графиком, качественное регулирование, без автоматизации индивидуального теплового пункта: первичный контур (внешние тепловые сети) - 130ºС /70ºС, вторичный контур (внутренняя система теплоснабжения) - 95ºС /70ºС; 2 - с пониженным температурным графиком, качественно-количественное регулирование, с автоматизацией теплового пункта: первичный контур - 120ºС /40ºС, вторичный контур - 80ºС /50ºС. Применение системы теплоснабжения с пониженным температурным графиком и с автоматизацией теплового пункта обеспечивает уменьшение тепловых потерь на 10 % и уменьшения текущих затрат на содержание и ремонт на 8%, экономический эффект при этом составит 8 млн. руб. в год (расчет выполнен из условия комплексной реконструкции системы теплоснабжения города Кирова).

Список литературы

1. Анализ практики применения пониженных температурных графиков в теплоснабжении в зарубежных странах и оценка перспектив использования в системах теплоснабжения, включающих источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, режимов с пониженными температурными графиками в целях повышения энергоэффективности и качества предоставляемых услуг по теплоснабжению: отчет о выполнении научно-исследовательской работы/ А.Н. Давыдов и др, 2014. 199 с.

2. Пятин А.А. Уравнение режимов отопления здания. Часть 2. Вывод и проверка соответствия//ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ (НПК-2015): сб. материалов конф./ВятГУ. – Киров, 2015. – С. 873–878.

3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472 с.

Математическая модель синхронного двигателя для расчета переходных процессов

Присмотров Н. И.[a], Пономарев Ю. Г.[b], Пировских Е. Н.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры электропривода
и автоматизации промышленных установок[a]
старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок[b]
старший преподаватель кафедры инженерной графики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: prismotrov@vyatsu.ru[a], ponomarev@vyatsu.ru[b], usr00917@vyatsu.ru[c]

Аннотация: В статье дана методика составления систем дифференциальных уравнений явнополюсного синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением и демпферной обмоткой с использованием двухфазной модели синхронного двигателя во вращающейся системе координат *d*–*q*, жестко связанной с ротором. Произведен выбор базовых величин и нормирование для перехода от записи уравнений в реальных переменных к их записи в относительных единицах. Приведенная структурная схема модели синхронного двигателя в относительных единицах позволяет решать задачи исследования различных режимов работы электропривода: пуск; вхождение двигателя в синхронизм; наброса и сброса нагрузки; автоматического регулирования возбуждения, обеспечивающая сопоставления результатов исследования двигателей различных мощностей и типов при расчетах с числами, близкими к единице, что особенно важно при использовании ЭВМ.

Ключевые слова: двухфазная модель, оси *d*–*q*, система дифференциальных уравнений, относительные единицы, структурная схема.

Синхронные двигатели (СД) с электромагнитным возбуждением имеют три фазных обмотки на статоре и обмотку возбуждения и демпферную (пусковую) на роторе индуктивно связанных между собой. В установившихся режимах работы СД, когда скорость вращения поля ротора постоянна и равна скорости вращения поля статора, обмотка возбуждения и демпферная обмотка влияния на режимы работы СД не оказывают, так как ЭДС в этих обмотках не наводится. В переходных режимах (пуск, вхождение в синхронизм, наброс и сброс нагрузок, регулирование возбуждения) скорости полей статора и ротора различны, поэтому в обмотках возбуждения и демпферной наводятся ЭДС, существенно влияющие на электромагнитные переходные процессы СД. Поэтому при анализе переходных процессов в СД необходимо учитывать электромагнитное взаимодействие между всеми его контурами.

При математическом описании процессов электромеханического преобразования энергии используются следующие общепринятые допущения [Иванов-Смоленский, Сипайлов, Соколовский, Машиностроение]: считается, что параметры разных обмоток одинаковы; МДС обмоток синусоидальна; не учитывается насыщение магнитопровода, потери в стали и влияние пазов.

Для упрощения математического описания процессов электромеханического преобразования энергии в СД (исключение периодических коэффициентов в выражениях взаимоиндуктивностей и потокосцеплений) используется двухфазная модель СД в осях *d–q* с взаимонеподвижными обмотками статора и ротора [Иванов-Смоленский, Сипайлов, Машиностроение]. Двухфазная модель синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением и демпферной обмоткой во вращающейся системе координат *d–q* приведена на Рис. 1.

Рисунок 1. Двухфазная модель синхронного двигателя
во вращающейся системе координат *d–q*

Для удобства расчетов параметры роторных обмоток приводят к статорным с использованием таких коэффициентов приведения для токов, напряжений и сопротивлений, при которых энергетические соотношения в электрической машине остаются без изменений. Расчетные формулы для определения приведенных к статору переменных и параметров роторных контуров даны в [Иванов-Смоленский, Сипайлов].

После приведения переменных и параметров роторных контуров к обмотке статора система уравнений СД в осях *d–q* примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned}
U_{1d} &= R_1 i_{1d} + \frac{d\psi_{1d}}{dt} - \omega_{эл}\psi_{1q};\\
U_{1q} &= R_1 i_{1q} + \frac{d\psi_{1q}}{dt} + \omega_{эл}\psi_{1d};\\
U_{в} &= R'_{в}\cdot i'_{в} + \frac{d\psi_{в}}{dt};\\
0 &= R'_{kd}\cdot i'_{kd} + \frac{d\psi'_{kd}}{dt};\\
0 &= R'_{kq}\cdot i'_{kq} + \frac{d\psi'_{kq}}{dt};\\
\psi_{1d} &= L_{1d} i_{1d} + L_{ad} i'_{в} + L_{ad} i'_{kd};\\
\psi_{1q} &= L_{1q} i_{1q} + L_{aq} i'_{kq};\\
\psi'_{в} &= L_{ad} i_{1d} + L'_{в} i'_{в} + L_{ad} i'_{kd};\\
\psi'_{kd} &= L_{ad} i_{1d} + L_{ad} i'_{b} + L_{kd} i'_{kd};\\
\psi'_{kd} &= L_{aq} i_{1q} + L'_{kq} i'_{kq};\\
M &= p_{П}\left(\psi_{1d} i_{1q} - U_{1q} i_{1d}\right);\\
M - M_c &= \frac{J_{\Sigma}}{p_{П}}\frac{d\omega_{эл}}{dt},
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $i'_{в}$, i'_{kd}, i'_{kq}, $\psi'_{в}$, ψ'_{kd}, ψ'_{kq} – приведенные к статору токи и потокосцепления роторных контуров;

R_1, R'_b, R'_{kd}, R'_{kq} – активные сопротивления фазной обмотки статора и приведенные к статору роторных контуров;

$L_{1d} = L_{ad} + L_{61}$ – полная индуктивность статора по оси *d*, равная сумме взаимной индуктивности статора по оси *d* – L_{ad} и индуктивности рассеяния статора $-L_{61}$;

$L_{1q} = L_{aq} + L_{61}$ – полная индуктивность статора по поперечной оси;

$L'_{в} = L_{ad} + L'_{6в}$; $L'_{kd} = L_{ad} + L_{kd\sigma}$; $L'_{kq} = L_{aq} + L_{kq\sigma}$ – полные индуктивности приведенных обмоток возбуждения и демпферных обмоток, равные сумме взаимной индуктивности и индуктивности рассеяния обмотки.

Обычно в каталогах и справочниках [Сипайлов, Справочник] параметры синхронных машин даются в относительных единицах. Поэтому целесообразно при математическом описании перейти к относительным единицам, т. е. нормировать уравнения, входящие в математическое описание.

Для нормирования уравнений статорной цепи используются общепринятые базовые величины [Сипайлов, Машиностроение, Справочник]: $U_{1.\delta} = U_{1н}\sqrt{2}$, $I_{1.\delta} = I_{1н}\sqrt{2}$, $\omega_\delta = \omega_{0эл.н} = 2\pi f_{1н}$, $t_\delta = 1/\omega_\delta$, $Z_\delta = U_{1.\delta}/I_{1.\delta}$, $\psi_{1\delta} = U_{1.\delta}/\omega_\delta$, $L_{1.\delta} = \psi_{1.\delta}/I_{1.\delta}$, $P_{1.\delta} = \frac{3}{2}U_{1.\delta}I_{1.\delta}$, $M_\delta = \frac{P_{1.\delta}}{\omega_\delta} = \frac{3}{2}\psi_{1.\delta}I_{1.\delta}$. Соответственно для обмотки возбуждения и демпферных обмоток: $U_{в.\delta} = \frac{3}{2}U_{1.\delta}\frac{L_{1d}}{L_{ad}}$, $I_{в.\delta} = I_{1.\delta}\frac{L_{ad}}{L_{1d}}$, $P_{в.\delta} = \frac{3}{2}U_{в.\delta}\frac{L_{1d}}{L_{ad}}$, $Z_{в.\delta} = \frac{U_{в.\delta}}{I_{в.\delta}}$, $\psi_{в.\delta} = \frac{U_{в.\delta}}{\omega_\delta}$, $I_{kd.\delta} = I_{1.\delta}\frac{L_{ad}}{L_{kd,1d}}$, $U_{kd.\delta} = \frac{3}{2}U_{1.\delta}\frac{L_{kd,1d}}{L_{ad}}$, $Z_{kd.\delta} = \frac{U_{kd.\delta}}{I_{kd,\delta}}$, $\psi_{kd.\delta} = \frac{U_{kd.\delta}}{\omega_\delta}$, $I_{kq.\delta} = I_{1.\delta}\frac{L_{aq}}{L_{kq,1q}}$, $U_{kq.\delta} = \frac{3}{2}U_{1.\delta}\frac{L_{kq,1d}}{L_{aq}}$, $\psi_{kq.\delta} = \frac{U_{kq.\delta}}{I_{kq.\delta}}$, $\psi_{kq.\delta} = \frac{U_{kq.\delta}}{\omega_\delta}$.

В системе относительных единиц относительная индуктивность равна относительному индуктивному сопротивлению:

$$L^* = \frac{L}{L_\delta} = \frac{L\omega_\delta}{L_\delta\omega_\delta} = X^*. \qquad (2)$$

Уравнения (1) являются основой для составления структурной схемы СД. Однако их реализация в данном виде затруднена, так как усложняется определение токов в контурах обмоток. Для их определения решается система уравнений потокосцеплений из (1) в относительных единицах для токов в контурах, выражения для которых примут вид:

$$\left.\begin{aligned}
i_{1d}^{*} &= \frac{\psi_{1d}^{*}}{X_{1d}'^{*}} - \frac{\psi_{в}^{*}}{X_{1d,в}'^{*}} - \frac{\psi_{1kd}^{*}}{X_{1d,kd}'^{*}};\; i_{1q}^{*} = \frac{\psi_{1q}^{*}}{X_{1q}'^{*}} - \frac{\psi_{1kq}^{*}}{X_{1q,kq}'^{*}};\\
i_{в}^{**} &= -\frac{\psi_{1d}^{*}}{X_{1d,в}'^{*}} + \frac{\psi_{в}^{*}}{X_{в}'^{*}} - \frac{\psi_{kd}^{*}}{X_{в,kd}'^{*}};\; i_{kd}^{*} = -\frac{\psi_{1d}^{*}}{X_{1d,kd}'^{*}} - \frac{\psi_{в}^{*}}{X_{в,kd}'^{*}} + \frac{\psi_{kd}^{*}}{X_{kd}'^{*}};\\
i_{kq}^{*} &= -\frac{\psi_{1q}^{*}}{X_{1q,kq}'^{*}} + \frac{\psi_{kq}^{*}}{X_{kq}'^{*}},
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где $X_{1d}'^{*} = \dfrac{D}{X_{в}^{*} \cdot X_{kd}^{*} - X_{ad}^{*2}}$; $X_{в}'^{*} = \dfrac{D}{X_{1d}^{*} \cdot X_{kd}^{*} - X_{ad}^{*2}}$; $X_{kd}'^{*} = \dfrac{D}{X_{1d}^{*} \cdot X_{в}^{*} - X_{ad}^{*2}}$;

$X_{1d,в}'^{*} = \dfrac{D}{X_{в}^{*} \cdot X_{ad}^{*} - X_{ad}^{*2}}$; $X_{1d,kd}'^{*} = \dfrac{D}{X_{в}^{*} \cdot X_{ad}^{*} - X_{ad}^{*2}}$; $X_{в,kd}'^{*} = \dfrac{D}{X_{1d}^{*} \cdot X_{ad}^{*} - X_{ad}^{*2}}$;

$X_{1q}'^{*} = \dfrac{\theta}{X_{kq}^{*}}$; $X_{kq}'^{*} = \dfrac{\theta}{X_{1q}^{*}}$; $X_{1q,kq}'^{*} = \dfrac{\theta}{X_{aq}^{*}}$;

$D = X_{1d}^{*} X_{в}^{*} X_{ad}^{*} - X_{ad}^{*2}\left(X_{1d}^{*} + X_{в}^{*} + X_{kd}^{*} + 2X_{ad}^{*3}\right)$; $\theta = X_{1q}^{*} X_{kd}^{*} - X_{aq}^{*2}$.

Угол нагрузки θ определяется через интеграл от разности мгновенных значений скоростей полей статора и ротора

$$\theta = \int_{0}^{t} \left(\omega_{0эл}^{*} - \omega_{эл}^{*}\right) dt. \qquad (4)$$

Выражение для угла в радианах через скорости в относительных единицах в операторной форме записи

$$p^{*}\theta = \omega_{0}^{*} - \omega^{*}. \qquad (5)$$

С учетом (3) система уравнений (1) в относительных единицах в удобной при применении вычислительной техники форме записи относительно производных потокосцеплений при безразмерном операторе $p^{*} = p / p_{\delta}$, где $p_{\delta} = \omega_{\delta}$, запишется в виде:

$$
\left.
\begin{aligned}
&1.\ p^*\psi^*_{1d} = U^*_{1d} - R^*_1 i^*_{1d} + \omega^*_{эл}\psi^*_{1q};\\
&2.\ p^*\psi^*_{1q} = U^*_{1q} - R^*_1 i^*_{1q} - \omega^*_{эл}\psi^*_{1d};\\
&3.\ p^*\psi^*_{в} = U^*_{в} - R^*_{в} i^*_{в};\\
&4.\ p^*\psi^*_{kd} = -R^*_{kd}\cdot i^*_{kd};\\
&5.\ p^*\psi^*_{kq} = -R^*_{kq}\cdot i^*_{kq};\\
&6.\ \psi^*_{1d} = X^*_{1d} i^*_{1d} + X^*_{ad} i^*_{в} + X^*_{ad} i^*_{kd};\\
&7.\ \psi^*_{1q} = X^*_{1q} i^*_{1q} + X^*_{aq} i^*_{kq};\\
&8.\ \psi^*_{в} = X^*_{ad} i^*_{1d} + X^*_{в} i^*_{в} + X^*_{ad} i^*_{kd};\\
&9.\ \psi^*_{kd} = X^*_{ad} i^*_{1d} + X^*_{ad} i^*_{в} + X^*_{kd} i^*_{kd};\\
&10.\ \psi^*_{kq} = X^*_{aq} i^*_{1q} + X^*_{kq} i^*_{kq};\\
&11.\ i^*_{1d} = K_1\psi^*_{1d} - K_4\psi^*_{в} - K_5\psi^*_{kd};\\
&12.\ i^*_{1q} = K_2\psi^*_{1q} - K_6\psi^*_{kq};\\
&13.\ i^*_{в} = -K_4\psi^*_{1d} + K_3\psi^*_{в} - K_7\psi^*_{kd};\\
&14.\ i^*_{kd} = -K_5\psi^*_{1d} - K_7\psi^*_{в} + K_8\psi^*_{kd};\\
&15.\ i^*_{kq} = -K_6\psi^*_{1q} + K_9\psi^*_{kq};\\
&16.\ M^* = \frac{2}{3}\left(\psi^*_{1d} i^*_{1q} - \psi^*_{1q} i^*_{1d}\right);\\
&17.\ M^* M^*_c = T_м p^*\omega^*,
\end{aligned}
\right\} \qquad (6)
$$

где $K_1 = 1/X'^*_{1a}$; $K_2 = 1/X'^*_{1q}$; $K_3 = 1/X'^*_{в}$; $K_4 = 1/X'^*_{1d,в}$; $K_5 = 1/X'^*_{1d,kd}$; $K_6 = 1/X'^*_{1q,kq}$; $K_7 = 1/X'^*_{в,kd}$; $K_8 = 1/X'^*_{kq}$; $K_9 = 1/X'^*_{kq}$.

Структурная схема СД представлена на Рис. 2. Модель СД на Рис. 2 позволяет решать задачи исследования различных режимов работы электропривода с СД: асинхронный пуск, вхождение в синхронизм, наброс и сброс нагрузки, автоматическое регулирование возбуждения.

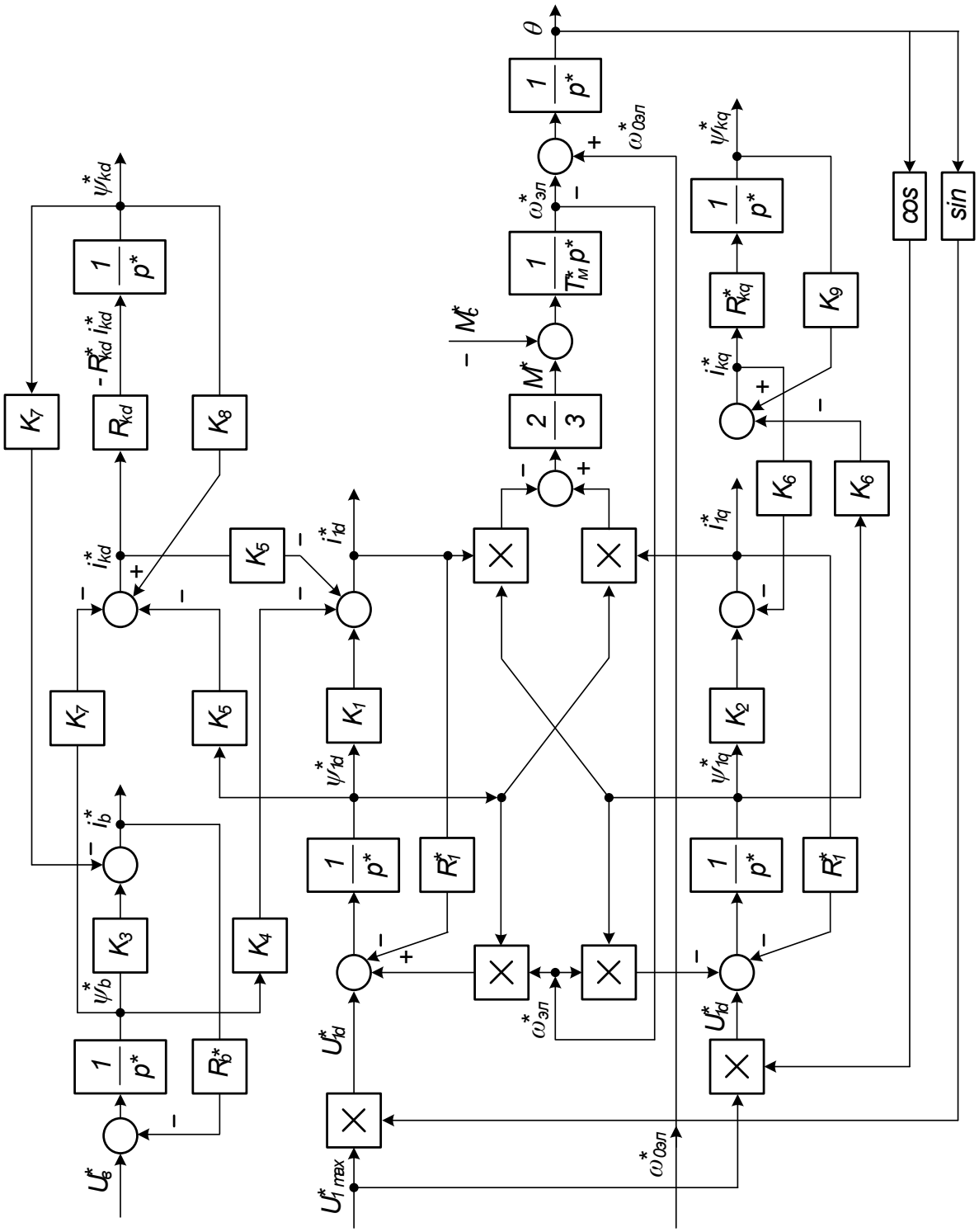


Рисунок 2. Структурная схема синхронного двигателя с демпферной обмоткой и обмоткой возбуждения

Список литературы

1. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины : учеб. для вузов. В 2-х т. М. : Энергия, 1980. 928 с.

2. Сипайлов Г. А., Кононенко Е. В., Хорьков К. А. Электрические машины (специальный курс). М. : Высшая школа, 1987. 287 с.

3. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2007. 272 с.

4. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М. : Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2. Кн. 1 / Л. Б. Масандилов, Ю. Н. Сергиевский, С. К. Козырев и др. ; под общ. ред. Л. Б. Масандилова, 2012. 520 с.: ил.

5. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. М. : Энергоатомиздат, 1983. 616 с.

Влияние сил вязкого трения на рабочие характеристики вибрационных машин

Присмотров Н.И.[a], Сластихин Н.С.[b], Ишутинов Д.В.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и АПУ[a]
старший преподаватель кафедры электропривода и АПУ[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: prismotrov@vyatsu.ru[a], favt_slastihin@vyatsu.ru[b], ishutinov@vyatsu.ru[c]

Аннотация: В статье рассмотрено влияние сил вязкого трения самой машины и технологической нагрузки на резонансные режимы вибрационных машин с силовым возбуждением колебаний. Рассмотрены особенности влияния сил вязкого трения на динамические режимы работы. Приводится математическое описание движения машин и их нормированная структура. Полученные выражения передаточных функций и амплитудно-частотных характеристик обеспечивают анализ работы вибрационных машин в резонансных режимах и определения имеющих место при этом амплитуд колебаний перемещения и скорости их рабочего органа машины и упругой силы для анализа динамических нагрузок элементов ее конструкции. Приведены зависимости коэффициентов усиления по амплитудам выходных переменных для различных коэффициентов демпфирования вибрационной машины и технологической нагрузки.

Ключевые слова: вынуждающая сила, резонанс, нормирование, передаточная функция, амплитудно-частотная характеристика.

В современной технике широко используются вибрационные машины (ВМ). Эффективность работы ВМ в значительной мере определяется интенсивностью колебаний ее рабочего органа (РО). Амплитуды колебаний достигают своих максимальных значений при совпадении частот вынуждающего воздействия Ω и собственной частоты Ω_{01} колебательной системы, т. е. при $\Omega = \Omega_{01}$. Данный режим работы ВМ называется резонансом, а ВМ, работающая в этом режиме – резонансной машиной [Динамика машин и управления машинами].

В колебательной системе, находящейся в резонансном состоянии, инерционные и упругие силы взаимно уравновешиваются и энергия возбудителя колебаний расходуется только на преодоление диссипативных сил. Рассмотрим особенности влияния сил вязкого трения на динамические режимы работы ВМ.

Расчетная схема ВМ с силовым возбуждением при нагрузке типа вязкого трения самой машины и технологической нагрузки приведена на Рис. 1.

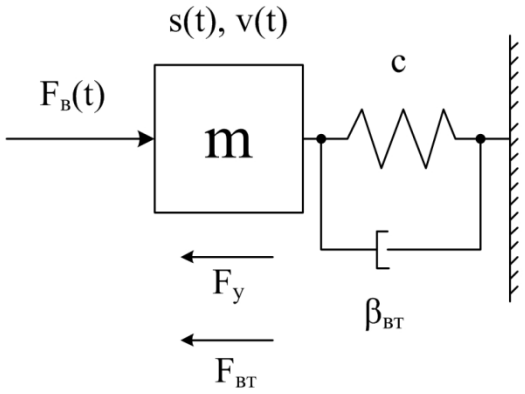


Рисунок 1. Расчетная схема вибрационной машины с силовым возбуждением при учете сил вязкого трения

Система уравнений описывающих движение ВМ запишется в виде

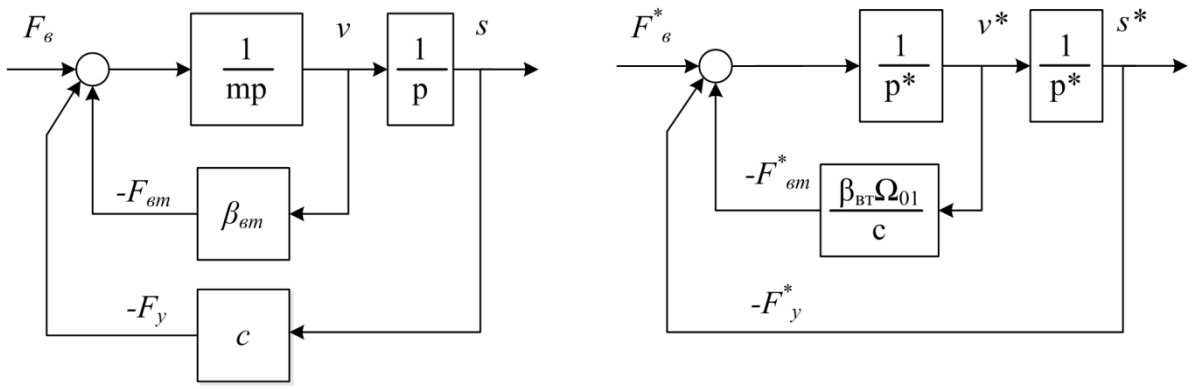
$$\left.\begin{aligned} &F_в = F_y + F_{вт} = m \cdot \frac{dv}{dt};\\ &F_y = c \cdot s; F_{вт} = \beta_{вт} \cdot v;\\ &v = \frac{ds}{dt}. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $F_в = F_{вт} \cdot sin\Omega t$ – гармоническая вынуждающая сила возбудителя колебаний; $F_y = c \cdot s$ – упругая сила; $F_{вт} = \beta_{вт} \cdot v$ – сила вязкого трения; m – масса рабочего органа ВМ; s, v – перемещение и скорость рабочего органа; c – жесткость упругой связи; $\beta_{вт}$ – коэффициент вязкого трения.

Положив в (1) $d/dt = p$, получим систему уравнений движения ВМ в операторной форме записи

$$\left.\begin{aligned} &F_в - F_y - F_{вт} = m \cdot v \cdot p;\\ &F_y = c \cdot s;\\ &v = s \cdot p. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Системе уравнений (2) соответствует структурная схема, приведенная на Рис. 2 *а*.



а) б)

Рисунок 2. Структурные схемы вибрационной машины с силовым возбудителем в исходной системе единиц (а) и относительной системе единиц (б)

При введении системы относительных безразмерных величин

$$F^* = F/F_б\,;\; S^* = S/S_б\,;\; v^* = v/v_б\,;\; \tau = t/t_б\,;\; p^* = p/p_б \qquad (3)$$

и приравняв в качестве базовых $F_б = F_{вт}$, где $\Omega_{01} = \sqrt{c/m}$, $s_б = F_{вт}/c$, $v_б = \dfrac{F_{вт}}{c}\cdot\Omega_{01}$, $t_б = 1/\Omega_{01}$, $p_б = \Omega_{01}$ – собственная резонансная частота колебаний массы m. С учетом (3) уравнения движения ВМ (2) при их записи в относительных единицах примут вид

$$\left.\begin{aligned} &F^*_в - F_y^* - F_{вт}^* = p^*\cdot v^*;\\ &F^*_y = s^*;\; F^*_{вт} = \frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\cdot v^*\\ &v^* = p\cdot s^*. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

В соответствии с (4) нормированная структурная схема ВМ приведена на Рис. 2 *б*.

Нормированная структурная схема позволяет получить выражения передаточных функций по вынуждающей силе $F_в^*(p)$ для входных переменных $s^*(p^*)$, $v^*(p^*)$ и $F_y^*(p^*)$, которые позволяют оценить влияние сил вязкого и сухого трения на переменные s, v, F_y в соответствующих режимах работы ВМ.

При оценке влияния сил вязкого трения на динамические режимы ВМ получим в соответствии с нормированной структурной схемой (рис. 2 *б*) выра-

жение передаточных функций по вынуждающей силе $F_в^*(p^*)$ выходных переменных$s^*(p^*)$, $v^*(p^*)$ и $F_y^*(p^*)$.

$$W_{S^*}\left(p^*\right)=\frac{s^*\left(p^*\right)}{F_в^*\left(p^*\right)}=\frac{1}{p^{*2}+\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\cdot p^*+1}; \tag{5}$$

$$W_{v^*}\left(p^*\right)=\frac{v^*\left(p^*\right)}{F_в^*\left(p^*\right)}=\frac{p^*}{p^{*2}+\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\cdot p^*+1}; \tag{6}$$

$$W_{F_y^*}\left(p^*\right)=\frac{F_y^*\left(p^*\right)}{F_в^*\left(p^*\right)}=\frac{1}{p^{*2}+\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\cdot p^*+1}. \tag{7}$$

Характеристическое уравнение, характеризующее общие динамические свойства, определяется знаменателем передаточных функций

$$p^{*2}+\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\cdot p^*+1. \tag{8}$$

Корни характеристического уравнения

$$p_{1,2}^*=-\frac{1}{2}\cdot\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{c}\pm\sqrt{\left(\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{2\cdot c}\right)^2-1}=\alpha^*\pm j\Omega^*{}_p, \tag{9}$$

где $\alpha^*=\frac{\beta_{вт}\cdot\Omega_{01}}{2\cdot c}=\frac{1}{2}\cdot\beta_{вт}\cdot\sqrt{1/m\cdot c}$ – безразмерный коэффициент демпфирования, обусловленный вязким трением; $\Omega_p^*=\sqrt{1-\alpha^*}$ – резонансная частота.

Тогда с учетом принятого безразмерного коэффициента демпфирования α^* нормированная структурная схема ВМ будет соответствовать Рис. 3, а характеристическое уравнение (8) примет вид:

$$p^{*2}+2\cdot\alpha\cdot p^*-1. \tag{10}$$

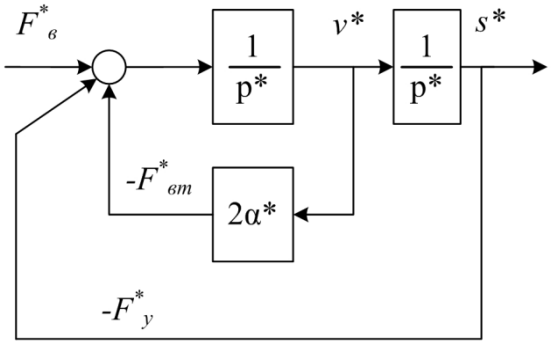


Рисунок 3. Нормированная структурная схема вибрационной машины

Амплитуды колебаний выходных величин $s_m{}^*$, $v_m{}^*$, $F_{y.m}{}^*$ можно оценить с помощью амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) получаемых подстановкой в (5, 6, 7) $p^* = j\Omega^*$.

Соответствующие выражения АЧХ ВМ для выходных переменных s^*, v^*, $F_y{}^*$ примут вид

$$A_{S^*}(\Omega^*) = \frac{s^*_m}{F^*_{в.\mathrm{m}}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\Omega^{*2}\right)^2 + \left(2\cdot\alpha^*\cdot\Omega^*\right)^2}}; \tag{11}$$

$$A_{v^*}(\Omega^*) = \frac{v^*_m}{F^*_{в.\mathrm{m}}} = \frac{\Omega^*}{\sqrt{\left(1+\Omega^{*2}\right)^2 + \left(2\cdot\alpha^*\cdot\Omega^*\right)^2}}; \tag{12}$$

$$A_{F_y{}^*}(\Omega^*) = \frac{F^*_{y.\mathrm{m}}}{F^*_{в.\mathrm{m}}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1+\Omega^{*2}\right)^2 + \left(2\cdot\alpha^*\cdot\Omega^*\right)^2}}; \tag{13}$$

На Рис. 4 приведены АЧХ ВМ для различных коэффициентов демпфирования, рассчитанные для выходной переменной $s_m{}^*$ при воздействии возбуждающей силы $F_{в.т}(\Omega^*)$ по формуле (11).

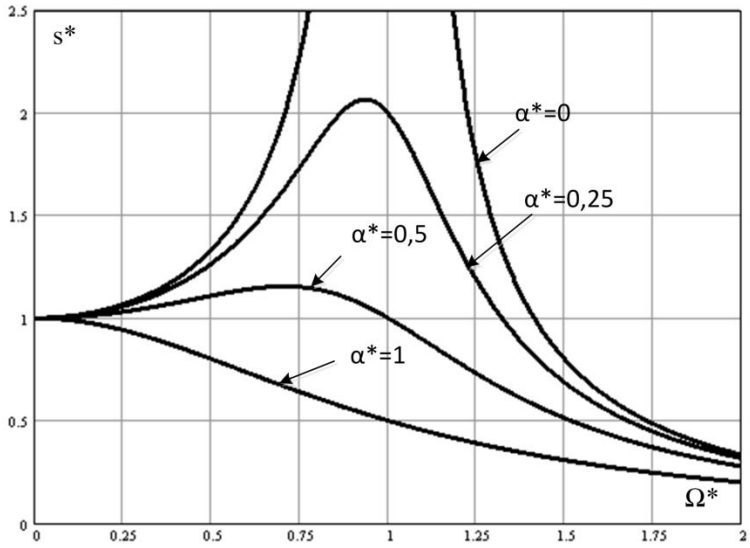


Рисунок 4. АЧХ вибрационной машины при различных коэффициентах демпфирования

Для характеристики процесса затухания колебаний используется логарифмический декремент затухания [Динамика машин и управления машинами, Ключев], представляющий собой отношение двух последовательных амплитуд колебаний

$$\delta = ln\left(A_n / A_{n+1}\right),$$

δ и α связаны между собой соотношением

$$\delta = \frac{2\pi\alpha^*}{\Omega_p^*} = \frac{2\pi\alpha^*}{\sqrt{1-\alpha^{*2}}},$$

отсюда

$$\alpha^* = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}}. \qquad (14)$$

По данным технической литературы [Ключев, Бессекерский] величина логарифмического декремента затухания, обусловленная силами внутреннего демпфирования, оценивается значениями δ = 0,1...0,3, что соответствует значениям безразмерного коэффициента демпфирования α^*= 0,016…0,048.

Для одномассовой модели ВМ величину резонансных значений амплитуд колебаний с учетом того, что при $\Omega_p \approx \Omega_{01}$ и данном α^*, можно приближенно оценить соотношениями

$$s_m^{*p} = \frac{F_{в.т}^*}{2\alpha^*};\ v_m^{*p} = \frac{F_{в.т}^*}{2\alpha^*};\ F_{у.т}^{*p} = \frac{F_{в.т}^*}{2\alpha^*}. \qquad (15)$$

Следовательно колебания в зоне резонанса могут усиливаться при данных значениях δ = 0,1...0,3 в 10…30 раз.

При сочетании параметров, когда характеристическое уравнение имеет комплексно-сопряженные корни, ВМ представляет собой колебательное звено с коэффициентом затухания $\xi \le 1$ [Бессекерский, Состояние и перспективы развития теории электромеханических систем с упругими связями].

Учитывая обозначения коэффициентов передаточной функции колебательного звена принятые в теории автоматического управления [Состояние и перспективы развития теории электромеханических систем с упругими связями]

$$W_{S^*}(p^*) = \frac{1}{p^{*2} + 2\alpha^* p^* + 1} = \frac{1}{T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1}. \qquad (16)$$

С помощью (16) установим связь между параметрами ВМ и обобщенного колебательного звена: $T_1 = 1$; $2\xi = 2\alpha^*$; $\xi = \alpha^*$.

Комплексно сопряженным корням соответствует коэффициент демпфирования

$$\xi = \alpha^* \le 1.$$

При $\alpha^* = 0{,}71$ в АЧХ ВМ проявляется резонансный пик, быстро возрастающий при уменьшении α^*.

С учетом сказанного при $\alpha^* = 0{,}71$ в резонансных режимах ВМ, когда $\Omega_p = 1$ и член $(1 - \Omega_p^{*2})$ в подкоренных выражениях обращается в нуль и подстановке $\Omega_p^* = \sqrt{1 - \alpha^{*2}}$ выражения АЧХ (11, 12, 13) приводятся к виду

$$A_{S^*}^p = \frac{s_m^{*p}}{F_{в.т}^*} = \frac{1}{2\alpha^* \cdot \sqrt{1 - 2\alpha^{*2}}};\ A_{v^*}^p = \frac{v_m^{*p}}{F_{в.т}^*} = \frac{1}{2\alpha^*};\ A_{F_y^*}^p = \frac{F_{у.т}^{*p}}{F_{в.т}^*} = \frac{1}{2\alpha^* \cdot \sqrt{1 - \alpha^{*2}}}. \qquad (17)$$

На Рис. 5 приведены рассчитанные по (17) зависимости коэффициентов усиления $A^p_{S^*}$, $A^p_{v^*}$, $A^p_{F_y^*}$ для различных коэффициентов демпфирования ВМ и технологической нагрузки.

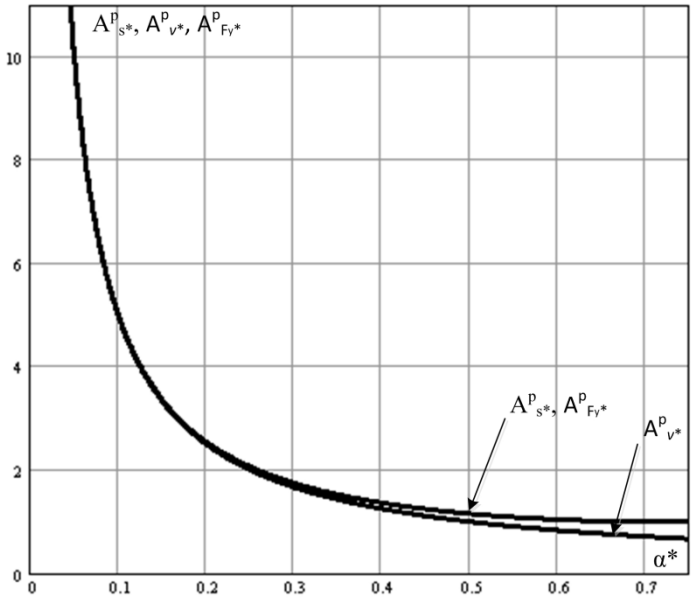


Рисунок 5. Зависимости резонансных коэффициентов усиления $A^p_{S^*}$, $A^p_{v^*}$, $A^p_{F_y^*}$

при различных коэффициентах демпфирования

Список литературы

1. Динамика машин и управления машинами / В. К. Асташов и др. М. : Машиностроение, 1988. 240 с.

2. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М. : Энергия, 1971. 320 с.

3. Бессекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М. : Наука, 1975. 768 с.

4. Состояние и перспективы развития теории электромеханических систем с упругими связями / Ключев В. И. и др. // В кн. Автоматизированный электропривод. М. : Энергия, 1980. С. 5–12.

Рабочие характеристики вибрационных машин при технологических нагрузках типа сухого трения

Присмотров Н.И.[a], Сластихин Н.С.[b], Ишутинов Д.В.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и АПУ[a]
старший преподаватель кафедры электропривода и АПУ[b,c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: prismotrov@vyatsu.ru[a], favt_slastihin@vyatsu.ru[b], ishutinov@vyatsu.ru[c]

Аннотация: При математическом описании резонансных режимов вибрационных машин с силовым возбуждением колебаний и технологической нагрузкой типа сухого трения, представляющего собой статическую однозначную нелинейность, для линеаризации уравнений использован метод гармонической линеаризации. Приводятся нормированные структуры, на основании которых получены выражения передаточных функций и амплитудно-частотных характеристик, относительно возмущающей силы, на основании которых получены аналитические выражения для расчета перемещений и скоростей рабочего органа машины. Использование при расчетах безразмерного коэффициента демпфирования и относительных единиц делает расчеты исследований сопоставимыми и универсальными, при сокращении числа параметров, с числами близкими к единице, что особенно важно при исследовании ЭВМ.

Ключевые слова: нормированная структура, нелинейность, передаточная функция, безразмерный коэффициент демпфирования, амплитудно-частотная характеристика.

При технологической нагрузке вибрационной машины (ВМ) её расчетная схема приведена на Рис. 1.

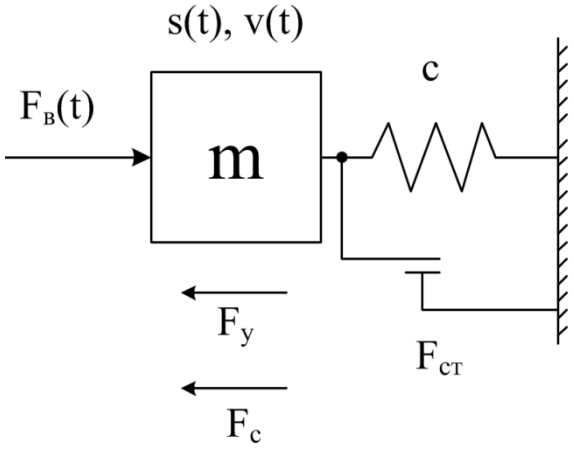


Рисунок 1. Расчетная схема вибрационной машины с силовым возбуждением при технологической нагрузке типа сухого трения

Система уравнений описывающих движение ВМ примет вид

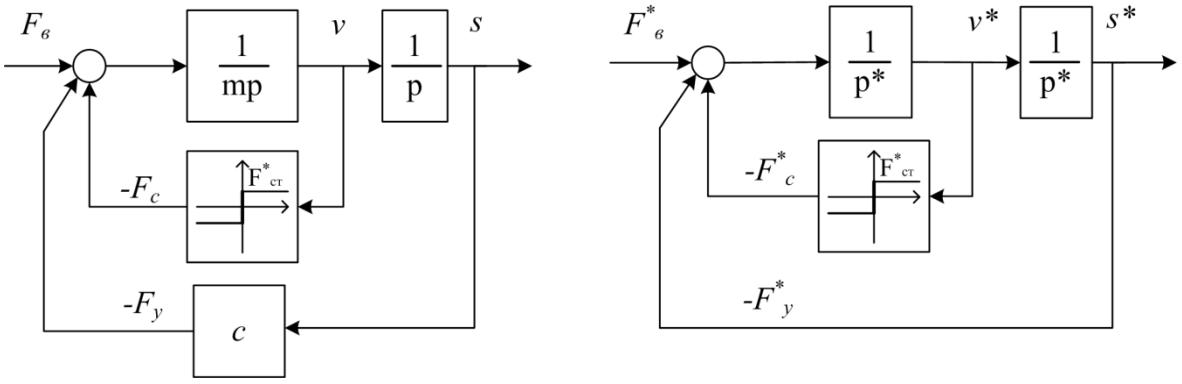
$$\left.\begin{aligned} &F_в = F_y + F_{вт} = m \cdot \frac{dv}{dt}; \\ &F_y = c \cdot s; F_c = \left|F_{cm}\right| \cdot sign(v); \\ &v = \frac{ds}{dt}. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $F_в = F_{вт} \cdot sin\Omega t$ – гармоническая вынуждающая сила возбудителя колебаний; $F_y = c \cdot s$ – упругая сила; $F_c = \left|F_{cm}\right| \cdot sign(v)$– сила сухого трения; $\left|F_{cm}\right|$ – модуль силы сухого трения; s, v – перемещение и скорость рабочего органа; m – масса рабочего органа ВМ.

При $d/dt = p$ получим систему уравнений движения ВМ в операторной форме записи

$$\left.\begin{aligned} &F_в - F_y - F_{вт} = m \cdot v \cdot p; \\ &F_y = c \cdot s;\ F_c = \left|F_{cm}\right| \cdot sign(v); \\ &v = s \cdot p. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Структурная схема, соответствующая системе уравнений (2), приведена на Рис. 2 *а*.



а) б)

Рисунок 2. Структурная схема вибрационной машины с силовым возбудителем в исходной системе единиц (а) и относительной системе единиц (б)

При введении системы относительных безразмерных величин

$$F^* = F/F_б\ ;\ s^* = s/s_б\ ;\ v^* = v/v_б\ ;\ \tau = t/t_б\ ;\ p^* = p/p_б\ , \qquad (3)$$

и приравняв в качестве базовых $F_{б} = F_{вт}$, $s_{б} = F_{вт} / c$, $v_{б} = \frac{F_{вт}}{c} \cdot \Omega_{01}$, $t_{б} = 1/\Omega_{01}$, $p_{б} = \Omega_{01}$, где $\Omega_{01} = \sqrt{c/m}$ – собственная резонансная частота колебаний массы m, с учетом (3) уравнения движения ВМ (2) в относительных единицах примут вид

$$\left.\begin{aligned} & F^{*}{}_{в} - F_{y}{}^{*} - F_{вт}{}^{*} = p^{*} \cdot v^{*}; \\ & F^{*}{}_{y} = s^{*};\ F_{c}^{*} = \left|F_{cm}^{*}\right| \cdot sign\left(v^{*}\right); \\ & v^{*} = p \cdot s^{*}. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

В соответствии с (4) нормированная структурная схема ВМ приведена на Рис. 2 *б*.

Силы сухого трения представляют собой статическую однозначную нелинейность, поэтому динамическая модель ВМ становится нелинейной. Поэтому при анализе установившихся динамических режимов ВМ с нелинейной нагрузкой сухого трения воспользуемся методом гармонической линеаризации [Попов, Бессекерский]. Нелинейную периодическую функцию $F_{cm}(t)$ на выходе нелинейного звена заменяют приближенным значением, учитывающим 1-ую гармонику и отбрасыванием высших гармоник в разложении нелинейной функции.

В результате нелинейная зависимость приводится к виду

$$F_{c} = \left|F_{cm}\right| \cdot sign(v) \rightarrow q \cdot v, \qquad (5)$$

где q – коэффициент гармонической линеаризации.

$$q = \frac{F_{cm}}{\pi \cdot v} \cdot \int_{0}^{2\pi} \left(sign(v) \cdot sin(\Omega t) \cdot d\Omega t\right) = \frac{4F_{cm}}{\pi \cdot v}. \qquad (6)$$

При переходе к относительным величинам выражение относительного коэффициента гармонической линеаризации примет вид

$$q^{*} = \frac{4F_{cm}^{*}}{\pi \cdot v^{*}}. \qquad (7)$$

Введя безразмерный коэффициент демпфирования, при сухом трении

$$\alpha^*_{cm} = \frac{2F^*_{cm}}{\pi \cdot v^*} = \frac{2F^*_{cm}}{\pi \cdot \Omega^* \cdot s^*}. \quad (8)$$

В результате нормированная структурная схема ВМ с учетом безразмерного коэффициента сил сухого трения будет соответствовать Рис. 3, а передаточные функции с учетом сухого трения по вынуждающей силе $F^*_в(p^*)$ выходных переменных $s^*(p^*)$, $v^*(p^*)$ и $F^*_y(p^*)$

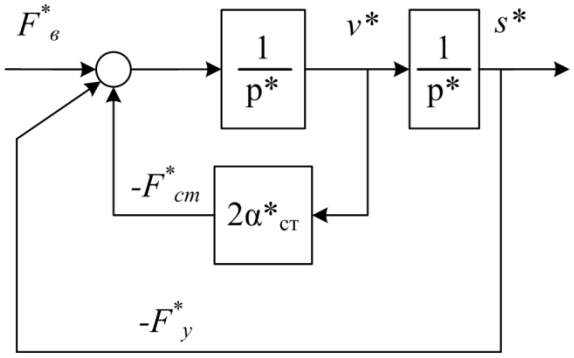


Рисунок 3. Нормированная структурная схема вибрационной машины с технологической нагрузкой типа сухого трения

$$W_{S^*}(p^*) = \frac{s^*(p^*)}{F^*_в(p^*)} = \frac{1}{p^{*2} + 2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot p^* + 1}; \quad (9)$$

$$W_{v^*}(p^*) = \frac{v^*(p^*)}{F^*_в(p^*)} = \frac{p^*}{p^{*2} + 2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot p^* + 1}; \quad (10)$$

$$W_{F_y^*}(p^*) = \frac{F_y{}^*(p^*)}{F^*_в(p^*)} = \frac{1}{p^{*2} + 2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot p^* + 1}. \quad (11)$$

Согласно (9, 10, 11) соответствующие выражения для АЧХ примут вид:

$$A_{S^*}(\Omega^*) = \frac{s^*_m}{F^*_{в.m}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \Omega^{*2}\right)^2 + \left(2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot \Omega^*\right)^2}}; \quad (12)$$

$$A_{v^*}(\Omega^*) = \frac{v^*_m}{F^*_{в.m}} = \frac{\Omega^*}{\sqrt{\left(1 - \Omega^{*2}\right)^2 + \left(2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot \Omega^*\right)^2}}; \quad (13)$$

$$A_{F_y^*}(\Omega^*) = \frac{F^*_y}{F^*_{в.m}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \Omega^{*2}\right)^2 + \left(2 \cdot \alpha^*_{cm} \cdot \Omega^*\right)^2}}. \quad (14)$$

Поскольку коэффициент демпфирования α^*_{cm} зависит от амплитуд скорости и перемещения [Базаров, Быховский], соотношения (12, 13, 14) позволяют получить аналитические выражения АЧХ соответствующих постоянству величины F_{cm}

$$A_{S^*}\left(\Omega^*\right)=\frac{s^*_m}{F^*_{в.т}}=\frac{1}{1-\Omega^{*2}}\cdot\sqrt{1-\left(\frac{4F^*_{cm}}{\pi F^*_{в.т}}\right)^2}\;; \tag{15}$$

$$A_{v^*}\left(\Omega^*\right)=\frac{v^*_m}{F^*_{в.т}}=\frac{\Omega^*}{1-\Omega^{*2}}\cdot\sqrt{1-\left(\frac{4\pi F^*_{cm}}{\pi F^*_{в.т}}\right)^2}\;; \tag{16}$$

$$A_{F_y^*}\left(\Omega^*\right)=\frac{F^*_y}{F^*_{в.т}}=\frac{1}{1-\Omega^{*2}}\cdot\sqrt{1-\left(\frac{4\pi F^*_{cm}}{\pi F^*_{в.т}}\right)^2}\;. \tag{17}$$

Чтобы решение имело физический смысл, должно выполняться неравенство

$$F^*_{cm}<F^*_{в.т}\cdot\pi/4\,. \tag{18}$$

На рис. 4 приведены зависимости амплитуд колебаний s^*, рассчитанные по соотношению

$$s^*_m=\frac{F^*_{в.т}}{1-\Omega^{*2}}\cdot\sqrt{1-\left(\frac{4F^*_{cm}}{\pi F^*_{в.т}}\right)^2}\;, \tag{19}$$

полученному из (15) для фиксированных F^*_{cm}.

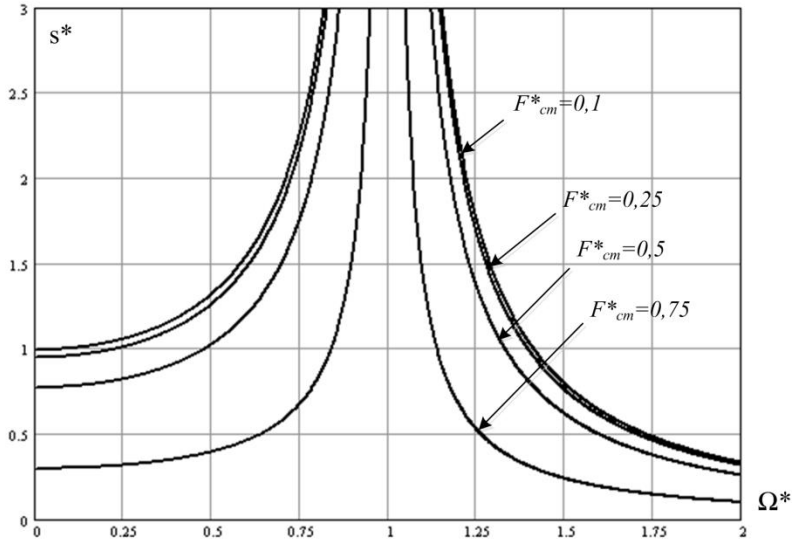


Рисунок 4. Зависимости амплитуд s^*от Ω^* при различных значениях F^*_{cm}

При значениях сухого трения, соответствующих выполнению условия (18) при $\Omega^*=1$, амплитуды колебаний $s*$ стремятся к бесконечности. Данное положение легко объяснить, рассмотрев энергию, которая рассеивается в результате наличия сил сухого трения [Состояние и перспективы развития теории электромеханических систем с упругими связями]. Эта энергия равна

$$P_{ср.ст} = \frac{2\pi F_{ст}}{\pi} \cdot v_m, \tag{20}$$

т. е. пропорциональна первой степени скорости, а не квадрату, как при вязком трении

$$P_{ср.вт} = \frac{1}{2} \cdot \beta_{вт} \cdot v_m^2. \tag{21}$$

В силу того, что поступающая от возбудителя колебаний энергия нарастает пропорционально амплитуде колебаний скорости

$$P_{ср} = \frac{1}{2} \cdot F_{в.т} \cdot v_m \cdot cos(\varphi). \tag{22}$$

При заданном неравенстве (18) соотношения между $F^*_{ст}$ и $F^*_{в.т}$ таковы, что потери энергии за счет сил сухого трения с избытком возмещается энергией поступающей от возбудителя колебаний.

Список литературы

1. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования. М. : Наука, 1979. 256 с.

2. Бессекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М. : Наука, 1975. 768 с.

3. Базаров Н. Х. Автоматика вибромашин. Ташкент : Узбекистан, 1976. 118 с.

4. Быховский Н. Н. Автоматизация резонансных вибромашин. М. : ЦНИИТЭ строймашин, 1972. 47 с.

5. Состояние и перспективы развития теории электромеханических систем с упругими связями / Ключев В. И. и др. // Электричество. 1976. № 5. С. 27–34.

Разработка и исследование алгоритма Voice Activity Detection

Пыжьянова Е.А.[a], Попова К.И.[b], Лялин С.Г.[c]
студентка группы ИТб-3302-01-00[a]
студентка группы ИТб-3302-01-00[b]
преподаватель кафедры АТ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
E-mail: lyalinstas@gmail.com[c]

Аннотация: В данной работе исследуется алгоритм обнаружения активности голоса (Voice Activity Detection) – важный метод в обработке речи и аудио, включая кодирование, распознавание, повышения разборчивости речи, и индексации аудио. Основная задача детектора активности голоса – обнаружение голоса, речи во входном акустическом сигнале.

Цель данной работы состоит в исследовании алгоритмов и разработке методов детектирования речи.

Реализованы три метода обнаружения участков речи в сигнале:

1) вычисление огибающей и сравнение с заданным порогом;
2) свёртка спектра с прямоугольным окном в виде расчёски;
3) нейросетевой классификатор.

Поступающие на вход аудиосигналы представляют собой звуковые записи с английской речью, длительностью от 3 до 7 секунд и частотой дискретизации 48000 Гц.

Достигнут показатель точности обнаружения участков речи 99% на обучающем сигнале.

Ключевые слова: речевой сигнал, огибающая, свёртка, нейронная сеть, классификатор, пространство признаков.

Задача обнаружения участков речи в речевом сигнале актуальна для систем распознавания речи и идентификации дикторов по голосу. Обнаружение участков речи является одним из первых этапов обработки речевого сигнала и позволяет существенно повысить точность распознавания речи и идентификации за счёт того, что маломощный, шумоподобный или неречевой сигнал будет отброшен и не ухудшит качество итогового решения. Класс алгоритмов решения этой задачи называется VAD – Voice Activity Detection [1].

Исследователями со всего мира предложено несколько алгоритмов, позволяющих решать эту задачу. В данной статье описаны результаты исследования 3 авторских методов.

Амплитудный детектор

Алгоритм предназначен для получения на выходе сигнала, пропорционального огибающей [2]. С математической точки зрения, огибающая кривая — это кривая, в каждой своей точке касающаяся некоторого множества (рисунок 1).

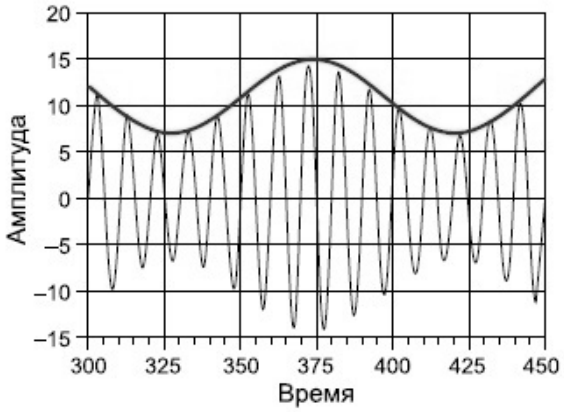


Рисунок 1. Огибающая сигнала

Реализованная функция принимает на вход отсчеты исследуемого сигнала, перед сверткой необходимо найти модуль сигнала с помощью встроенной функции: abs(x). Затем выполняется свёртка сигнала (функция convolve) с прямоугольным единичным окном (массив из единиц).

В данном методе свёртка нужна для получения огибающей сигнала. Участки сигнала, где огибающая превысила заданный порог, являются участками речи. Функция возвращает отсчёты сигнала, соответствующие участкам речи.

Свёртка спектра с прямоугольным окном в виде расчёски

На вход функции поступают отсчёты сигнала и частота дискретизации. Для последующего преобразования сигнал необходимо разбить на блоки. Затем для каждого блока сигнала выполняется преобразование Фурье.

Суть преобразования Фурье состоит в следующем: любой периодический сигнал *f(t)* можно представить в виде суммы бесконечного числа синусоидальных и косинусоидальных членов и одного постоянного члена.

В рамках обработки речевых сигналов для получения спектра используют быстрое преобразование Фурье (БПФ). В результате блоку исходного сигнала

(рисунок 2), соответсвует спектр после преобразования Фурье, изображенный на рисунке 3.

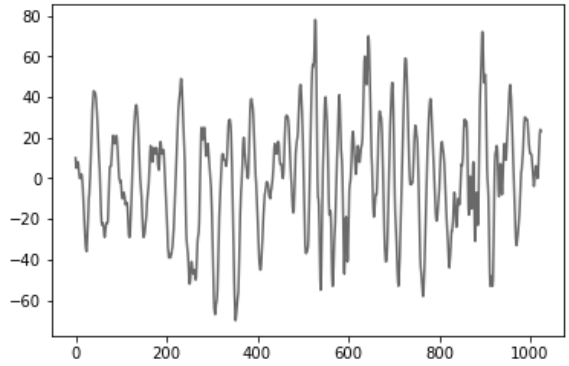


Рисунок 2. Блок исходного сигнала

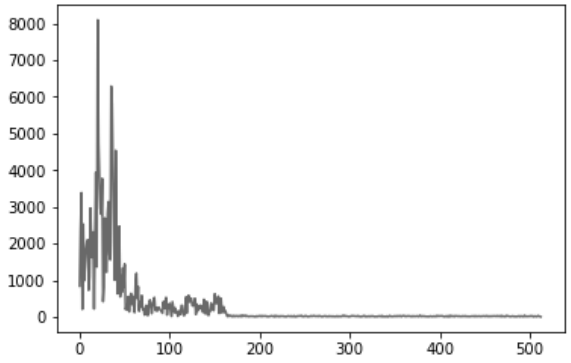


Рисунок 3. Спектр сигнала

После БПФ выполняется свертка спектра сигнала с прямоугольным сигналом (окном в виде расчески). Смысл свертки заключается в том, что, когда функцию f сворачивают с функцией g, происходит суммирование множества взвешенных на значения g смещённых копий функции f. Суть операции свёртки детально описана в [3].

Прямоугольные сигналы используются в цифровых системах для представления уровня логической «*1*» большими значениями его амплитуды и уровня логического «*0*» маленькими значениями амплитуды.

В данном методе используются прямоугольные сигналы с частотой от 50 до 150 Гц. Пример генерации прямоугольного сигнала с частотой 50 Гц (рисунок 4), и свертки этого окна с блоком исходного сигнала (рисунок 5).

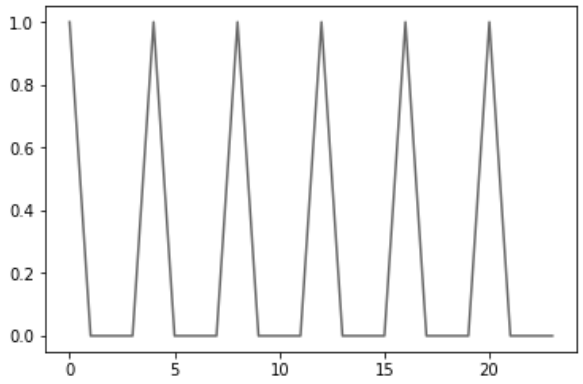


Рисунок 4. Прямоугольный сигнал

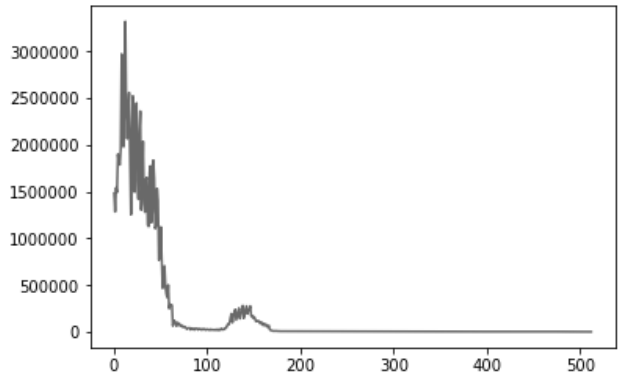


Рисунок 5. Результат свертки

Максимум на графике соответствует пикам формант сигнала.

В результате свертки получаем массив, в котором необходимо найти максимальное значение и запомнить его. Эта процедура проводится для всех сверток с меандрами на выбранных частотах. Затем необходимо найти максимальное значение свертки для исследуемого блока сигнала. Те блоки, где свёртка превысила порог, принимаем за участки речи. Функция возвращает отсчёты сигнала, соответствующие участкам речи.

Нейросетевой классификатор

При обработке входных звуковых данных получают массив сигнала. Данное множество необходимо разбить по небольшим временным промежуткам — семплам, или «окнам», движущимся вдоль исходных значений сигнала.

Для дальнейшего вычисления выхода нейронной сети необходимо составить выборку, то есть записать все множества чисел в таблицу так, что строка данной таблицы – это набор чисел каждого семпла.

Количество нейронов на входах и выходе сети заранее известно. На последнем, выходном слое один нейрон, результат на выходе которого соответствует значению распознавания сигнала.

Архитектура нейронной сети представлена на рисунке 6. Входными значениями для сети является спектр семплов речевого сигнала, полученный в результате применения БПФ к каждому семплу. Выходом сети является признак наличия речи в данном семпле: 1, если речь присутствует, 0 в противном случае.

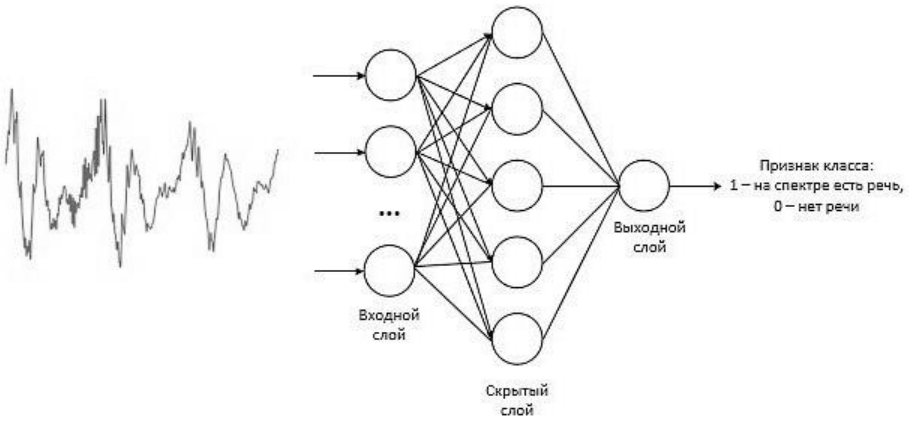


Рисунок 6. Архитектура нейронной сети

Обучение нейронной сети осуществляется последовательным представлением обучающей выборки и одновременной постройкой весов, пока точность настройки по всему множеству значений не достигнет приемлемого уровня.

Результаты

При сравнении результатов работы метод, реализующий свёртку спектра с прямоугольным окном, дает наиболее точный результат, так как амплитудный детектор имеет упрощённую реализацию, и будет принимать за участки речи любой громкий звук. При свертке с прямоугольным окном можно наиболее точно определить присутствие голосовых формант (пики на графиках), и, следовательно, участки речи в сигнале. В условиях малой выборки удалось достичь точность нейронной сети около 99%, соответственно нейронная сеть достаточно точно определяет участки речи в сигнале, правда на том же сигнале, на котором она обучалась.

На вход функций поступает сигнал (рисунок 7). Спектограмма исходного сигнала, полученная с помощью программы Adobe Audition, представлены на рисунке 8.

При использовании разработанного алгоритма получаются следующие результаты: огибающая сигнала (рисунок 9), отсчеты сигнала, соответсвующие участкам речи, по алгоритму амплитудный детектор (рисунок 10), график свертки сигнала с прямоугольным окном в виде «расчески» (рисунок 11), отсчеты сигнала, соответствующие участкам речи (рисунок 12), при использовании нейронных сетей получаются отсчеты сигнала, соответствующие участкам речи (рисунок 13).

Спектограмма сигнала после удаления тишины представлена на рисунке 14.

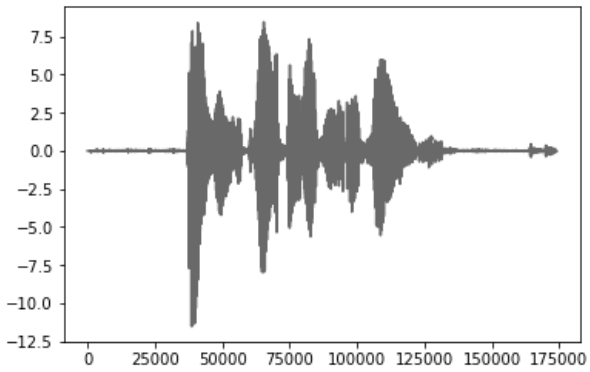


Рисунок 7. График исходного сигнала

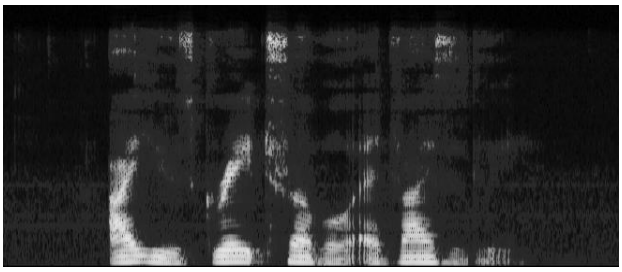


Рисунок 8. Спектрограмма сигнала

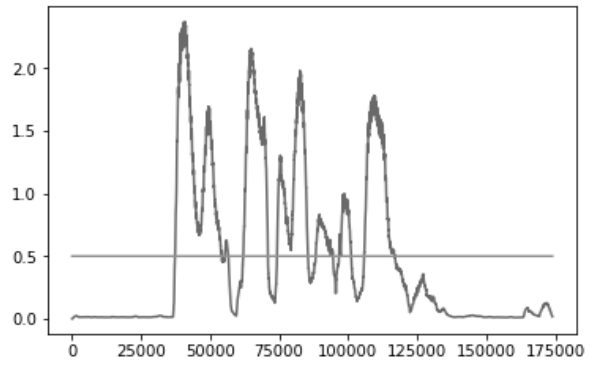


Рисунок 9. Огибающая сигнала

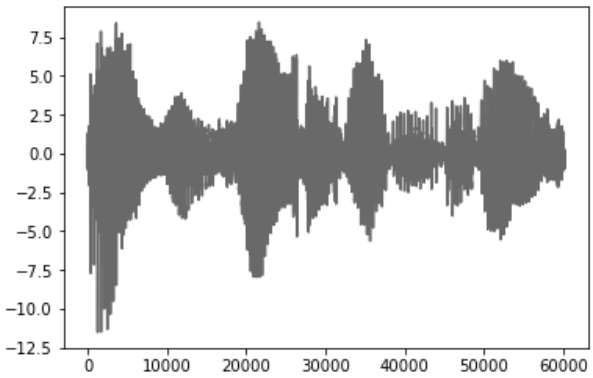


Рисунок 10. Участки речи в сигнале

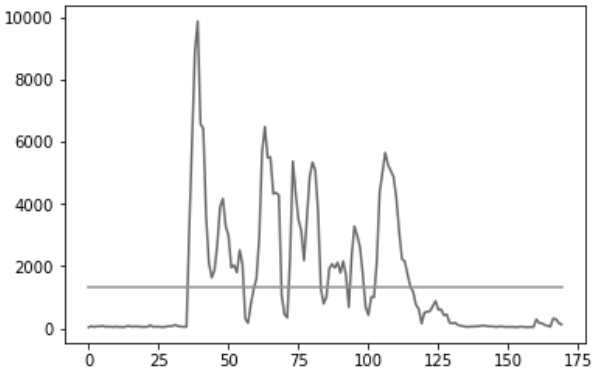


Рисунок 11. Результат свертки
по второму методу

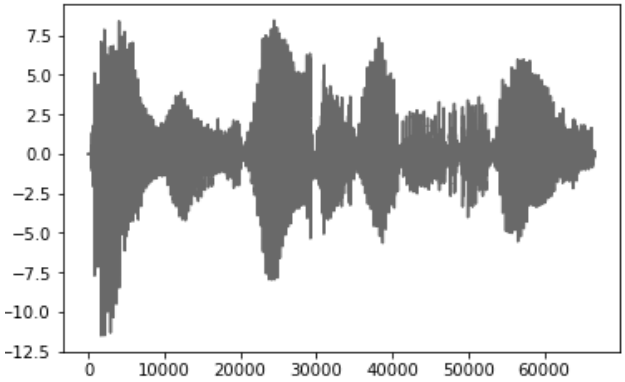


Рисунок 12. Участки речи в сигнале

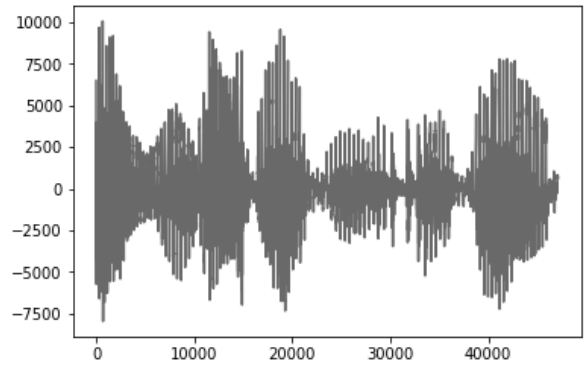


Рисунок 13. Участки речи, определенные
нейронной сетью

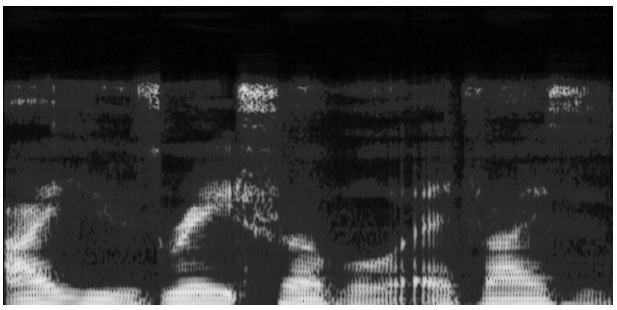


Рисунок 14. Спектрограмма сигнала
после удаления тишины

Для улучшения работы реализованных методов в первую очередь необходимо подавать на вход отфильтрованные сигналы без шума, для нейронной сети возможны наращивание слоев и увеличение выборки. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для совершенствования работы алгоритмов распознавания, выполняющих более сложные задачи такие, как обнаружение лексических единиц, определение языка входной записи либо определение пола диктора.

Список литературы

1. Простой, но эффективный Voice Activity Detection алгоритм реального времени // Хабрахабр [Электронный ресурс] URL: https://habrahabr.ru/post/192954/ (дата обращения 15.09.2017).
2. Амплитудный детектор // Основы радиоэлектроники и связи [Электронный ресурс] URL: http://jstonline.narod.ru/rsw/rsw_i0/rsw_i0a0/rsw_i0a0f.htm (дата обращения 25.09.2017).
3. Свёртка (математический анализ) // Wikipedia [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёртка_(математический_анализ) (дата обращения 07.10.2017).

Исследование влияния искажений формы кривой изменения напряжения на мощность колебаний напряжения

Романенко Е. А.[a], Охапкин С. И.[b]
магистрант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода
и автоматизации промышленных установок[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: rinaromanen@gmail.com[a], ohapkin@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Для определения величины колебаний напряжения существует необходимость либо принимать во внимание любые искажения кривой (что достаточно трудоёмко), либо использовать разность между следующими друг за другом экстремумами кривой напряжения. Целью данного исследования является изучение влияния искажений кривой напряжения на мощность колебаний напряжния на примере электроприёмников с резкопеременной нагрузкой. Для оценки влияния используется метод локальных экстремумов, который позволяет заменить колебание реальной формы на наклонное. В результате получается, что одно колебание реальной формы вносит вклад около 5 % в мощность колебаний напряжения для электроприёмников с резкопеременной нагрузкой. Также не рекомендуется использовать расчёт по разности между следующими друг за другом экстремумами кривой напряжения для точных научно-практических расчётов, так как погрешность в расчёте дозы фликера при таком подходе будет более 10 %. Результаты данного исследования можно применять для определения величины колебаний напряжения как для электроприёмников с резкопеременной нагрузкой, так и со спокойными режимами работы.

Ключевые слова: доза фликера, резкопеременная нагрузка, активная мощность.

Основой для оценки мощности колебаний напряжения (дозы фликера) является форма изменения кривой напряжения на зажимах электроприёмника.

Для определения величины колебаний напряжения, в соответствии с ГОСТ Р 51317.1.2-2007 [1], необходимо знать разность между двумя последовательными значениями точек кривой напряжения:

$$\Delta U = U(t_1) - U(t_2) .$$

Для определения величины колебаний напряжения необходимо принимать во внимание любые искажения кривой, которые могут иметь место [1]. Однако такой подход является достаточно трудоёмким, так как форма кривой

напряжения имеет сложную форму и для учёта каждого колебания необходимо обрабатывать большие массивы данных.

И. В. Жежеленко предлагает для расчёта колебания напряжения [Жежеленко, с. 13] использовать разность между следующими друг за другом экстремумами кривой напряжения:

$$\Delta U = U_{max} - U_{min}.$$

Такой подход позволяет упростить расчёты дозы фликера, создание модели колебаний для дальнейших энергетических расчётов, делает модель колебаний более понятной и удобной для обработки.

Влияние искажений формы кривой напряжения на дозу фликера можно оценить на примере электроприёмников с резкопеременной нагрузкой, которые характеризуются достаточно сложной формой изменения кривой напряжения.

Кривая изменения напряжения таких электроприёмников имеет достаточно много точек (так как колебания напряжения имеют чаще всего длительность менее 0,5 секунд) и поэтому для расчёта кратковременной дозы фликера с необходимой точностью (10 %) требуется обрабатывать измерения с количеством точек более 600, для расчёта длительной дозы фликера – более 14400. В связи с этим возникает проблема обработки большого количества измерений и представления результатов расчёта в удобной для дальнейшей обработки форме.

Таким образом, для оценки влияния искажений формы кривой напряжения на дозу фликера предлагается производить расчёт колебаний напряжения по следующим друг за другом экстремумам кривой напряжения (как рекомендует И. В. Жежеленко [Жежеленко, с. 13]). Для упрощения расчётов используются замеры активной мощности, так как в кривой потребляемой активной мощности легче выделить размахи колебаний, чем в кривой колебания напряжения, поскольку график потребления активной мощности имеет более выраженные экстремумы и характеризуется меньшим количеством помех.

Также колебание напряжения ΔU_i в той или иной точке i кривой прямо пропорционально колебанию активной мощности ΔP_i:

$$\Delta U_i = \frac{\Delta P_i \cdot r}{U_c^2} \cdot 100\%,$$

где r – активное сопротивление системы, Ом;

U_c – номинальное напряжение сети, В.

Здесь поэтому можно заменить кривую напряжения кривой изменения активной мощности.

В ходе данного исследования необходимо выяснить, какое влияние имеет форма кривой активной мощности (которая эквивалентна кривой напряжения) на расчёт дозы фликера. В связи с этим необходимо решить следующие задачи: выполнить расчёт дозы фликера по экстремумам кривой активной мощности (как рекомендует И. В. Жежеленко [Жежеленко]) с разработкой метода определения экстремумов кривой, произвести расчёт дозы фликера с учётом каждого колебания кривой активной мощности по точному графику (как рекомендуется в ГОСТ Р 51317.1.2-2007 [1]), сравнить полученные результаты.

Для расчёта дозы фликера по экстремумам активной мощности был разработан метод выделения локальных экстремумов, который состоит в следующем:

1) Значение измеренной активной мощности $aP[i]$ одной фазы приводится к трёхфазной системе по формуле:

$$P[i] = 3 \cdot aP[i].$$

2) Для поиска локальных минимумов и максимумов по активной мощности используются следующие условия, по которым проверяется каждое i-ое измеренное значение активной мощности:

– для выделения локального минимума:

$$\begin{cases} P_i < P_{i+1}; \\ P_i < P_{i-1}; \end{cases}$$

– для выделения локального максимума:

$$\begin{cases} P_i > P_{i+1}; \\ P_i > P_{i-1}.. \end{cases}$$

На основе выделенных по данным условиям значений мощности формируется новый массив локальных экстремумов и минимумов по которому производятся дальнейшие расчёты.

3) Колебание напряжения по локальным минимумам и максимумам вычисляется как разность между локальным минимумом и максимумом активной мощности:

$$\Delta P_i = P_i - P_{i-1}.$$

Расчёт длительности колебания напряжения принимается по времени появления локальных минимумов и максимумов:

$$\Delta T_i = T_i - T_{i-1}.$$

Дальнейшие расчёты дозы фликера после выделения локальных экстремумов выполняются по методу И. В. Жежеленко [Жежеленко, с. 88] с использованием расчитанного массива экстремумов колебаний мощности ΔP_i , длительности колебаний ΔT_i активной мощности ΔP_i.

Расчёт дозы фликера по активной мощности производится на примере электроприёмников с резкопеременной нагрузкой «дробилка карандашей», «лущильная машина», «окорочная машина», «рубильная машина», измерения активной мощности осуществлены с шагом 200 мс. В Табл. 1 представлены результаты обработки графиков активной мощности методом экстремумов для рассматриваемых электроприёмников, также представлена длительность исследуемого интервала измерений. Как это видно из представленных результатов, число точек измерений, а следовательно, и число рассматриваемых колебаний при расчёте методом локальных экстремумов сокращается в 1,5–2 раза. Особенно актуален этот эффект для расчёта длительной дозы фликера.

В Табл. 2 представлено сравнение расчётов дозы фликера по точному графику и с выделением локальных экстремумов. При расчёте с выделением локальных экстремумов погрешность расчёта дозы фликера составляет более 10 %, что допустимо только для приблизительных расчётов.

Таблица 1

Сравнение числа точек кривой колебания активной мощности

Наименование электроприёмника	Число точек измерений, шт.		Длительность рассчитываемого интервала, секунд
	Точный график	График с выделением экстремумов	
«дробилка карандашей»	9715	4932	1943,0
«лущильная машина»	4573	2247	914,6
«окорочная машина»	9357	6161	1871,4
«рубильная машина»	6599	3825	1319,8

Таблица 2

Расчет дозы фликера по точному графику и с выделением экстремумов

Наименование электроприёмника	Доза фликера, о.е.		Погрешность расчёта дозы фликера, %
	Расчёт по точному графику	Расчёт с выделением экстремумов	
«дробилка карандашей»	0,029557	0,024634	16,65383
«лущильная машина»	0,178393	0,154979	13,12515
«окорочная машина»	0,030234	0,027461	9,171889
«рубильная машина»	0,012815	0,011422	10,87066

При представлении кривой колебаний локальными экстремумами реальная форма колебания (ломаная или ступенчатая) заменяется на наклонную и чем больше длительность колебания, тем больше искажений натуральной формы сглаживается. Поэтому, для оценки влияния формы колебаний мощности (напряжения) на интервале измерений рассматривается самое длительное по продолжительности колебание мощности.

В Табл. 3 представлены параметры максимального по длительности колебания на интервале измерений для каждого электроприёмника, получающегося при представлении кривой колебаний мощности локальными экстремумами. Мощность максимального по длительности наклонного колебания (представленного методом локальных экстремумов) равна нулю (так как продолжительность колебания больше 1 секунды). Однако, мощность колебания реальной формы с тем же максимумом и минимумом, на том же интервале времени не равна нулю. Реальное колебание, которое заменено наклонным, оказывает влияние на мощность колебаний напряжения (дозу фликера) и доза фликера такого

колебания представлена в Табл. 3, также оценен вклад колебания реальной формы в погрешность расчёта дозы фликера.

Таблица 3

Параметры максимального по длительности колебания

Наименование электроприёмника	Продолжительность, секунд	Величина колебания, %	Доза фликера колебания, о.е.	Вклад в погрешность расчёта дозы фликера, %
«дробилка карандашей»	2,800	16,03	0,0016	5,37
«лущильная машина»	2,399	30,68	0,0125	7,02
«окорочная машина»	1,999	48,48	0,0017	5,49
«рубильная машина»	1,200	29,93	0,0007	5,13

В соответствии с Табл. 3, наибольший вклад самого длительного колебания мощности у электроприёмника «лущильная машина», а наименьший – у «рубильной машины». Величина колебания (отношение колебания мощности максимального по длительности колебания к максимальному колебанию мощности, рассчитанного по методу экстремумов, на всём интервале измерений) не оказывает влияние на мощность колебания напряжения, как это видно на примере «окорочной машины»: колебание размером 48,48 % вносит вклад в расчёт дозы фликера практически такой же как и колебание 16,03 % для «дробилки карандашей». Также следует отметить, что продолжительность колебания не оказывает сильного влияния на мощность колебаний напряжения, как это видно из Табл. 3 (колебание продолжительностью 2,8 секунд вносит погрешность в расчёт дозы фликера меньше, чем колебание длительностью 1,2 секунды).

На Рис. 1–4 представлены кривые самого длительного колебания активной мощности на интервале измерений для рассматриваемых электроприёмников. Пунктирной линией показана форма наклонного колебания, которое получается при расчёте методом локальных экстремумов, сплошной – форма реального колебания.

Рисунок 1. Форма кривой мощности электроприёмника «дробилка карандашей»

Рисунок 2. Форма кривой мощности электроприёмника «лущильная машина»

Рисунок 3. Форма кривой мощности электроприёмника «окорочная машина»

Рисунок 4. Форма кривой мощности электроприёмника «рубильная машина»

Таким образом, наибольшее влияние на мощность колебаний напряжения оказывает именно форма кривой мощности (напряжения), как это видно из Рис. 1–4 и Табл. 3.

Следовательно, можно выделить несколько форм кривой мощности (напряжения) для рассматриваемых электроприёмников:

а) ступенчатая плавная с большим количеством небольших по размеру искажений («дробилка карандашей»), такая форма резко отличается от наклонной;

б) с ярко выраженным начальным импульсом, равным по длительности примерно 50 % от всего колебания и дальнейшими 2–3 небольшими затухающими колебаниями, приближающимися к наклонным («лущильная машина»);

в) с начальным импульсом, равным по длительности примерно 60 % от всего колебания и дальнейшим приближением по форме к наклонному колебанию («окорочная машина», «рубильная машина»).

Форма кривой мощности а) хоть и имеет большое количество небольших по размерам ступеней, но вклад в расчёт мощности колебаний напряжения такое колебание вносит такое же, как и форма кривой в), причём вклад каждого такого колебания составляет приблизительно 5–5,5 %.

Форма кривой мощности б) имеет начальный импульс, составляющий по длительности 10 % от длительности всего колебания, близкий по форме к ступенчатому, мощность которого составляет приблизительно 99 % от мощности всего колебания.

Таким образом, наибольший вклад в мощность колебаний напряжения вносят именно ступенчатые искажения кривой, которые, как правило, компенсируются последующими небольшими искажениями. Поэтому, для грамотного расчёта мощности колебаний напряжения следует выделять колебания не по локальным экстремумам мощности, которые соответствуют наклонным колебаниям, а обращать внимание на колебания ступенчатой формы, то есть на отношение размера колебаний к его длительности. Можно сделать вывод, что следует выбирать колебания с наибольшим отношением величины колебания к его длительности.

Также следует отметить, что выделение локальных экстремумов (как рекомендует И. В. Жежеленко [Жежеленко]) можно применять для расчётов, где не требуется большая точность, для электроприёмников с резкопеременной нагрузкой такой подход даёт погрешность приблизительно 10–15 %.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51317.1.2-2007 (МЭК 61000-1-2:2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Методология обеспечения функциональной безопасности технических средств в отношении электромагнитных помех. Прин. 27.12.2007; действ. с 07.01.2008. М. : Стандартинформ, 2013. URL : http://gostexpert.ru/gost/gost-51317.1.2-2007 (дата обращения 01.01.2018).

2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М. : Энергоатомиздат, 2000. 252 с.

Методы и алгоритмы программной реализации модулярных арифметических вычислений

Ростовцев В.С.[a], Степанов И.В [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[a]
магистрант кафедры ЭВМ[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: rostov_kirov@mail.ru[a], youshallnotpass213@gmail.com[b],

Аннотация: Рассматриваются методы и алгоритмы программной реализации некоторых арифметических операций в системе остаточных классов (СОК) и особенности представления операндов. Целевой программой является инструментальная система оценки эффективности применения модулярной арифметики для решения вычислительных задач. Решение на базе СОК позволяет разделить вычисление большого операнда на несколько меньших независящих друг от друга вычислительных каналов. Данный подход позволяет использовать параллелизм для обработки чисел, многократно превышающих длину машинного слова. Для эффективной интеграции модулярных преобразований в общий вычислительный процесс необходимо реализовать модуль преобразования из позиционной системы счисления и обратно, на основе либо Китайской теореме об остатках (CRT), либо методе преобразования смешанным радиусом. Немодульные арифметические операции, представленные умножением, делением значительно осложнены тем, что в СОК не существует тривиальных методов сравнения чисел длинной арифметики и целочисленным характером системы. Для представления отрицательных чисел и чисел с плавающей запятой в структуру модулярных чисел вводятся дополнительные поля знака и характеристики. Эффективное выполнение операций модулярного умножения может выполняться по методу Монтгомери. А деление в СОК наиболее часто реализуется классическими итеративными алгоритмами Ферма и Ньютона. В результате описаны методы реализации операций в СОК и их особенности.

Ключевые слова: система остаточных классов, модулярная арифметика, умножение, деление, программная реализация.

Введение. На сегодняшний день имеет значительный объем исследовательского материала по части эффективности применения непозиционных систем счисления, в частности системы остаточных классов (СОК). Интерес к этой области основан на быстродействии, устойчивости и информационной безопасности вычислений над высоко разрядными числами высокой точности. Модулярная арифметика отличается естественным внутренним параллелизмом. Она реализует переход к обработке малоразрядных данных, что позволяет использовать параллельные вычисления на уровне элементарных арифметических

операций. В системе остаточных классов отсутствуют переносы между соседними цифрами чисел, что не только повышает быстродействие, но и позволяет эффективно распределять и векторизовать вычисления, благодаря тому, что нет зависимости по данным. Одновременно с этим модулярная арифметика обеспечивает высокую устойчивость к ошибкам округления. Непозиционная арифметика представляет высокую ценность для реализации криптосистем. Преобразование в СОК позволяет эффективно шифровать большое количество данных и анализировать ошибки при их передаче. Применение СОК может значительно повысить быстродействие решения задач моделирования, вычисления рядов, интерполяции, аппроксимации и многих других. Эффективность ее использования для современных высокопроизводительных систем обусловлена ускорением векторных вычислений, состоящих из выполнения множества однотипных операций.

Постановка целей и задач исследования. Рассмотреть методы и алгоритмы программной реализации трудоемких арифметических операций в системе остаточных классов и особенности представления операндов для разработки целевой программы.

Ведущий подход. Система остаточных классов основана на Китайской теореме об остатках (КТО) [Jean-Claude, с.3]. Она позволяет оперировать следующими понятиями:

- $\{m_1, m_2,\ldots, m_n\}$ – вектор взаимно-простых чисел, называемый базисом КТО B_n;

- $M =$ – предел представимых чисел;

- $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ – вектор однозначно предоставляющий позиционное число X из диапазона [0; M) в СОК.

Таким образом КТО гласит, что позиционное число можно представить в виде:

В СОК в отличии от позиционной системы счисления (ПСС), вычисления по каждому разряду (вычету) выполняются без переносов, поэтому возможно организовать параллельное выполнение по N каналам, что позволит

многопоточному приложению выполнять операции с длинной арифметикой в N раз быстрее.

Классические целочисленные операции в СОК определены следующим образом [Jean-Claude, с.4]:

Для расчета значений r_j используется понятие мультипликативной инверсии: . Или, другими словами, - мультипликативная инверсия от M_i. Ее расчет производится следующим образом: $(M_i * b_i) \bmod m_i = 1$, где b_i – искомое число.

Для эффективной реализации модулярной арифметики необходимо повысить эффективность основных операций. Трудность умножения заключается в том, что модульное умножения по произвольному модулю предполагает реализацию операции деления, которая является достаточно сложной даже в ПСС. Для ускорения умножения и соответственно возведения в степень удобно использовать алгоритм Монтгомери, который позволяет в разы уменьшить время выполнения операций с ростом разрядности операндов.

Достоинством данного алгоритма в том, что операция модульного умножения по произвольному модулю с помощью определенных преобразований заменяется рядом сложений и умножений по модулю, представляющему собой степень двойки. При этом трудоемкая операция деления заменяется несколькими битовыми операциями сдвига. Пусть $\{p_1,\ldots,p_k\}$ – основания системы остаточных классов и R = диапазон. Алгоритм Монтгомери, адаптированный для системы остаточных классов, вычисляет значение S [Червяков, с.9]:

На каждом этапе алгоритма вычисляется цифра обобщенной позиционной системы:

Далее рассчитываются цифры представления в системе остаточных классов:

При этом значения s_j вычисляются таким образом, что они являются кратными p_j.

Следовательно, если основания системы являются простыми числами, то деление s_j на p_j заменяется умножением на мультипликативную обратную величину. Таким образом:

, при том, что Q * M mod M = 0.

Для определения остатка s_i по основанию p_i на каждом этапе алгоритма может быть использован метод расширения системы оснований. Он основан на представлении ортогональных базисов в обобщенной позиционной системе (ОПСС). На основании данного алгоритма Монтгомери, адаптированного для СОК возможна реализация операции модульного возведения в степень многоразрядных чисел. Так же на базе метода расширения системы оснований и теоремы теории чисел о делении с нулевым остатком возможна реализация операции масштабирования чисел в СОК.

Пример [Jean-Claude, с.7]: даны системы оснований СОК B5 = {3,7,13,19,29} и = {5,11,17,23,31}, дополнительный модуль $m_e = 8$. Операнды A, B, N. Таким образом, мы имеем M=150423 и =666655. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

	Базис B_n 3 7 13 19 29	m_x 8	Базис 5 11 17 23 31	Основание 10
A	1 3 9 14 25	2	1 8 2 5 5	26386
B	1 5 1 9 25	3	1 1 1 21 19	72931
N	1 2 6 11 27	7	2 7 9 14 19	14527

Для реализации общей операции деления в СОК используются классические методы спуска Ферма и итерации Ньютона. Известно, что если разрядность операндов отличается незначительно, что выгоднее использовать метод Ферма. В противном случае ощутимое преимущество дает применение метода Ньютона.

Метод спуска Ферма состоит из следующих шагов [Червяков, с. 16]:

1. Перевод делителя b в обобщённую позиционную систему:

,

где $\{p_1,\ldots,p_k\}$ – основания системы и определения наиболее значимой ненулевой цифры bp этого представления (аналогично представлению ортогональных базисов в ОПСС).

2. Определение приблизительного делителя , где л – номер наиболее значимой ненулевой цифры представления делителя из пункта 1. Q определяется табличной выборкой при $b_p = b_k$ или $b_i = 0$, i = [k+1,n], i Z.

3. Вычисляется начальное приближение частного , где a_0 – делимое и значения $a_1 = a_0 – b * q_1$.

4. Цикл из r итераций, в процессе которых вычисляются значения и $a_i = a_{i-1} – b * q_1$ при i=2,3,…,r. Условие останова q_i=0, либо до a_i=0.

5. определяется частное от деления $q=q_1* q_2*\ldots q_{r-1}+$, где

Вычисление $A*B*M^{-1}$ mod N представлено в таблице 2.

Таблица 2

Ход решения

Базис B_n	m_x	Базис	Комментарий
2 3 5 11			
	5 1 0 6 7	1 3 8 1 14 2 5 12 6 7 2 0 16 16 16 0 2 14 17 29 4 10 0 19 20	
	1	3 5 10 1 15	
0 6 9 5 25 2 3 12 12 4 2 2 2 6 17 0 2 10 13 10 1 0 2 13 24	1 3 5 3 6 3		Преобразование R.
1 5 9 7 15			
1 1 9 7 15 2 6 9 11 19	4	0 7 0 22 25	При получим Точное значение по Монтго-мери AB mod N = 9257

Алгоритм итерации Ньютона более сложен в реализации, но более универсален. Он состоит из 2 этапов: вычисление целочисленной обратной величины для делителя b по отношению к нормальному диапазону и нахождению частного. Схема итераций Ньютона деления в СОК выглядит как:

, где

z_i – член итерации Ньютона;

b – делитель;

M – произведение оснований базиса СОК.

В качестве начального приближения можно выбирать $z_1=2$ и продолжать вычисления до тех пор, пока выполняется условие . После останова проверяется условие:

Если условие выполняется, то обратная величина будет равна $|M/b| = z_{i+1}$, в противном случае $|M/b| = z_{i+1}+1$.

Второй этап деления a на b представляет собой нахождение частного:

.

Для интеграции модулярных преобразований в общий вычислительный процесс может потребоваться реализовать модуль преобразования из позиционной системы счисления и обратно [5], на основе либо Китайской теореме об остатках [Акушский, с.34], либо методе преобразования смешанным радиусом [Kazeem с.3].

Для организации быстродействующих высокоточных вычислений в системе остаточных классов предусматривается формат с плавающей точкой для представления чисел большой разрядности [Исупов, с. 12]:

, где

X - мантисса модулярного числа в диапазоне от [0; M-1)

– характеристика мантиссы (может быть представлена интервально-позиционной характеристикой , где M – произведение модулей основания).

s – знак числа;

– порядок со знаком.

Применимая структура данных для представления модулярного числа в формате с плавающей точкой представлена в таблице 3:

Таблица 3

Формат модулярного числа с плавающей точкой

sign	exponent	h		mantissa[1]	…	mantissa[n]

Поля имеют следующие значения: sign – знак; exponent - смещенный порядок, представленный аналогичное спецификации IEEE-754 [6]; IPC1 - нижняя граница ИПХ; IPC2 - верхняя граница ИПХ; mantissa[n] - массив вычетов модулярного числа.

Формат модулярного числа предусматривает знак и порядок, однако выполнение арифметических операции в СОК всегда делается над целыми положительными числами, знаки рассчитываются отдельно от мантисс. Если необходимо получить значение отрицательного числа для вычитания или результат перешел в отрицательную область (так же возможно при вычитании или при вычислении мультипликативного обратного), то число необходимо преобразовать в дополнительный модулярный код, который характеризует отрицательное значение числа. Для этого необходимо вычесть из соответствующего основания (pi) абсолютное значение модулярного остатка, соответствующего числа мантиссы (Xi).

Например: в системе оснований СОК (5, 7, 9, 11) необходимо из 16 (1, 2, 7, 5) вычесть 32 (2, 4, 5, 10).

1. Преобразуем в 32 в $32_{дк}$: $32_{дк} = (|5 - 2|, |7 - 4|, |9 - 5|, |11 - 10|)_{дк} = (3, 3, 4, 1)_{дк}$
2. Для получения модулярной разности 16-32 сложим модулярные числа $16+32_{дк}$: $16+32_{дк} = (\quad , \quad , \quad , \quad) = (4, 5, 2, 6)$.
3. Поскольку 16<32, то результат получится отрицательным, преобразуем из дополнительного кода аналогичным образом: $res = (4, 5, 2, 6)_{дк}$; $res =(|5 - 4| ,|7 - 5|, |9 - 2|, |11 - 6|) = (1, 2, 7, 5)$.
4. Проверка: 16-32 = -16; $16 = (\quad , \quad , \quad , \quad) = (1, 2, 7, 5)$.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате рассмотрены некоторые методы и алгоритмы для программной реализации эффективных модулярных вычислений. Целевой программой будет являться инструментальная система, позволяющая оценить эффективность применения СОК для решения вычислительных задач по сравнению с ПСС. Такая система может стать полезной на этапе создания эскизного проекта.

Заключение. Таким образом, Ожидаемое ускорение вычислений в СОК по сравнению с аналогичным применением библиотек высокоточных вычислений на базе позиционных систем счисления будет документально зарегистрировано программой и может служить основанием необходимости и целесообразности реализации арифметических операций, например, на ПЛИС.

Список литературы

1. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах [Текст]/ И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий – М.: Советское радио, 1968.

2. Исупов К. С. – «Методы и алгоритмы организации высокоточных вычислений в арифметике остаточных классов для универсальных процессорных платформ». // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Пенза -2014.

3. Kazeem Alagbe Gbolagade An O(n) Residue Number System to Mixed Radix Conversion Technique - Computer Engineering Laboratory, Delft University of Technology, The Netherlands, 2009

4. Jean-Claude Ba jard Modular Multiplication and Base Extensions in Residue Number Systems - Laurent-Stephane Didier Universite de Bretagne Occidentale Brest, France, 2001.

5. Сайт Habrahabr.ru. Введение в модулярную арифметику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/144886/, свободный. – Загл. с экрана.

6. 754-2008 - IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic (ANSI/IEEE Std 754-1985) - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 345 East 47th Street, New York, NY 10017, 2008, USA

7. Червяков Н.И., Лобес М.В. Разработка методов и алгоритмов модулярных вычислений для задач большой алгоритмической сложности – Россия, Ставрополь, 2009.

Разработка приложения, реализующего генеалогическое древо

Рудакова Е. О.[a], Фищева И.Н.[b]
студент факультета компьютерных и физико-математических наук,
кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[a]
старший преподаватель кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация
E-mail: sam_ice9@mail.ru[a], mininairn@yandex.ru[b]

Аннотация: в статье обсуждается разработка приложения, реализующего генеалогическое древо. Обосновывается актуальность разработки в формировании личности в условиях семьи. Семейное воспитание строится на основе идеологии, морали, системы взаимоотношений отдельно взятой семьи. Разрабатываемое приложение даст возможность узнать своих предков, их историю, откуда они родом, осознать себя в истории семьи, задуматься какую информацию оставишь о себе для будущих поколений. Благодаря приложению мы пишем не безликую историю, а историю в персональном масштабе. В статье представлена диаграмма Use Case и логическая модель базы данных. Обозначены несколько проблем: проблема сохранения фотографий и документов, проблема добавления множественных браков, сводных братьев и сестер, проблема вывода генеалогического древа, проблема хранения артефактов и меток.

Ключевые слова: проектирование БД, генеалогическое древо, родословная семьи, UML диаграмма, отражение событий.

Поиск людей из своей родословной или поиск родственников был актуален во все времена и с каждым годом всё популярнее.

Людей интересует история своей семьи: откуда они родом, и кто их предки. Каждое поколение накладывает свой отпечаток на семейные традиции, обычаи и праздники. А семья имеет огромное значение для развития и формирования личности человека. Поэтому так важно знать историю своего рода. Систематизировать эту информацию проще всего с помощью генеалогического дерева [1].

Понятие «генеалогия» – согласно дословному переводу с древнегреческого это «знание семьи» [2]. Генеалогическое дерево – это история в персональном масштабе, путешествие через многие поколения семьи, судьбы сплетённые вместе прошлым, настоящим и будущим. Создание генеалогического дерева – это творческий и трудоемкий процесс. Собирая информацию, мы узнаем много интересных фактов о своем роде, сближаемся с семьей, узнаем о новых род-

ственниках. В эру интернет технологий и социальных сетей поиск родственников становится легче, так как несложно обратится к людям в другом городе и попросить уточнить информацию или оказать помощь в поисках.

Существуют сайты и приложения, которые позволяет создать генеалогическое древо, такие как: «My Heritage Family Tree Builder» и «Древо Жизни». Данные приложения имеют ряд преимуществ и недостатков, например, в приложении «Древо Жизни» нет возможности удаления связей, только удаление персоны, но есть возможность просмотра дерева любого типа: только прямые родственники, прямые родственники с братьями и сёстрами, кровные родственники, все родственники. Анализ существующих аналогов позволил сформулировать задачи, которые должно реализовать разрабатываемое приложение:

- возможность добавления нескольких фотографий и документов каждому члену семьи;
- добавление хобби и наград;
- при добавлении персоны к уже созданной приложение будет сразу предоставлять выбор связи между ними;
- создать связь можно только между двумя уже созданными персонами.
- интерфейс приложения позволять быстро ориентироваться в семейных связях;
- генеалогическое дерево должно быть наглядным, за счет отображения фотографии у каждой персоны;
- анкета на каждого члена семьи должна быть подробной и полной, и содержать поля для заполнения:
  - пол (мужчина, женщина, неизвестный);
  - ФИО (у женщин дополнительное поле «Фамилия при рождении»);
  - дата рождения и дата смерти (можно будет указать дату точную, примерную, неточную, только год, в свободном формате);
  - место рождения и место смерти (места будут отражены на карте в виде меток);

- место захоронения или кладбище (места будут отражены на карте в виде меток);
- награды;
- хобби;
- фотографии или документы;
- комментарий.

Исходя из поставленных требований была спроектирована диаграмма Use Case (Рис. 1). Пользователь данного приложения может изменять связи между персонами, просматривать дерево и «семейную карту» (карту с метками), обрабатывать персону (добавлять, редактировать, удалять).

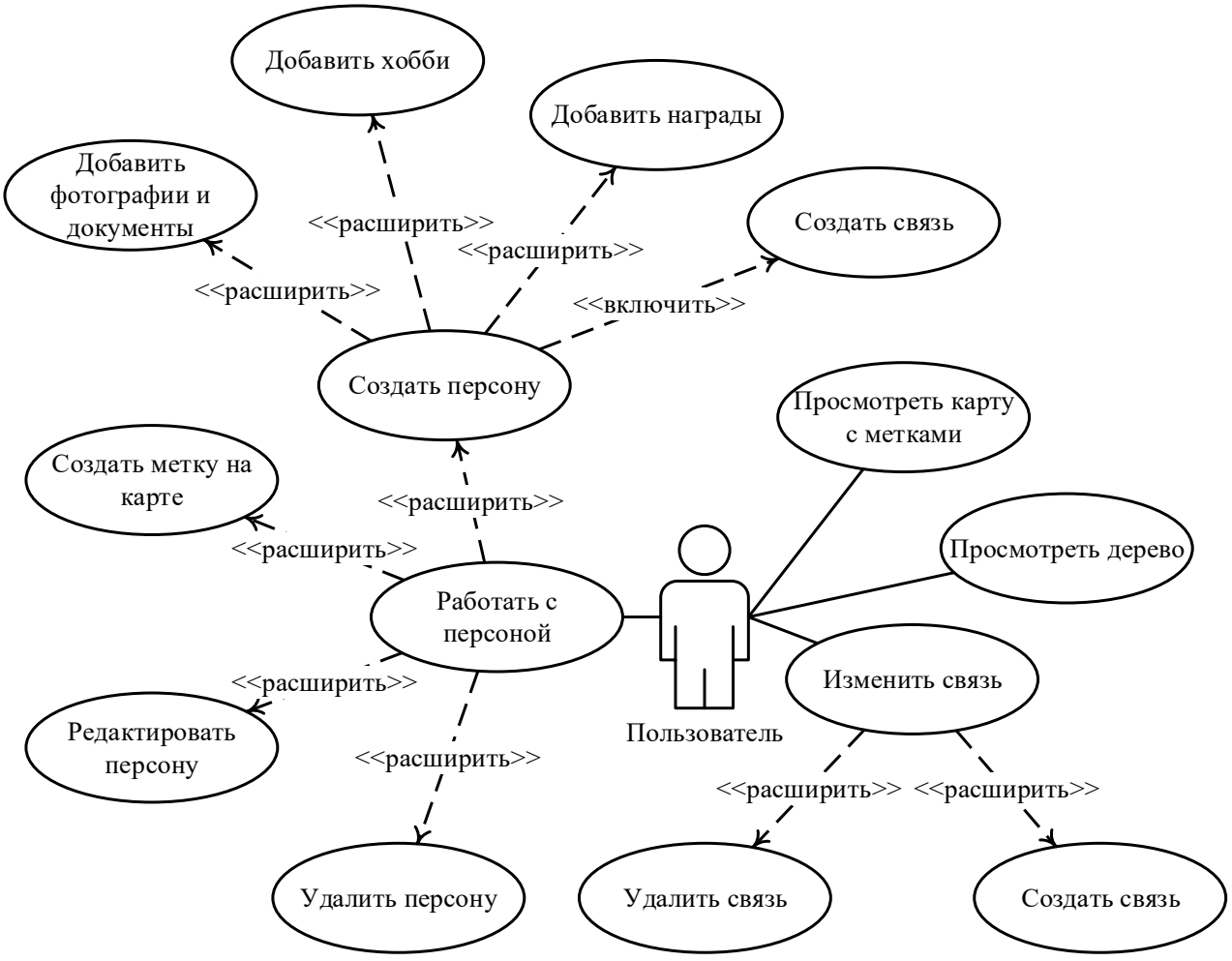


Рисунок 5. Диаграмма Use Case

Исходя из рассматриваемой предметной области была спроектирована модель базы данных (Рис. 2), в которой выделены ключевые сущности и обозначены связи между ними. Таблица «Связь сёстры-братья» была создана для

того чтобы упростить поиск связей сестёр братьев не используя таблицу «Связь родители-дети».

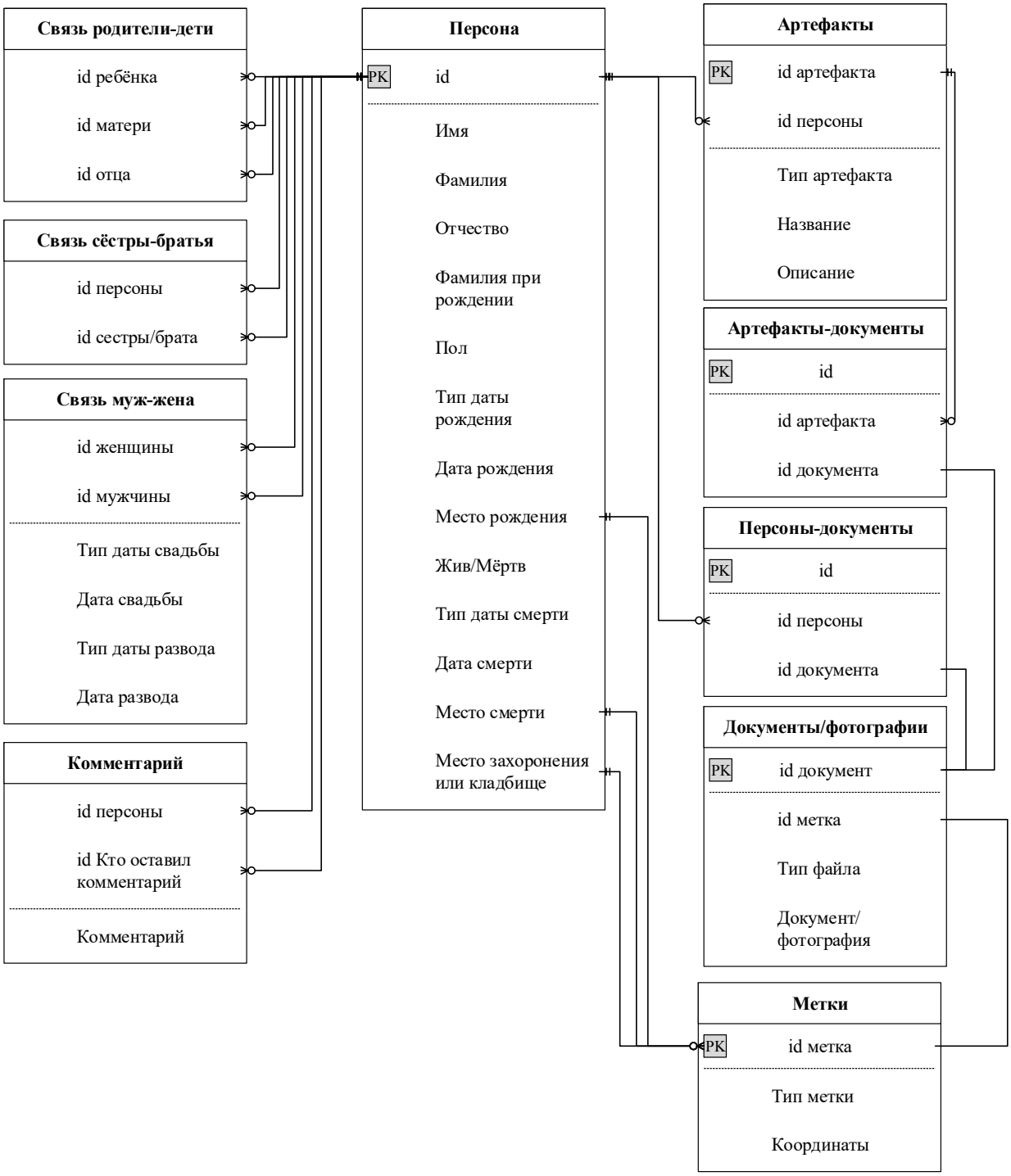


Рисунок 6. Концептуальная схема

Для разработки приложения была выбрана платформа WPF (Windows Presentation Foundation) [3] в Visual Studio. Данная платформа позволяет гибко настроить функциональность и графические возможности приложения (которые реализуются кодом XAML), что дает возможность создать удобное и понятное приложение для пользователя. Особенность платформы WPF в том, что

элементы управления пользовательского интерфейса визуализируются с помощью векторной графики, что является большим преимуществом, так как нет зависимости от разрешения экрана. В качестве СУБД был выбран MySql [4], за счет разнообразия типов для хранения данных. Также он прост в установке, справляется с достаточными объемами информации, позволяет в случае необходимости менять структуру базы данных.

На этапе добавления персоны в зависимости от выбранной связи (мать/отец, дочь/сын, сестра/брат, жена/муж) будет представлена для заполнения соответствующая связи анкета. Добавление матери и отца для персон возможно один раз, это действие будет контролироваться программно. Также будет выполнена возможность добавлять жене/мужу новые браки, после развода. В дереве это будет отображаться следующим образом: бывшие мужья располагаются слева от супруги, а бывшие жены справа от супруга. Если у кого-нибудь из партнёров есть ребёнок от прошлого брака, то ветка в дереве будет находится со стороны бывшего партнёра.

При добавлении ребенка в окне заполнения анкеты появится поле, в котором будет возможность указать дополнительную информацию о ребёнке, например, указать что ребёнок приёмный.

Информация о всех персонах и связях хранится в базе данных. При построении генеалогического дерева используется матрица смежности, которая составляется по таблицам со связями. В зависимости от связи между персонами, каждая персона выводится на своем месте в семейном дереве. Для каждого элемента дерева родители располагаются на уровень выше, братья, сестры и супруги располагаются на этом же уровне, а дети на уровень ниже. Муж (если есть) находится справа от жены. Все связи жены располагаются слева от нее: братья, сестры, а у мужа справа.

Сложность при построении дерева состоим в том, чтобы правильно расставить персоны, связь у которых вынуждает их стоять на одном уровне в дереве, например, по отношению к персоне сёстры и братья должны быть слева, а муж/жена и бывшие мужья/жены справа. При реализации приложения возникла

проблема построения генеалогического дерева: никаких дополнительных бесплатных платформ или компонентов позволяющим строить деревья найдено не было. Тогда было решено использовать расширение Zoom Control [5] которое было подключено с помощью диспетчера пакетов NuGet [6]. Zoom Control позволяет масштабировать и перемещаться по увеличенному дереву. Zoom Control выводит изображение из Bitmap на который прорисовываются элементы дерева.

Для того чтобы информация о родственнике была достаточно полной при заполнении анкеты следует добавить фотографии и документы, их можно добавлять несколько каждой персоне. Фотографии хранят воспоминания и важные события – в них запечатлена история, например, если у бабушки была красивая вышивка, то хотелось бы сохранить ее, для этого можно сделать фотографию вышивки. Или какой-нибудь из родственников был писателем, и издал книгу в нескольких экземплярах, такую вещь можно назвать антиквариатом, тогда нужно задокументировать книгу и приложить ее к остальным фотографиям и документам этого родственника. Таким образом мы соберем артефакты о каждом члене семьи и сможем поделится ими с другими родными. Артефакты могут быть самые разные: рецепты, стихотворения, рукоделия, картины, построенный дом или другие изделия ручной работы. При работе с персоной артефакты можно указать в виде фотографий и документов. К сожалению не все артефакты прошлых поколений могу быть сохранены, но в настоящее время существует возможность их оцифровать и сохранить для будущих поколений.

В современном мире уже другие артефакты и другие профессии, поэтому так важно сохранить их все, иначе пропадает смысл семейного дерева и воспоминания теряются.

Документы могут содержать важную информацию, которая сможет помочь следующим поколениям при поиске родственников. Если кто-нибудь из родственников участвовал в военных действиях и у него есть награды, то их можно перечислить в анкете, сфотографировать, и приложить фотографии к персоне. Так же можно перечислить интересные факты о родственнике или со-

бытии, которые с ним произошли. При заполнении анкеты указывается место рождения, место смерти и место захоронения или кладбище, эта информация обрабатывается и места добавляются на карту (Яндекс карта). На карте можно отмечать важные события семьи таким образом можно увидеть жизнь родных в полном масштабе и проследить жизненный путь каждого члена семьи. Можно назвать это «семейной картой». Но с точки зрения реализации приложения возникает проблема как хранить изображения и документы в базе данных или в виде обычных файлов держа в безе только путь к нему.

Преимущество хранения изображений в базе данных в том, что отсутствуют противоречия, то есть если создана запись в таблице, у которой есть путь к изображению, а потом это изображение случайным образом удалится, то в итоге получится что запись уже без изображения, а путь к ней есть. Этого недостатка нет, если хранить изображения в базе данных.

Для хранения изображений и документов в базе данных MySQL необходимо определить одно из полей таблицы как производное от типа BLOB. Сокращение BLOB означает большой двоичный объект. Тип хранения данных BLOB обладает несколькими вариантами [7, 8]:

- TINYBLOB - может хранить до 255 байт;
- BLOB - может хранить до 64 килобайт информации;
- MEDIUMBLOB - до 16 мегабайт;
- LONGBLOB - до 4 гигабайт.

Разрабатываемое приложение должно помочь в создании семейного генеалогического древа, позволяющего систематизировать, задокументировать и сохранить собранную информацию о родственниках. Приложение позволяет добавлять, редактировать и удалять персоны, связывать их между собой связями, просматривать «семейную карту», а также выводить дерево зависимостей между персонами.

В дальнейшем предполагается дополнить приложение автоматизированной выборкой информации из общедоступных интернет архивов, например, если есть родственник, учувствовавший в военных действиях и неизвестно был

ли он награжден, тогда приложение сможет осуществить поиск в указанном архиве и вернет информацию о полученных наградах.

Список литературы

1. Генеалогическое древо и поиск людей [Электронный ресурс]/2018 URL: http://www.genway.ru/ (дата обращения 29.01.2018)

2. Роль генеалогии в семейном воспитании [Электронный ресурс]/2018 URL: http://www.vrodu.ru/pages/rol-genealogii-v-semeynom-vospitanii.html (дата обращения 29.01.2018)

3. Преимущества WPF [Электронный ресурс]/2017 URL: https://professorweb.ru/my/WPF/base_WPF/level1/1_3.php (дата обращения 01.12.2017)

4. Microsoft SQL Server против MySQL в медицинских информационных системах [Электронный ресурс]/2017 URL: http://citforum.ru/database/articles/msmysql/ (дата обращения 01.11.2017)

5. WPF Extensions [Электронный ресурс]/2018 URL: https://wpfextensions.codeplex.com/ (дата обращения 28.01.2018)

6. Включение пакета NuGet в проект [Электронный ресурс]/2018 URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/mac/nuget-walkthrough (дата обращения 28.01.2018)

7. Хранение файлов в MySQL и их быстрая раздача [Электронный ресурс]/2018 URL: https://habrahabr.ru/post/45966/ (дата обращения 25.01.2018)

8. Типы BLOB и TEXT [Электронный ресурс]/2018 URL: https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/blob.html (дата обращения 25.01.2018)

Разработка приложения, реализующего генеалогическое древо

Рудакова Е. О.[a], Фищева И.Н.[b]
студент факультета компьютерных и физико-математических наук,
кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[a]
старший преподаватель кафедры фундаментальной информатики и прикладной математики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация
E-mail: sam_ice9@mail.ru[a], mininairn@yandex.ru[b]

Аннотация: в статье обсуждается разработка приложения, реализующего генеалогическое древо. Обосновывается актуальность разработки в формировании личности в условиях семьи. Семейное воспитание строится на основе идеологии, морали, системы взаимоотношений отдельно взятой семьи. Разрабатываемое приложение даст возможность узнать своих предков, их историю, откуда они родом, осознать себя в истории семьи, задуматься какую информацию оставишь о себе для будущих поколений. Благодаря приложению мы пишем не безликую историю, а историю в персональном масштабе. В статье представлена диаграмма Use Case и логическая модель базы данных. Обозначены несколько проблем: проблема сохранения фотографий и документов, проблема добавления множественных браков, сводных братьев и сестер, проблема вывода генеалогического древа, проблема хранения артефактов и меток.

Ключевые слова: проектирование БД, генеалогическое древо, родословная семьи, UML диаграмма, отражение событий.

Поиск людей из своей родословной или поиск родственников был актуален во все времена и с каждым годом всё популярнее.

Людей интересует история своей семьи: откуда они родом, и кто их предки. Каждое поколение накладывает свой отпечаток на семейные традиции, обычаи и праздники. А семья имеет огромное значение для развития и формирования личности человека. Поэтому так важно знать историю своего рода. Систематизировать эту информацию проще всего с помощью генеалогического дерева [1].

Понятие «генеалогия» – согласно дословному переводу с древнегреческого это «знание семьи» [2]. Генеалогическое дерево – это история в персональном масштабе, путешествие через многие поколения семьи, судьбы сплетённые вместе прошлым, настоящим и будущим. Создание генеалогического дерева – это творческий и трудоемкий процесс. Собирая информацию, мы узнаем много интересных фактов о своем роде, сближаемся с семьей, узнаем о новых род-

ственниках. В эру интернет технологий и социальных сетей поиск родственников становится легче, так как несложно обратится к людям в другом городе и попросить уточнить информацию или оказать помощь в поисках.

Существуют сайты и приложения, которые позволяет создать генеалогическое древо, такие как: «My Heritage Family Tree Builder» и «Древо Жизни». Данные приложения имеют ряд преимуществ и недостатков, например, в приложении «Древо Жизни» нет возможности удаления связей, только удаление персоны, но есть возможность просмотра дерева любого типа: только прямые родственники, прямые родственники с братьями и сёстрами, кровные родственники, все родственники. Анализ существующих аналогов позволил сформулировать задачи, которые должно реализовать разрабатываемое приложение:

- возможность добавления нескольких фотографий и документов каждому члену семьи;
- добавление хобби и наград;
- при добавлении персоны к уже созданной приложение будет сразу предоставлять выбор связи между ними;
- создать связь можно только между двумя уже созданными персонами.
- интерфейс приложения позволять быстро ориентироваться в семейных связях;
- генеалогическое дерево должно быть наглядным, за счет отображения фотографии у каждой персоны;
- анкета на каждого члена семьи должна быть подробной и полной, и содержать поля для заполнения:
  - пол (мужчина, женщина, неизвестный);
  - ФИО (у женщин дополнительное поле «Фамилия при рождении»);
  - дата рождения и дата смерти (можно будет указать дату точную, примерную, неточную, только год, в свободном формате);
  - место рождения и место смерти (места будут отражены на карте в виде меток);

- место захоронения или кладбище (места будут отражены на карте в виде меток);
- награды;
- хобби;
- фотографии или документы;
- комментарий.

Исходя из поставленных требований была спроектирована диаграмма Use Case (Рис. 1). Пользователь данного приложения может изменять связи между персонами, просматривать дерево и «семейную карту» (карту с метками), обрабатывать персону (добавлять, редактировать, удалять).

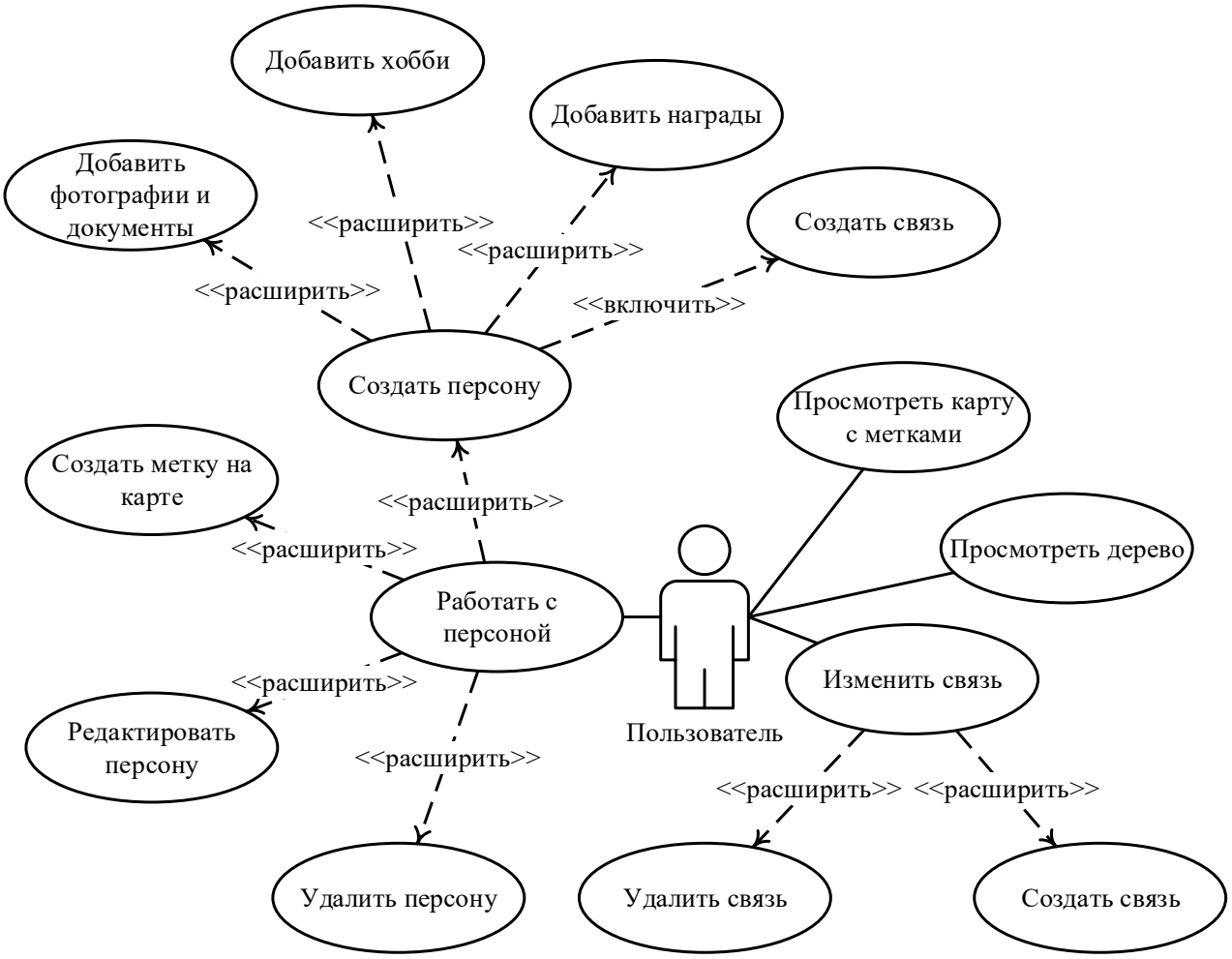


Рисунок 7. Диаграмма Use Case

Исходя из рассматриваемой предметной области была спроектирована модель базы данных (Рис. 2), в которой выделены ключевые сущности и обозначены связи между ними. Таблица «Связь сёстры-братья» была создана для

того чтобы упростить поиск связей сестёр братьев не используя таблицу «Связь родители-дети».

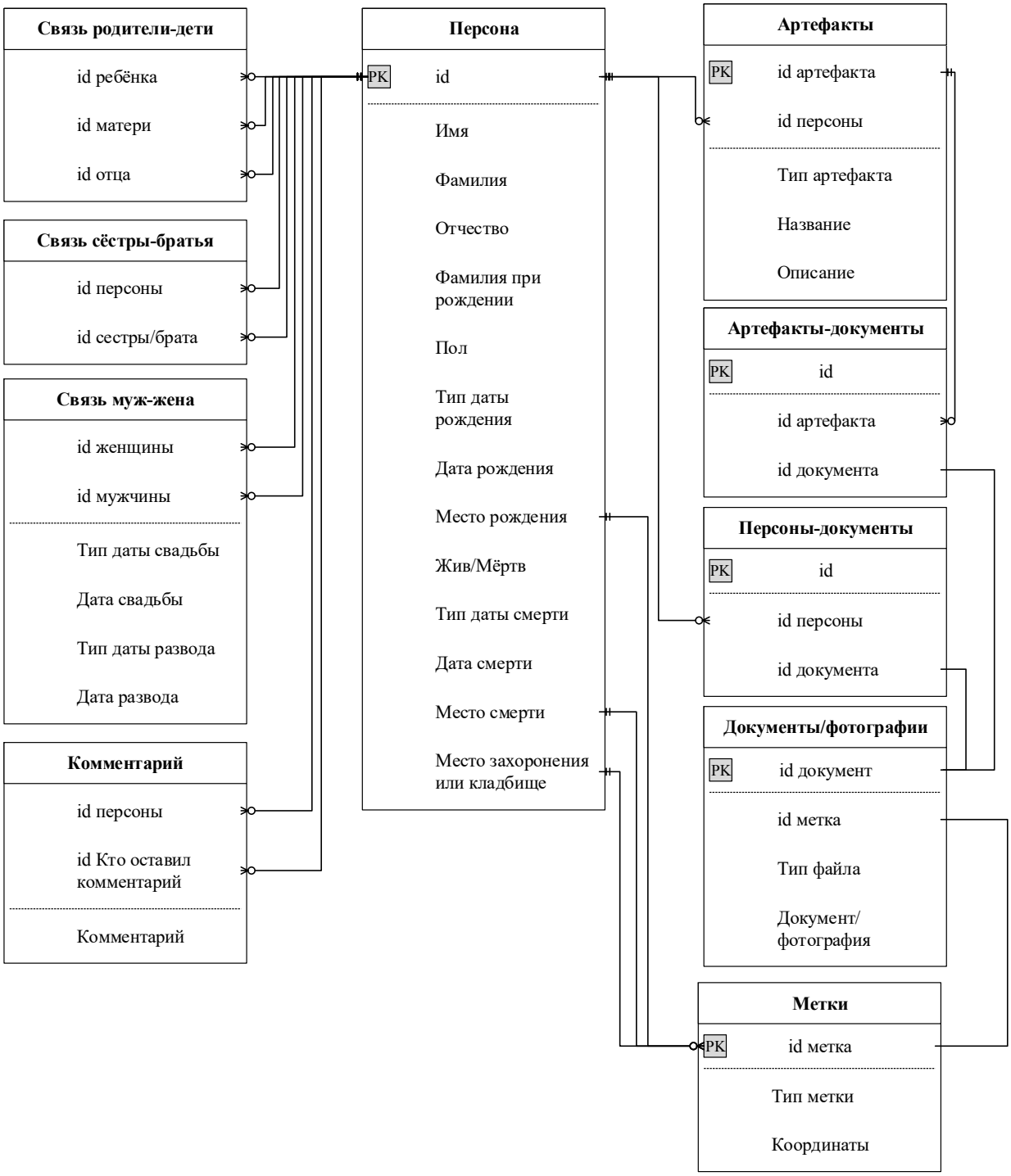


Рисунок 8. Концептуальная схема

Для разработки приложения была выбрана платформа WPF (Windows Presentation Foundation) [3] в Visual Studio. Данная платформа позволяет гибко настроить функциональность и графические возможности приложения (которые реализуются кодом XAML), что дает возможность создать удобное и понятное приложение для пользователя. Особенность платформы WPF в том, что

элементы управления пользовательского интерфейса визуализируются с помощью векторной графики, что является большим преимуществом, так как нет зависимости от разрешения экрана. В качестве СУБД был выбран MySql [4], за счет разнообразия типов для хранения данных. Также он прост в установке, справляется с достаточными объемами информации, позволяет в случае необходимости менять структуру базы данных.

На этапе добавления персоны в зависимости от выбранной связи (мать/отец, дочь/сын, сестра/брат, жена/муж) будет представлена для заполнения соответствующая связи анкета. Добавление матери и отца для персон возможно один раз, это действие будет контролироваться программно. Также будет выполнена возможность добавлять жене/мужу новые браки, после развода. В дереве это будет отображаться следующим образом: бывшие мужья располагаются слева от супруги, а бывшие жены справа от супруга. Если у кого-нибудь из партнёров есть ребёнок от прошлого брака, то ветка в дереве будет находится со стороны бывшего партнёра.

При добавлении ребенка в окне заполнения анкеты появится поле, в котором будет возможность указать дополнительную информацию о ребёнке, например, указать что ребёнок приёмный.

Информация о всех персонах и связях хранится в базе данных. При построении генеалогического дерева используется матрица смежности, которая составляется по таблицам со связями. В зависимости от связи между персонами, каждая персона выводится на своем месте в семейном дереве. Для каждого элемента дерева родители располагаются на уровень выше, братья, сестры и супруги располагаются на этом же уровне, а дети на уровень ниже. Муж (если есть) находится справа от жены. Все связи жены располагаются слева от нее: братья, сестры, а у мужа справа.

Сложность при построении дерева состоим в том, чтобы правильно расставить персоны, связь у которых вынуждает их стоять на одном уровне в дереве, например, по отношению к персоне сёстры и братья должны быть слева, а муж/жена и бывшие мужья/жены справа. При реализации приложения возникла

проблема построения генеалогического дерева: никаких дополнительных бесплатных платформ или компонентов позволяющим строить деревья найдено не было. Тогда было решено использовать расширение Zoom Control [5] которое было подключено с помощью диспетчера пакетов NuGet [6]. Zoom Control позволяет масштабировать и перемещаться по увеличенному дереву. Zoom Control выводит изображение из Bitmap на который прорисовываются элементы дерева.

Для того чтобы информация о родственнике была достаточно полной при заполнении анкеты следует добавить фотографии и документы, их можно добавлять несколько каждой персоне. Фотографии хранят воспоминания и важные события – в них запечатлена история, например, если у бабушки была красивая вышивка, то хотелось бы сохранить ее, для этого можно сделать фотографию вышивки. Или какой-нибудь из родственников был писателем, и издал книгу в нескольких экземплярах, такую вещь можно назвать антиквариатом, тогда нужно задокументировать книгу и приложить ее к остальным фотографиям и документам этого родственника. Таким образом мы соберем артефакты о каждом члене семьи и сможем поделится ими с другими родными. Артефакты могут быть самые разные: рецепты, стихотворения, рукоделия, картины, построенный дом или другие изделия ручной работы. При работе с персоной артефакты можно указать в виде фотографий и документов. К сожалению не все артефакты прошлых поколений могу быть сохранены, но в настоящее время существует возможность их оцифровать и сохранить для будущих поколений.

В современном мире уже другие артефакты и другие профессии, поэтому так важно сохранить их все, иначе пропадает смысл семейного дерева и воспоминания теряются.

Документы могут содержать важную информацию, которая сможет помочь следующим поколениям при поиске родственников. Если кто-нибудь из родственников участвовал в военных действиях и у него есть награды, то их можно перечислить в анкете, сфотографировать, и приложить фотографии к персоне. Так же можно перечислить интересные факты о родственнике или со-

бытии, которые с ним произошли. При заполнении анкеты указывается место рождения, место смерти и место захоронения или кладбище, эта информация обрабатывается и места добавляются на карту (Яндекс карта). На карте можно отмечать важные события семьи таким образом можно увидеть жизнь родных в полном масштабе и проследить жизненный путь каждого члена семьи. Можно назвать это «семейной картой». Но с точки зрения реализации приложения возникает проблема как хранить изображения и документы в базе данных или в виде обычных файлов держа в безе только путь к нему.

Преимущество хранения изображений в базе данных в том, что отсутствуют противоречия, то есть если создана запись в таблице, у которой есть путь к изображению, а потом это изображение случайным образом удалится, то в итоге получится что запись уже без изображения, а путь к ней есть. Этого недостатка нет, если хранить изображения в базе данных.

Для хранения изображений и документов в базе данных MySQL необходимо определить одно из полей таблицы как производное от типа BLOB. Сокращение BLOB означает большой двоичный объект. Тип хранения данных BLOB обладает несколькими вариантами [7, 8]:

- TINYBLOB - может хранить до 255 байт;
- BLOB - может хранить до 64 килобайт информации;
- MEDIUMBLOB - до 16 мегабайт;
- LONGBLOB - до 4 гигабайт.

Разрабатываемое приложение должно помочь в создании семейного генеалогического древа, позволяющего систематизировать, задокументировать и сохранить собранную информацию о родственниках. Приложение позволяет добавлять, редактировать и удалять персоны, связывать их между собой связями, просматривать «семейную карту», а также выводить дерево зависимостей между персонами.

В дальнейшем предполагается дополнить приложение автоматизированной выборкой информации из общедоступных интернет архивов, например, если есть родственник, учувствовавший в военных действиях и неизвестно был

ли он награжден, тогда приложение сможет осуществить поиск в указанном архиве и вернет информацию о полученных наградах.

Список литературы

1. Генеалогическое древо и поиск людей [Электронный ресурс]/2018 URL: http://www.genway.ru/ (дата обращения 29.01.2018)

2. Роль генеалогии в семейном воспитании [Электронный ресурс]/2018 URL: http://www.vrodu.ru/pages/rol-genealogii-v-semeynom-vospitanii.html (дата обращения 29.01.2018)

3. Преимущества WPF [Электронный ресурс]/2017 URL: https://professorweb.ru/my/WPF/base_WPF/level1/1_3.php (дата обращения 01.12.2017)

4. Microsoft SQL Server против MySQL в медицинских информационных системах [Электронный ресурс]/2017 URL: http://citforum.ru/database/articles/msmysql/ (дата обращения 01.11.2017)

5. WPF Extensions [Электронный ресурс]/2018 URL: https://wpfextensions.codeplex.com/ (дата обращения 28.01.2018)

6. Включение пакета NuGet в проект [Электронный ресурс]/2018 URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/mac/nuget-walkthrough (дата обращения 28.01.2018)

7. Хранение файлов в MySQL и их быстрая раздача [Электронный ресурс]/2018 URL: https://habrahabr.ru/post/45966/ (дата обращения 25.01.2018)

8. Типы BLOB и TEXT [Электронный ресурс]/2018 URL: https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/blob.html (дата обращения 25.01.2018)

Разработка и реализация эффективного алгоритма получения требуемых конфигураций кубика Рубика

Русов В.С.[a], Захарова Д.А.[b], Чарушин Н.А.[c]
студент кафедры ЭВМ [a,b]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a,b,c]
E-mail: vyacheslavrusov96@gmail.com[a] zakharovadaria96@gmail.com[b] na_charushin@vyatsu.ru[c]

Аннотация: В данной статье рассмотрены разработка и реализация алгоритма перебора кубика Рубика для нахождения всевозможных узоров и дальнейшего использования кубика при сборке изображений в популярной среди спидкуберов дисциплине Mosaic Building. В ходе выполнения алгоритма с различными глубинами рекурсии были найдены все необходимые формулы для приведения кубика к необходимой конфигурации, кроме 24 наиболее трудоёмких. Для реализации полной базы знаний генерируемый программой соответствующий ей файл был представлен, с одной стороны, в понятном спидкуберу виде (все формулы представлены в нотации Сингмастера), с другой стороны, с минимальным занимаемым местом на диске. Для сокращения занимаемого файлом места было предложено закодировать его специальным алгоритмом. Сокращение объёма может составить до 30%. При этом появляется необходимость написания интерпретатора формул, чтобы привести их к виду понятному спидкуберу. Также в работе произведена предварительная аналитическая оценка ускорений, которые возникают при использовании предлагаемой базы формул.

Ключевые слова: спидкубинг, кубик Рубика, Mosaic Building, узор.

В настоящее время каждый из нас имеет хобби – рисование, шитье, головоломки. Для многих из них уже существуют компьютерные программы (модели) или другие средства автоматизации. Например, художник может создавать картины с использованием специализированных графических редакторов, в интернете имеются программы обучения шитью и вязанию с визуализацией необходимых приёмов. В сфере спидкубинга, сборке кубика Рубика на время, уже появились роботы, собирающие кубик в сотни раз быстрее человека. Это мотивирует людей улучшать методы сборки и ускорять саму сборку. Кроме того, в сфере спидкубинга существует интересная дисциплина – Mosaic Building, в рамках которой спидкуберам предоставляется возможность реализовать заданное изображение с помощью сотен (а иногда и тысяч) кубиков Рубика. Таким образом, работа спидкубера сводится к разбиению изображения на заданное

число кубиков, подбор цветов, приведение кубика к заданной конфигурации и, наконец, сборка картины из них. Для ускорения данного процесса предлагается автоматизировать этап подбора алгоритма для приведения кубика к необходимой конфигурации, что позволит значительно уменьшить время сборки картины и сконцентрировать внимание участников на создании более эффектных и больших в объеме работ.

Цель разработки и реализации алгоритма перебора кубика Рубика – автоматизировать этап подбора алгоритма для приведения кубика к необходимой конфигурации. В ходе анализа были выделены следующие задачи, необходимые для достижения этой цели: реализовать удобное и минимальное кодирование конфигурации кубика; разработать алгоритм рекурсивного перебора всех состояний кубика Рубика с заданной глубиной рекурсии; изучить минимальные формулы для приведения кубика Рубика из начального состояния в любую конфигурацию; систематизировать базу знаний для удобного и быстрого поиска необходимой формулы; минимизировать размер базы знаний для эффективного хранения.

Для перебора кубика необходимо обозначить каждый цвет кубика Рубика. Таким образом, примем следующие обозначения: 0 – белый цвет; 1 – желтый цвет; 2 – зеленый цвет; 3 – синий цвет; 4 – красный цвет; 5 – оранжевый цвет. Тогда каждый узор кубика можно однозначно определить числом из 9 цифр в шестиричной системой счисления. Кроме того, обозначим исходное состояние – собранный кубик Рубика, повернутый белым цветом на себя, зеленым наверх.

Для реализации был выбран язык программирования C, как самый производительный и надежный язык высокого уровня на сегодняшний день.

На начальном этапе реализации необходимо описать структуру, которая в дальнейшем будет представлять кубик Рубика. Каждая из сторон кубика представляет собой матрицу 3x3, элементами которой являются цвета частей грани, соответствующей текущей матрице. Соответственно, было описано 6 матриц с

начальными цветами собранного кубика в ранее описанной исходной конфигурации [1].

Для приведения кубика к необходимому узору необходимо поворачивать ее грани таким образом, чтобы одна из граней выстроилась в нужную конфигурацию. Таким образом, необходимо реализовать все двенадцать поворотов каждой из граней (по и против часовой стрелке). Каждый из поворотов определяется в нотации Сингмастера [2]. Тогда, каждая из функций поворота одной из граней будет менять элементы матрицы соответственно с поворотом грани.

Для поиска всех формул приведения кубика Рубика к заданному узору необходимо реализовать рекурсивную функцию, которая, поворачивая одну из граней кубика, вызывает сама себя до достижения заданной глубины рекурсии [Русов, с.77]. Таким образом, на каждом шаге в элемент массива с номером, соответствующему десятичному представлению шестеричного числа, представляющего собой закодированные цвета грани, будет производиться занесение формулы приведения к данному узору. После каждого поворота будем иметь узоры на 6 гранях, в 4 различных ориентациях. Таким образом, после каждого движения, с учетом повторения узоров, база знаний пополняется максимум на 24 формулы. После выхода из рекурсивной функции информация из массива формул переносится в файл, заполняя лишь те строки, которые не содержат формул. Если новая формула меньше по длине, чем записанная в файл, она замещает предыдущую строку. Таким образом мы получим минимальные формулы для каждого узора. Строка должна состоять только из букв латинского алфавита, соответствующих каждому повороту кубика. Правый поворот по часовой стрелке соответствует заглавной букве R, а против часовой – прописной букве r. Аналогично для остальных поворотов – левый (L, l), передний (F, f), задний (B, b), верхний (U, u) и нижний (D, d). Кроме того, алгоритм может содержать буквы X и x, означающих поворот в вертикальной плоскости по и против часовой стрелки соответственно. Тогда Y и y – поворот в горизонтальной плоскости, Z и z – в фронтальной плоскости. Данные вращения кубика используются, на этапе изучения кубика после каждого поворота, чтобы за 1 поворот

была возможность изучения до 24 узоров. Данные повороты также учитываются при учете размера каждой формулы, так как представляют собой движение, которое необходимо сделать спидкуберу.

После завершения данных действий рекурсивная функция запускается снова, но с большей глубиной рекурсии.

Полный алгоритм рекурсивной функции представлен ниже.

1.Повернуть правую грань по часовой стрелке;

2. Записать в строку STR букву, соответствующую этому повороту (R);

3. Проверить найден ли новый узор, еще не записанный в массив. Если найден – записать строку STR в элемент массива, индекс которого соответствует десятичному представлению шестиричного значения конфигурации грани;

4. Если текущая глубина рекурсии меньше необходимой глубине рекурсии, рекурсивно вызвать данную функцию, увеличив на 1 значение текущей глубины рекурсии, иначе выйти;

5. Убрать последний символ строки STR;

6. Вернуть кубик в состояние до поворота правой грани (R), с помощью поворота правой грани против часовой стрелки (r);

7. Так же для каждого из поворотов – левого (L), верхнего (U), нижнего (D), переднего (F) и заднего (B) по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки (r, l, u, d, f, b).

Таким образом, рекурсивная функция полностью уходит вглубь и только потом растет в ширину [Мельцов, с.217]. Количество алгоритмов, которые необходимо изучить с помощью данной функции, равно количеству цветов кубика в степени количества элементов на грани, то есть 6^9 или 10 077 696 [5].

Выполнение данного алгоритма производилось на ноутбуке Acer Aspire v3 – 571g с 8 ГБ оперативной памяти, процессор: Intel Core i5 – 3210 с частотой 2.50 GHz. Результаты работы представлены в табл.1.

Таблица 1

Временные характеристики предлагаемого алгоритма

Количество найденных алгоритмов	Время работы алгоритма	Глубина рекурсии
48	Менее 1 секунды	1
504	Менее 1 секунды	2
4200	Менее 5 секунд	3
31056	Менее 1 минуты	4
214104	3 минуты	5
1199424	15 минут	6
4077048	1 час	7
4197342	4 часа	8
353940	48 часов	9
-	Более 4 дней	10

В результате были изучены все, кроме 24 алгоритмов, которые не удалось изучить простой последовательной реализацией на одном процессоре [Клейнберг, с.234].

Итоговый вес файла с формулами в нотации Сингмастера, где номер строки представляет собой десятичное представление шестиричного значения необходимого узора грани в кодировке ASCII, составляет 99Мб. Если выполнить кодирование каждого символа не 1 байтом, как в кодировке ASCII, а 5 битами (этого достаточно, чтобы иметь возможность представить 18 символов языка $2^5 = 32 > 18$), то размер файла составит 62Мб. Таким образом, было произведено уменьшение размера файла более чем на 30%. Для чтения данного файла необходимо использовать интерпретатор в соответствии с соглашением о кодировке [Isupov, с.3].

Время приведения кубика к заданной конфигурации можно считать равным времени сборки кубика Рубика. Среднее время сборки кубика Рубика спидкубером составляет 17 секунд [2]. За сборку в среднем необходимо прокрутить 4 алгоритма, а при готовой базе знаний необходимо прокрутить 1 алгоритм, таким образом, время сборки должно сократиться примерно в 4 раза, то есть будет равно 4.25 секунды.

На практике был проведен эксперимент, где люди с различными навыками собирали заданный узор с алгоритмами и без них. Сравнительные характеристики сборки кубика Рубика представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики сборки кубика

Уровень подготовки	**Без алгоритма**			**С алгоритмом**		
	Время, сек	Количество движений	FPS, движений/сек	Время, сек	Количество движений	FPS, движений/сек
Низкий	183	103	0.56	58	7	0.12
Средний	96	65	0.68	12	7	0.57
Высокий	30	42	1.38	6	7	1.04

Из табл. 2 можно сделать вывод, что полученная база знаний может быть использована спидкуберами для синтеза случайных изображений из кубиков Рубика 3x3x3. Предлагаемый алгоритм позволит ускорить сборку изображений в дисциплине Mosaic Building, в среднем, в (183/58 + 96/12 + 30/6)/3=5.385 раза, что выше, чем было оценено аналитическим путём. У всех групп наблюдается значительное ускорение при использовании базы знаний [Strabykin, 203]. Стоит отметить, что при сборке узора с использованием базы знаний скорость сборки (количество движений в секунду) у людей с низким уровнем подготовки снижается не так сильно, как у других категорий пользователей, несмотря на значительное уменьшение количества действий. Это связано с тем, что чтение и выполнение необходимой формулы занимает у новичков больше времени, чем столько же свободных поворотов у подготовленных спортсменов.

Таким образом, в ходе разработки и реализации предлагаемого алгоритма было выполнено эффективное кодирование цветов и сторон кубика Рубика, а также представление конфигураций и найденных алгоритмов в удобном текстовом формате. Разработан эффективный последовательный рекурсивный алгоритм перебора кубика Рубика, позволяющий с большой скоростью, при заданной глубине дерева решений, искать необходимую конфигурацию кубика (в среднем 24 конфигурации с одним поворотом кубика). Разработанная база знаний приведена к формату, удобному как для поиска требуемой информации так

и для хранения – каждая строка файла однозначно соответствует одной конфигурации кубика Рубика.

Список литературы

1. Математика кубика Рубика. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Математика кубика Рубика. (дата обращения 23.01.2018).
2. Метод Джессики Фридрих. URL: http://speedcubing.com.ua/howto/3x3fri1.php (дата обращения 23.01.2018).
3. Русов В.С., Захарова Д.А. Разработка эвристического алгоритма поиска максимального по весу независимого множества вершин в графе. СТУДЕНТ ГОДА 2017: сборник статей II Международного научно-практического конкурса. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. С. 77-81.
4. Мельцов В.Ю., Чистяков Г.А. Разработка модуля построения структуры Крипке для системы верификации параллельных алгоритмов. Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. С. 217-220.
5. Класс NP [Электронный ресурс] // Университет ИТМО [Офиц. сайт]. URL: https://neerc.ifmo.ru.
6. Клейнберг Дж., Тардос Е. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computers Science / Пер. с англ. Е. Матвеева. СПб.: Питер, 2016. 800 с.
7. Isupov K., Knyazkov V. Interval Estimation of Relative Values in Residue Number System. Journal of Circuits, Systems and Computers. 2018. Vol. 27, No.1. P. 1850004.
8. Strabykin D., Meltsov V., Dolzhenkova M. Formal verification and accelerated inference. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Т. 464. С. 203-211.

Комбинированный метод расчета прочности высокоскоростного вентильного электродвигателя постоянного тока

А.Н. Русских
магистрант кафедры электрических машин и аппаратов
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация

Аннотация: вентильные электродвигатели широко применяются в различных областях техники. Это обусловлено рядом неоспоримых преимуществ, по сравнению с другими типами электрических машин. Одним из перспективных направлений развития является разработка вентильных электродвигателей. Особенности скоростного режима, повторяемости нагрузок в сочетании с высокими требованиями к массогабаритным показателям, делают конструкцию электродвигателей уязвимой в прочностных параметрах. В настоящей статье рассматривается комбинированный подход к решению задачи прочности данных электродвигателей. Его суть заключается в том, что выбирается критериальный параметр, далее по результатам частичного решения задачи прочности аналитическим методом и решения задачи в среде трехмерного моделирования происходит сверка выбранного параметра. В случае удовлетворения критерием, проводится дальнейший расчет методом конечных элементов.

Ключевые слова: высокоскоростные вентильные электродвигатели, комбинированный метод расчета прочности, параметр жесткости, напряженно-деформируемое состояние ротора.

В настоящее время вентильные электродвигатели широко применяются в технике, в том числе в специальных электроприводах, имеющих специфические характеристики. На АО «ЛЕПСЕ» в инициативном порядке ведется ряд работ по новым вентильным электродвигателям. При непосредственном участии автора разрабатывается высокоскоростной вентильный электродвигатель постоянного тока с частотой вращения 70 000 об/мин, мощностью до 12 кВт и заданной диаграммой работы (рис. 1, 2). Высокая частота вращения предполагает ряд непроверенных конструктивных решений, подтвердить применение которых можно с помощью прочностных расчетов. При этом в литературе крайне мало сведений по аналитическим расчетам таких электрических машин. Поэтому задача расчета прочности элементов конструкции такого электродвигателя является актуальной и имеет важное практическое значение.

Наиболее целесообразно расчет прочности элементов конструкции данного электродвигателя проводить комбинированным способом: аналитический

расчет отдельных параметров совмещать с полным моделированием в среде ANSYS. Аналитический расчет лишь необходимых параметров позволяет, во-первых, избежать накопления ошибки по причине трудоемкости аналитического расчета; во-вторых, убедиться в правильной постановке задачи путем сверки этих же параметров, полученных численным методом в среде ANSYS. Расчет в среде ANSYS позволяет увидеть общую картину напряжений и деформаций, а также определить величину искомых параметров в любой точке модели. Комбинированный подход к решению задачи прочности значительно сокращает время расчета, совмещает в себе перечисленные преимущества аналитического метода и метода конечных элементов, исключает недостатки данных расчетов.

Диаграммы момента и скорости электродвигателя в зависимости от времени представлены на рис. 1 и 2. Электродвигатель производит разгон от 0 до 45 000 об/мин (рис. 2), каждые 5 000 об/мин работает на «холостом ходу» в течение 30 с. При достижении скорости вращения 45 000 об/мин к электродвигателю прикладывается нагрузка в виде момента М = 1,07 Н·м (рис. 1), далее происходит увеличение скорости вращения с нагрузкой по линейному закону до 70 000 об/мин в течение 1,5 часов.

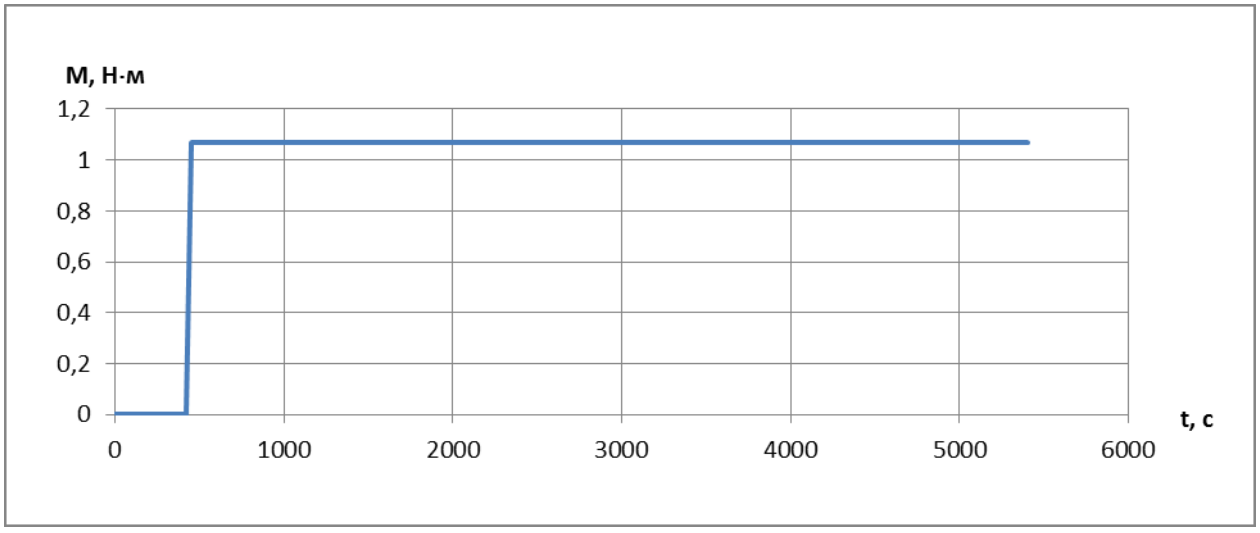


Рисунок 1. Диаграмма момента, приложенного к валу электродвигателя

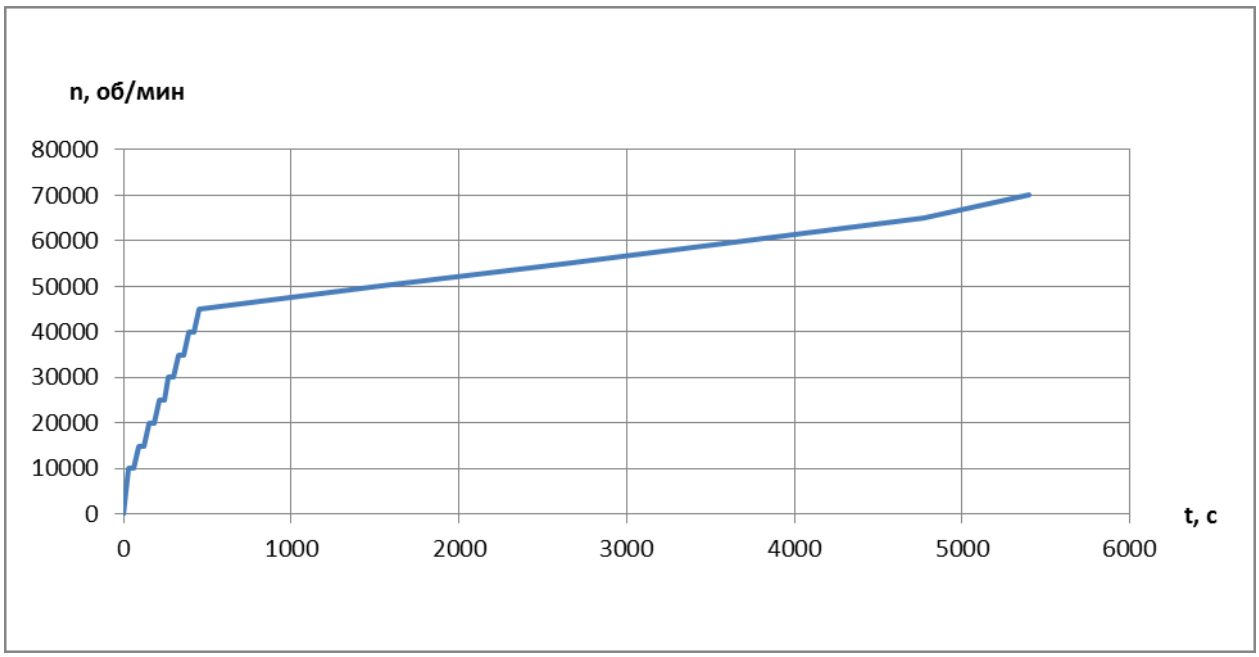


Рисунок 2. Диаграмма разгона электродвигателя

Общий вид вала ротора электродвигателя и граничные условия приведены на рис. 3.

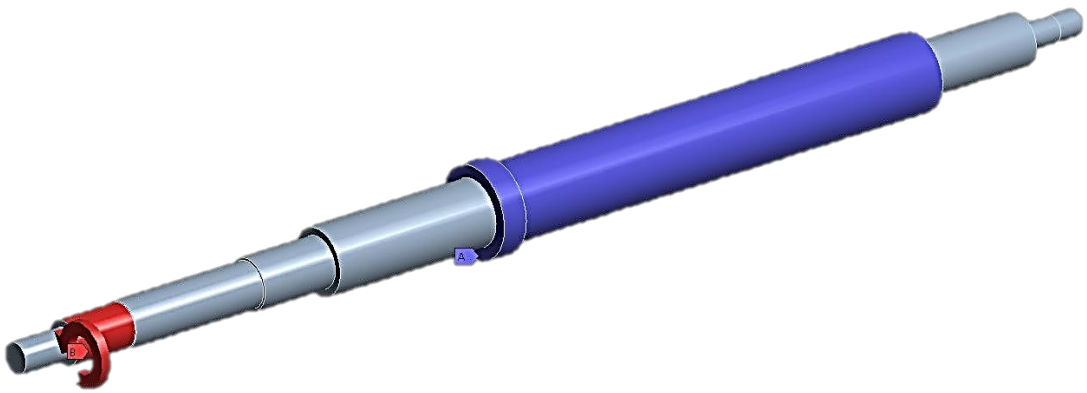


Рисунок 3. Вал ротора электродвигателя и граничные условия

Ярлычок А обозначает размещение магнитопровода ротора, ярлычок В – приложение момента величиной 1,07 Н·м.

Анализ задачи. Скручивание вала ротора будет происходить в области вала, изображенной между ярлычками А и В. Как показано на рис.3, вал имеет

ступенчатую структуру, что говорит о различной жесткости при кручении вала. Угол закручивания вала – это параметр, который следует использовать в качестве критерия для оценки правильности постановки задачи в ANSYS, и в случае удовлетворительного критерия можно наблюдать картину напряженно-деформируемого состояния вала.

При кручении круглого вала его образующие получают наклоны к оси. Поперечные сечения вала остаются плоскими, радиальные направления остаются после деформации прямолинейными; поперечное сечение вала, не деформируясь, поворачивается вокруг оси вращения. Такая картина деформаций установлена экспериментально [Беляев].

Если угол поворота концевого сечения $\varphi(l)$, то угол сдвига на радиусе R

$$\gamma = \frac{\varphi(l) \cdot R}{l} \tag{1}$$

Величина

$$\frac{\varphi(l)}{l} = \theta \tag{2}$$

представляет собой угол закручивания на единицу длины вала. Касательное напряжение в соответствии с законом Гука имеет вид:

$$\tau = G \cdot \gamma = G \cdot \theta \cdot r, \tag{3}$$

где G – модуль сдвига.

При кручении круглого вала касательное напряжение распределяется вдоль радиуса по линейному закону. Из условия равновесия момент касательных напряжений должен быть равен внешнему крутящему моменту, то есть

$$\int_0^R \tau \cdot r \cdot dF = M_k, \tag{4}$$

или

$$G \cdot \theta \int_0^R r^2 \cdot dF = M_k, \tag{5}$$

откуда следует

$$G \cdot \theta \cdot J_p = M_k. \tag{6}$$

где J_p – полярный момент инерции круга диаметром $d = 2R$, который вычсчитывается для каждой части вала соответственно диаметру :

$$J_p = \int_0^R r^2 \cdot dF = 2\pi \int_0^R r^3 \cdot dr = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi D^4}{32}. \quad (7)$$

Из формул (2) и (6) находим угол поворота концевого сечения:

$$\varphi(l) = \frac{l \cdot M_k}{G \cdot J_p}$$

и далее относительный угол закручивания θ.

Задача, как оговаривалось выше, решена аналитически и методом конечных элементов в среде трехмерного моделирования ANSYS. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета угла закручивания вала ротора

Параметры\ материал	Аналитический расчет	Расчет в среде ANSYS
Исходные данные		
Момент нагрузочный, Н·м Полярный момент инерции, соответствующий диаметру и длине частей вала соответственно, м^4 d_1 = 9 мм и l_1 = 29 мм d_2 = 10 мм и l_2 = 16 мм d_3 = 13 мм и l_3 = 35,5 мм Модуль сдвига, ГПа Модуль Юнга, ГПа Плотность материала, кг/м^3	$M_к$ = 1,07 J_1 = 6,44·10^{-10} J_2= 9,82·10^{-10} J_3 = 2,8·10^{-9} G = 78 E = 211 ρ = 7850	
Результаты		
Угол поворота концевого сечения φ*(l),* рад	φ*(l)* = 0,08	φ*(l)* = 0,06
Относительный угол закручивания θ, °/м	θ = 0,72	θ = 0,76

Существует максимальный допускаемый угол закручивания валов в градусах на 1 метр длины вала θ = 0,3 °/м, переступая через который вал приобретает необратимые пластические деформации, ведущие к поломке. В нашем случае относительный угол закручивания вала превышает допускаемый примерно в 2,5 раза, что означает, что необходимо вносить изменения в конструк-

цию вала (увеличить все диаметры вала на 20%) или уменьшать нагрузочный момент (до 0,4 Н·м).

Поскольку результаты аналитического расчета и расчета методом конечных элементов отличаются на малую величину второго порядка после запятой, а значит, можно утверждать, что задача в среде трехмерного моделирования поставлена верно. Далее приведены результаты расчета напряжений в среде ANSYS (рис.4).

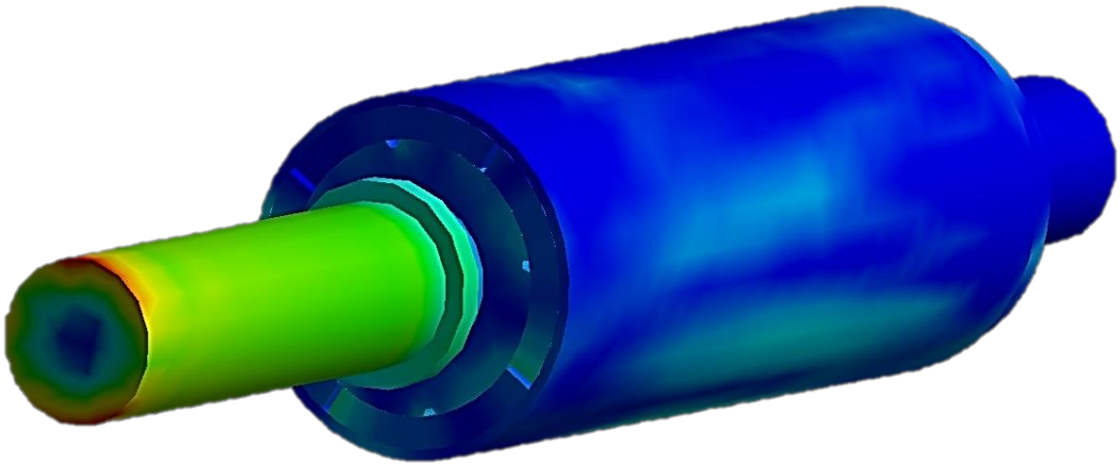


Рисунок 4. Ротор электродвигателя, картина напряжений

Наибольшие напряжения внутреннего ротора возникают на валу – $\sigma = 7{,}5 \cdot 10^7$ Па, что является достаточным условием прочности материала, так как допустимые напряжения для вала – $2{,}5 \cdot 10^8$ Па.

Список литературы

1. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов. М.: «Наука», 1968. 352 с.

BIM-технологии в строительной отрасли

Савиных Н.А.[a], Вологжанина С.А.[b]
студент факультета строительства и архитектуры
старший преподаватель кафедры строительного производства[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: natalija-savinyh@rambler.ru[a], vsanet@mail.ru[b]

Аннотация: Повышения уровня качества проектирования, строительства, а так же безопасности возводимых зданий и сооружений различного назначения важная задача для проектных и строительных организаций. Одним из вариантов решения в данном направлении возможно в применении BIM-технологий. С учетом современного состояния национальной экономики страны применение BIM-технологий особенно актуально. Данные технологии позволяют полностью спроектировать здания и сооружения, просчитав все процессы, предоставить наиболее эффективные решения на всех этапах инвестиционного проекта, что позволяет снизить финансовые затраты и сократить сроки ввода объекта. В статье раскрыты понятие BIM-технологий, их основные преимущества, опыт применения. Описаны виды возможных программных обеспечений и задачи, для решения которых данные продукты предназначены. Затронуты вопросы необходимости формирования и подготовки кадрового потенциала.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, проектирование, BIM-проектирование.

На сегодняшний день, строительная отрасль одна из крупнейших сфер экономической деятельности Российской Федерации, продукцией которой являются здания и сооружения различного назначения. Очень важно в полной мере реализовать потенциал строительной индустрии, так как у отрасли есть все возможности, чтобы стать одним из главных источников роста экономики страны. Для эффективного решения задач увеличения объемов строительства жилья, реализации крупных промышленных проектов, предоставляющих возможности для развития инфраструктуры Российской Федерации в экономике страны необходимы качественные и количественные преобразования. Для создания конкурентоспособной отрасли, способствующей укреплению безопасности государства и пространственного развития страны Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации с участием заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, науч-

ных и образовательных организаций, национальных объединений проектирования, строительства и инженерных изысканий разработана Стратегия инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации. Но для полной её реализации необходимо решить множество проблем, которое оказывают существенное влияние на внедрение инноваций в строительную индустрию. Необходимо установить единые подходы к организации деятельности, разумным принципам и методикам определения цен, применяемых к проектно-изыскательным работам, а также усовершенствовать институт экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий. Одним из факторов, играющих немаловажную роль в развитии отрасли является недостаточная подготовка кадров в связи из-за отсутствия качественного отечественного программного обеспечения проектных работ и несовершенства методов и технологий проектирования [Голдобина, стр.263].

В связи с этим в проектировании необходимо повышение качества, которое можно осуществить с помощью одного из значительных и немаловажных новшеств, начинающего активно применяться в современном проектировании и строительстве – это BIM-технологии или технологии информационного моделирования зданий (BIM – Building Information Modeling). Это процесс формирования информационной модели объекта, в которую закладываются все необходимые данные. «Применение BIM-технологии позволяет принимать эффективные решения на всех стадиях жизненного цикла зданий – от инвестиционного замысла до эксплуатации и даже сноса. Это важно и для бюджетных строек, с точки зрения рационального использования бюджетных денег, и вообще для строительства и эксплуатации любого объекта», отметил министр Минстроя России Михаил Мень. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства уже приступило к реализации плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования зданий в области промышленного и гражданского строительства, утвержденного приказом Минстроя России №926 от 29 декабря 2014 г. и разработанного совместно с Росстандартом, Экспертным советом при Правительстве Российской Федера-

ции и иными институтами по модернизации экономики и инновационному развитию.

Использование BIM технологий предполагает комплексный подход на всех уровнях строительного процесса, на каждом из которых имеются свои преимущества. Сначала создается архитектурная трехмерная модель здания со всеми чертежами, планами, разрезами, которые требуются для раздела архитектурных решений. Огромное преимущество программы – это визуальная оценка предлагаемых проектных решений. Существует возможность визуализации с помощью виртуальных комплексов, как индивидуальных (VR-очки), так и в системах коллективного пользования (CAVE). Созданная модель вводится в программу, рассчитывающую необходимые характеристики составляющих элементов здания. Все виртуальные элементы имеют конкретные физические свойства и существуют в реальности. Параллельно программа создает рабочую документацию, чертежи, спецификации, ведомости объемов работ, производит расчет сметной стоимости. Технология BIM предоставляет возможность до начала строительства предусмотреть процессы, которые будут в нем происходить и полностью просчитать их. На основе полученных данных в модель вводятся инженерные сети и их параметры. На следующем этапе специалистами разрабатывается проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР). Также в модель вводятся данные об используемых материалах и сроках их доставки на территорию строительства, каталоги спецификации для определения трудозатрат на создание проекта. Автоматически строится график выполнения работ. Изменения каких-либо данных проекта сразу отображаются во всех разделах, включая сметную стоимость проекта, что уменьшает вероятность возникновения ошибки и повышает скорость создания проектной документации. По окончанию строительства информационную модель можно использовать при эксплуатации объекта для контроля инженерных коммуникаций и возможных аварийных ситуаций с помощью датчиков.

Для реализации BIM моделирования существует множество программных обеспечений. Autodesk Revit - достаточно простой и эффективный в использо-

вании, востребован при планировании, проектировании, строительстве, эксплуатации объектов и их инфраструктуры. Для совместного моделирования используется Revit Server, создающий пространство для совместной работы с заказчиками, подрядчиками, инвесторами. ArchiCAD – предоставляет возможность решения задач как самостоятельно так и коллективно, обмениваясь данными. Используется как для проектирования масштабных объектов, так и различных конструкций, ландшафтов. Tekla Structures – программное обеспечение предназначено для работы с металлоконструкциями в крупных проектах, позволяет поддерживать автоматизацию конструирования, контролировать рабочие процессы. Дает возможность информационного обмена для взаимодействия нескольких компаний. Tekla BIMsigh – бесплатное профессиональное программное обеспечение использующееся для объединения информационных моделей и коллективного моделирования. Обеспечивает эффективное взаимодействие участников, позволяет отслеживать ошибки в проекте. Navisworks – решение для экспертизы проектов. Позволяет производить проверку моделей и информации, поступающей от участников проектирования. MagiCAD – система автоматизированного проектирования инженерных коммуникаций. Легкая в освоении и простая в использовании, используется при построении пространственных моделей, составлении отчетных документов, проведении инженерных расчетов, создания спецификаций. AutoCAD Civil 3D – предназначен для землеустроителей, проектировщиков генпланов, водных и транспортных сооружений. Allplan – эффективное решения для проектирования железобетонных конструкций, рассчитывает планы объекта с учетом временных затрат, цен и качества. Renga Architecture – первая отечественная BIM-система. Обладает широкими возможностями по проектированию в трехмерном измерении, преобразованию данных в различные форматы (.ifc, .dxf), позволяя использовать результаты проектирования на любых этапах коллективной работы над проектом. Для мониторинга объекта используется программное обеспечение SODIS Building, её главной функцией является использование информационной модели, которая содержит: сведения о контролируемых элементах или конструкци-

ях, инженерных системах и контрольных параметрах, датчиках и оборудовании, с помощью которых они вычисляются.

BIM – технологии требуют широкого внедрения в учебные заведения, начиная с самых истоков. Большое значение может сыграть возвращение в школьную программу старших классов одного из самых важных для инженерного образования, учебного предмета – черчения. Черчение является базовым аспектом для дальнейшего инженерного образования. В настоящее время перед Россией стоят задачи подготовки востребованных на современном рынке высококвалифицированных инженерных кадров.

В городе Санкт-Петербурге в университете ИТМО уже запущена образовательная программа профессиональной переподготовки совместно с ООО «Научно-технический центр «Эталон». Большая часть учебной программы посвящена изучению технологии информационного моделирования здания. По окончанию обучения специалисты получают возможность стать высокооплачиваемыми менеджерами, моделерами или координаторами в сфере BIM. В Москве «Академия BIM» открыла учебный центр по BIM-моделированию. Авторами программы предусмотрены различные уровни обучения – от базового до продвинутого и степени BIM-мастер, а также возможность организации индивидуальных курсов для корпоративных клиентов. На основе Тюменского Индустриального Университета, «Нефтегазпроект» запустил пилотный проект по применению BIM-технологий, основанных на использовании наземного лазерного сканирования, при котором создание трехмерной модель осуществлялось при помощи 3D сканера.

На сегодняшний день в России уже существуют объекты, реализованные с применением BIM-технологий. Одними из самых известных являются олимпийские объекты Сочи-2014 и стадион чемпионата мира по футболу 2018. При возведении которых возникли и некоторые трудности. Например, при разработке информационных моделей объектов Сочи-2014 на основе двухмерных чертежей было выявлено множество неточностей и нестыковок уже на этапе строительства, что повлекло за собой дополнительные финансовые и времен-

ные издержки. Похожая ситуация сложилась и при проектировании стадионов чемпионата мира по футболу в 2018. На начальной стадии не была организована совместная работа по использованию данных технологий всеми участниками процессов, в связи с чем возникли временные издержки по постоянной актуализации информации между различными разделами проектной документации, обмен необходимыми заданиями и общую координацию работ [Шахраманьян, стр.2]. Осенью 2018 года в Москве планируется завершение строительства на территории Олимпийского комплекса «Лужники» центра художественной гимнастики Ирины Винер-Усмановой. Проект был признан лучшим в номинации «BIM – проект: спортивные объекты» первого международного конкурса «BIM-технологии». В разработке этого проекта принимали участие специалисты АО «Казанский Гипрониавиапром», которыми осуществлялось проектирование Казанского вертолетного завода, НТЦ ПАО «Татнефть» в Сколково, здания IT-города Иннополис и других сложных объектов.

Технологии информационного моделирования предлагают совершенно новые взгляды, подходы к созданию строительных объектов, позволяя сократить расходы на всех стадия жизненного цикла проекта, избегать возможных ошибок при проектировании, но для этого необходимо повышать уровень знаний и квалификацию технических кадров.

Список литературы

1. Голдобина Л.А. ВШ-технологии и опыт их внедрения в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 263-272. DOI: 10.18454/PM1.2017.2.263

2. Шахраманьян А.М., Яременко А.В., Блохин Ю.М. Опыт применения технологий информационного моделирования зданий при строительстве олимпийских объектов Сочи-2014 и стадионов чемпионата мира по футболу 2018 // Строительство: наука и образование. 2016. № 2. Ст. 2. Режим доступа: http://nso-journal.ru.

3. BIM технологии в строительстве: что это такое и зачем они нужны. – Режим доступа: https://dmstr.ru/articles/bim/ (дата обращения 15.12.2017)

4. В вузе начали обучать BIM-технологиям проектирования зданий и инфраструктуры. – Режим доступа:

http://news.ifmo.ru/ru/startups_and_business/initiative/news/6678/cad.ifmo.ru/cad.ifmo.ru/cad.ifmo.ru/cad.ifmo.ru/cad.ifmo.ru/ (дата обращения 25.12.2017)

5. Стратегия инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года / Минстрой. М., 2016. 63 с.

6. Стратегия инновационного развития строительной отрасли. - Режим доступа: http://www.minstroyrf.ru/press/strategiya-innovatsionnogo-razvitiya-stroitelnoy-otrasli-budet-predstavlena-na-rassmotrenie-v-pravit/ (дата обращения 05.01.2018).

Исследование мел-частотных кепстральных коэффициентов и их производных при решении задачи голосовой идентификации

Санникова А.В.[a], Трушкова У.А.[b], Лялин С.Г.[c]
студентка группы ИТб-3301-01-00[a]
студентка группы ИТб-3301-01-00[b]
преподаватель кафедры АТ[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
E-mail: lyalinstas@gmail.com[c]

Аннотация: В данной работе исследуются мел-частотные кепстральные коэффициенты, а также их первая и вторая производные применительно к задаче голосовой идентификации. Актуальность задачи обусловлена возрастающей необходимостью защиты важной информации от несанкционированного доступа. Один из современных подходов решения задачи – использование биометрических признаков, в частности, уникальных голосовых признаков диктора. В основе разработанной модели – классификатор по методу k ближайших соседей. Разработанная модель позволяет идентифицировать пользователей с точностью 97% по коротким голосовым записям длительностью 3-5 секунд с частотой дискретизации 48 кГц. При формировании голосового портрета использовалось 3 голосовых фрагмента для каждого диктора, при тестировании модели – по одному звуковому фрагменту. Полученное решение может быть использовано для обеспечения безопасности на небольших предприятиях (до 100 человек).

Ключевые слова: голосовые признаки, задача классификации, метод k ближайших соседей.

Речевое взаимодействие человека и техники уже не миф. Повсеместно используются преобразование речи в текст и наоборот, распознавание команд с их последующим выполнением, определение человека по голосу.

Несмотря на то, что данные операции легки в использовании, за ними стоят достаточно сложные алгоритмы автоматического распознавания речи. В данной статье исследован способ распознавания человека по голосу с помощью вычисления мел-частотных кепстральных коэффициентов (МЧКК).

Мел-частотные кепстральные коэффициенты хорошо зарекомендовали себя в области распознавания человека по голосу. Их отличительной особенностью является выделения индивидуальных особенностей в речи говорящего, таких как акцент, тембр, дефекты речи.

Перейдем непосредственно к алгоритму вычисления МЧКК (рис.1). Первым этапом является построение треугольных фильтров по методике, описанной в [1]. Данные фильтры позволяют просуммировать количество энергии на определённом диапазоне частот и получить мел-коэффициент.

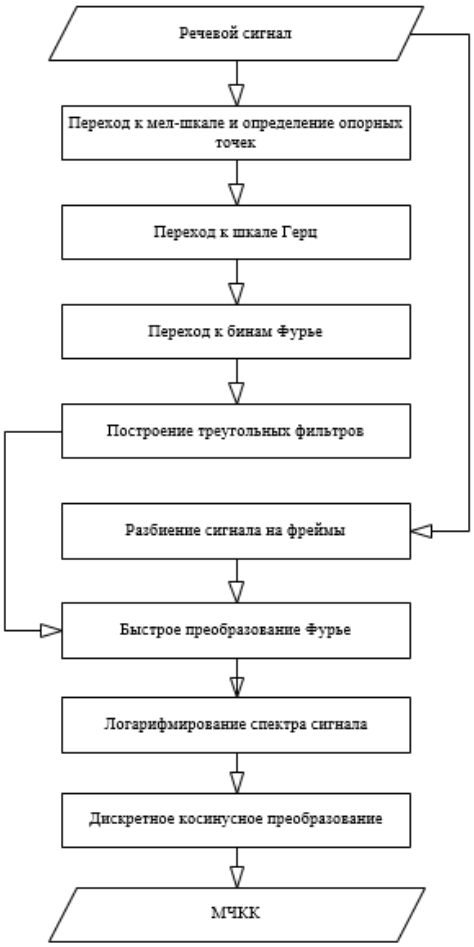


Рисунок 1. Алгоритм вычисления МЧКК

Для начала выполним переход к мел-шкале и определим опорные точки, на основе которых будут строится треугольные фильтры. Если требуется N-фильтров, то выбираются N+2 опорные точки. Равномерно распределяем данное количество точек в мел-области и выполняем обратный переход к шкале Герц [2].

Вследствие того, что последующее преобразование Фурье принимает за единицу измерения бины Фурье, выполним переход от Герц к бинам. И, основываясь на полученных точках строим треугольные фильтры (рис.2).

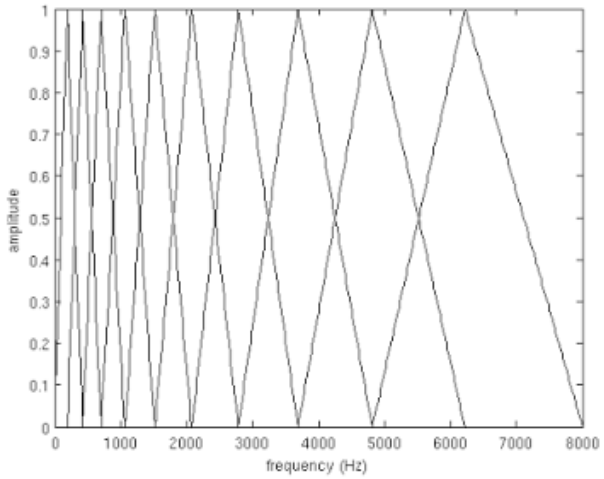


Рисунок 2. Построение треугольных фильтров

Разобьем исходный сигнал на фреймы одинаковой длины. Вследствие своей волновой природы, сигнал более оптимально анализировать на промежутках, чем в конкретно заданных точках. Следует учесть, что фреймы должны идти не строго друг за другом, а немного «внахлест» (рис.3), что позволяет сгладить результаты анализа. В [3] рекомендуется 50% перекрытие фреймов.

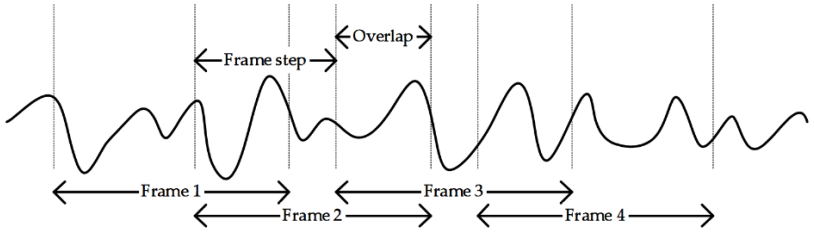


Рисунок 3. Разбиение сигнала на фреймы

Далее необходимо получить спектр мощности исходного сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier Transform). Данное преобразование проводится для каждого фрейма с целью выделения энергии сигнала и «сжатия» обрабатываемой информации.

Следующим этапом вычисления МЧКК служит применение фильтра к энергии спектра. Результатом этой операции являются мел-коэффициенты, количество которых определяется количеством треугольных фильтров. Далее проводится логарифмирование полученных результатов для понижения чувствительности коэффициентов к шумам.

Последним шагом для вычисления МЧКК служит дискретное косинусное преобразование (ДКП). Посредствам его использования мы получаем искомые коэффициенты, полученные вследствие «сжатия» результатов. Основной задачей ДКП является повышение значимости для первых коэффициентов и уменьшение для последних (рис.4). Как сказано в [4], кепстр – это спектр спектра, то есть можно было применить преобразование Фурье к полученным коэффициентам, но вместо этого используется ДКП. Методика вычисления ДКП описана в [5].

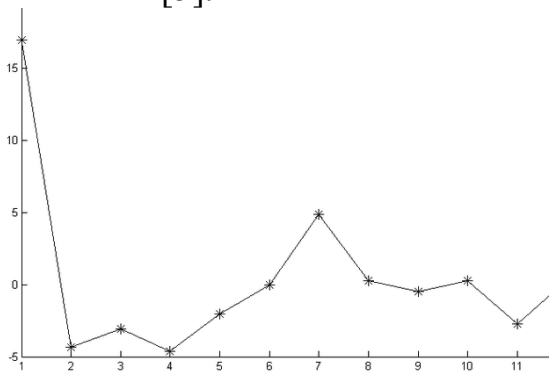


Рисунок 4. Пример полученных МЧКК

Выполнять распознавание личности по голосу на основе лишь МЧКК было бы неверно, потому как необходимо учитывать роль индивидуальных особенностей речи. Для этих целей вычисляются их первые и вторые производные. Совокупность всех этих данных позволяет построить вектор признаков, на основе которого будет проводится идентификация личности с макси-

мальной точностью распознавания.

Перейдем к алгоритму построения вектора признаков (рис. 5)

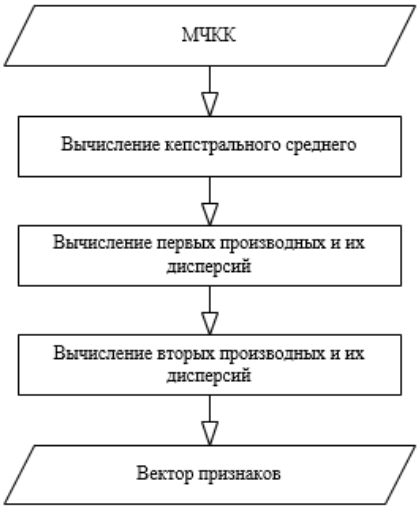


Рисунок 5. Алгоритм построения вектора признаков

Вычисление кепстрального среднего позволяет уменьшить влияние индивидуальных особенностей речи говорящего, поэтому в первые N-признаков входит именно кепстральное среднее, а не исходные МЧКК.

При распознавании речи необходимо учитывать такие факторы, как динамика речи и эмоциональный фон. Для этого в вектор признаков добавляют первые и вторые производные МЧКК.

Сформированный таким образом вектор признаков можно считать устойчивым к эмоциям и инвариантным к говорящему.

Модель, основанная на векторе-признаков, сформирована, и следующей задачей является идентификация человека по голосу. Для этого будет использоваться алгоритм классификации k-ближайших соседей (k Nearest Neighbor или kNN). Его суть сводится к определению принадлежности классифицируемого объекта к конкретному классу, посредствам вычисления ближайшего расстояния между ними.

В данной работе обучение и тестирование данных производится с помощью заранее подготовленной коллекции аудиофайлов. В ней представлены по четыре аудиозаписи от ста людей разного пола и возраста. Первые три голосовые записи используются для построения обучающей выборки, и по одному аудиофайлу приходится на построение тестовых выборок. В kNN используется метрика «городских кварталов», количество ближайших соседей равно трем, вследствие того, что при построении обучающей выборки используются три звуковых файла.

Благодаря «ленивым» особенностям kNN, есть возможность тестирования алгоритма построения вектора признаков на ста разных примерах, что позволяет более точно определить качество распознавания человека по голосу.

В данной работе максимальная точность распознавания составила 97,1%. Для ее повышения можно применять первичную предобработку сигнала, что позволяет устранить шум, а также использование оконных функций, такие как Окно Хэмминга, Чебышева и т.п. для уменьшения ошибок, полученных вследствие разбиения сигнал на фреймы.

К несомненным достоинствам МЧКК можно отнести высокую точность распознавания, возможность «сжатия» обрабатываемой информации, выделения наиболее значимых для восприятия человеком частот.

Что касается недостатков, то вследствие своей чувствительности к шумам требуют дополнительные фильтры и преобразования. Большой акцент на индивидуальные признаки говорящего затрудняет создания идентификационной модели, что так же требует дополнительных преобразований, таких как построение вектора признаков.

Список литературы

1. *Методика формирования устойчивых к эмоциям информативных признаков для задачи распознавания речи:* Ткаченя А. В.// Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 6. С. 443—450.

2. *Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) tutorial* // Practical Cryptography [Электронный ресурс]. URL: http://www.practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs/ (дата обращения: 21.12.2017).

3. *Распознавание речи для чайников* // Хабрхабр [Электронный ресурс]. URL: https://habrahabr.ru/post/226143/ (дата обращения: 21.12.2017).

4. *Мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) и распознавание речи* // Хабрхабр [Электронный ресурс]. URL: https://habrahabr.ru/post/140828/ (дата обращения: 21.12.2017).

5. *Разработка компьютерной системы распознавания речи*: Ковтун В.В., Федоров Е.Е. // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2015/01/45410 (дата обращения: 21.12.2017).

Освоение сложных разделов электротехники с помощью Qucs в рамках лабораторного практикума

Семёновых Л. В.[a]
старший преподаватель кафедры электротехники и электроники[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: usr06239@vyatsu.ru[a]

Аннотация: В статье показана важность лабораторного практикума для будущих специалистов электротехнического профиля. С помощью диаграммы Исикавы выявлены причинно-следственные связи низкой эффективности существующего порядка проведения лабораторных работ, связанные с преподавателем, студентом, учебными материалами, процессом, оборудованием и средой. Обобщён персональный опыт автора, намечены пути оптимизации, описана методика и инструменты, позволяющие облегчить процесс освоения сложных тем электротехники. Рассмотрен пример лабораторной работы по переходным процессам в линейных электрических цепях с использованием Qucs, а также эвристического и дифференциального подходов к обучению. Показаны возможности использования бесплатной программы Qucs для подготовки к аудиторной лабораторной работе по переходным процессам, при оформлении отчёта и формулировке выводов. Определены ограничения в использовании программ-симуляторов электрических цепей.

Ключевые слова: диаграмма Исикавы, дифференцированный подход в обучении, моделирование, переходные процессы.

Неотъемлемой частью электротехнического образования являются лабораторные работы на реальном оборудовании, в ходе которых происходит актуализация теории, изучение методик постановки эксперимента, формирование навыков чтения электрических схем, сборки цепей и измерений.

При всей важности лабораторного практикума не редки ситуации, когда студенты не могут подвести содержательные итоги выполненной работы, из раза в раз делают одни и те же ошибки при сборке цепей, а на экзамене не могут ответить на вопрос, по которому сами же ранее ставили эксперимент. Можно констатировать, что в настоящее время студенты выполняют лабораторные работы непродуктивно.

Целью исследования, обобщённого в статье, является повышение продуктивности лабораторных работ по электротехнике с помощью Qucs в рамках субъектно-ориентированного обучения студентов.

Автор ставила перед собой задачи: выявить причины недостаточной эффективности существующего порядка проведения лабораторных работ; наметить пути исправления сложившейся ситуации; сформулировать методику оптимизированного лабораторного занятия с использованием Qucs; определить границы применения предложенной методики. Объект исследования – лабораторный практикум по электротехнике.

В работе использованы следующие методы: анализ причинно-следственных связей с помощью диаграммы Исикавы; генерализация персонального опыта преподавания электротехники; оптимизация лабораторного практикума.

Анализ причин неэффективности лабораторных работ проведён с помощью диаграммы «рыбьи кости» (диаграмма Исикавы, рис. 1). Выделены шесть основных причин, связанных с преподавателем, студентом, учебными материалами, процессом, оборудованием и средой.

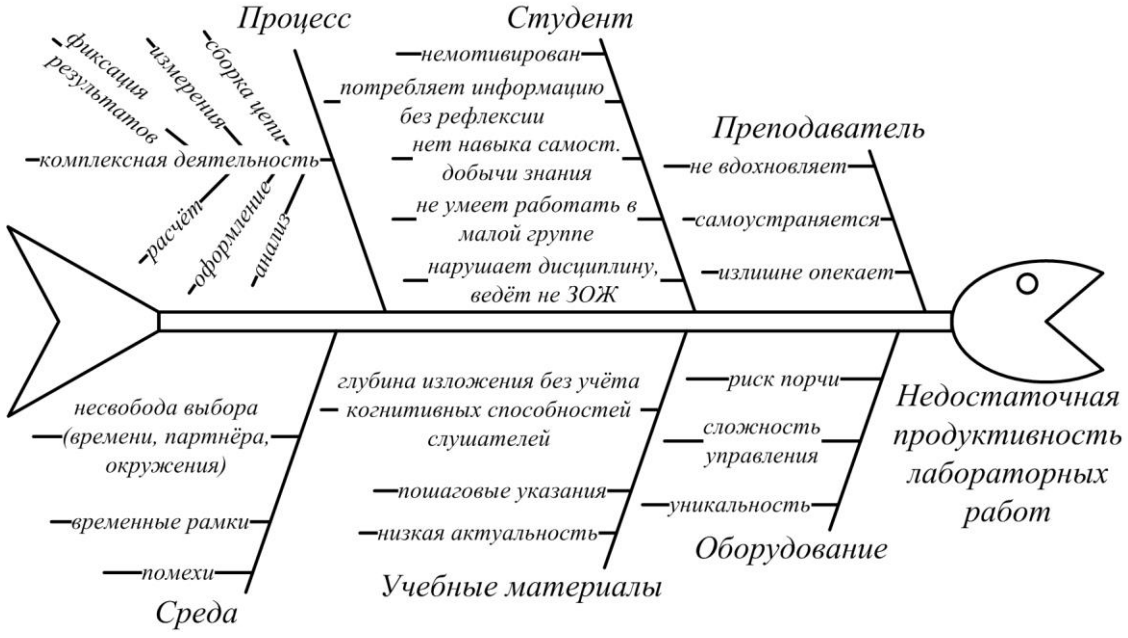


Рисунок 1. Анализ причин недостаточной продуктивности лабораторных работ по электротехнике

Преподаватель наравне со студентами является ключевой фигурой процесса образования, от его усилий во многом зависит, какие знания, умения и

навыки они приобретут. Помимо владения своей темой, преподавателю необходимо мотивировать студентов, показывать важность текущего этапа для их будущей деятельности, проводить параллели к другим дисциплинам профессионального цикла, – иначе студенты выполняют лабораторную «на автомате», следуя ходу работы без понимания.

Учебные материалы («методички») часто не соответствуют когнитивным способностям современных студентов: либо изложение слишком строгое, либо слишком детализированное. В первом случае, описание изобилует теоретическими выкладками и сложными для понимания формулировками. Во втором случае ход лабораторной работы представлен пошаговым описанием, не стимулирующим студента формулировать свои вопросы, что ведёт к иллюзии полного понимания и присутствию в аудитории в «спящем режиме».

Традиционная лабораторная работа по электротехнике является одним из самых сложных видов деятельности для среднестатистического студента, и включает в себя повторение теории, сборку цепи, измерения, фиксацию результатов, оформление (таблиц, схем, диаграмм), расчёты и анализ. Т.к. многие современные студенты неусидчивы и не могут работать без образца, то логичным шагом при возникновении трудностей для них является копирование чужих отчётов.

Для проведения опытов используется дорогостоящее лабораторное оборудование, некорректное обращение с которым может привести к поломке, поэтому студенты и преподаватель постоянно находятся в состоянии психологического напряжения, что ограничивает исследовательские возможности и позитивную инициативу. Также к стрессу приводит и несвобода как характеристика среды – студенты работают в жёстких временных рамках в коллективе, не всегда способствующем плодотворной деятельности.

Обобщённые выше причины низкой продуктивности лабораторных работ могут быть частично устранены в рамках субъектно-ориентированного обучения. Необходимо понимать, что роль преподавателя в настоящее время меняется, из носителя уникального знания он превращается в партнёра и помощника

студента [Марус, с.1]. Трансформируется отношение к студенту: от «ты обязан» до «тут ты можешь проявить себя».

Субъектно-ориентированное обучение предусматривает дифференцированный подход: преподавателю необходимо помогать студентам прийти к ответу самим, не предлагая готовых решений; показывать эффективные способы поиска информации; способствовать налаживанию коллективной работы в малой группе; поощрять продуктивную деятельность любой степени сложности; хорошо успевающим студентам предлагать более трудоёмкие задания (по согласию, за оценку), а менее успевающим студентам – пошаговые инструкции по работе; прививать привычку делать выводы о прочитанном и услышанном (для каждого небольшого блока информации); в процесс обучения вносить элемент игры (геймификация: каждая лабораторная работа как мини-исследование, как составляющая профессиональной деятельности).

Очень важно побуждать студентов к *рукописному оформлению* работы, т.к. современная молодёжь и так слишком много времени проводит за компьютером, у неё нет проблем пользования офисными программами, в то время как письмо от руки – сложный психофизиологический процесс, – позволяет полностью сосредоточиться, остановить «непрекращающийся клип» в голове, перестать «пропускать мимо ушей» полезную информацию. Преподавателю необходимо заранее хронометрировать затраты времени на оформление, чтобы не превысить 2 ч., оговорённых в положении о самостоятельной работе студентов [Положение, с.11].

Во избежание порчи оборудования целесообразно использовать мысленный эксперимент, проводить «мозговой штурм» (в т.ч. возможных аварийных ситуаций), использовать предварительные расчёты и моделирование.

Одной из самых сложных в курсе электротехники является тема «Переходные процессы в линейных электрических цепях», изучение которой важно как для становления научного мировоззрения (преобразование энергии не происходит мгновенно), так и для формирования инженерных компетенций. Проектирование электротехнических устройств, предназначенных для генерации и

усиления импульсных сигналов, невозможно без учёта переходных процессов, т.к. длительность последних соизмерима с периодом сигналов. Из-за переходных процессов при прохождении импульсов в линейных цепях искажаются их формы, на отдельных участках могут возникать перенапряжения и большие токи по сравнению со стационарным режимом.

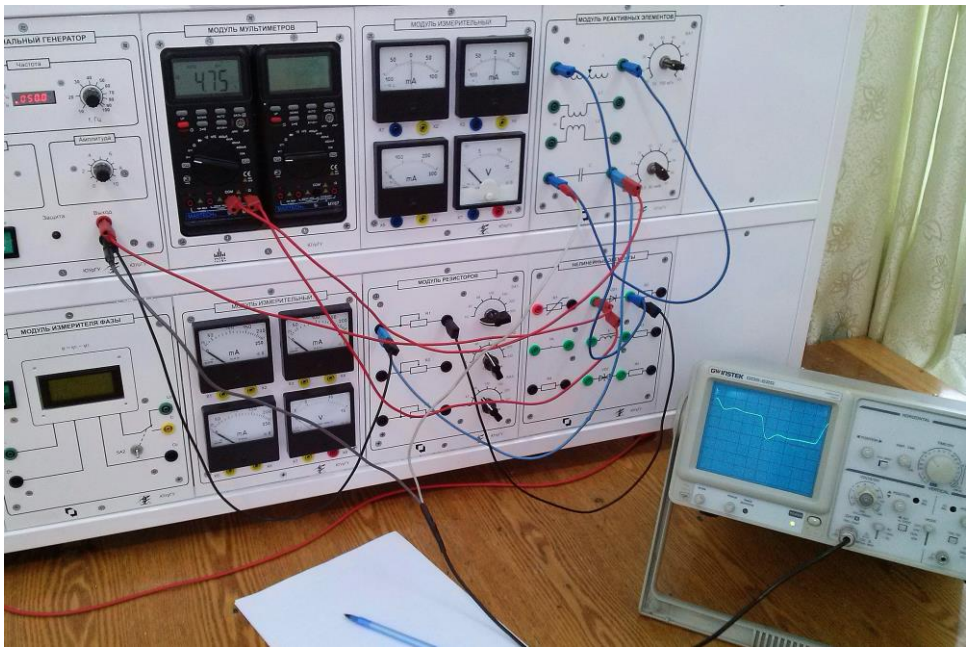


Рисунок 2. Фото лабораторного стенда с собранной цепью

Экспериментальному подтверждению теории и углублению знаний по данной теме посвящена лабораторная работа «Разряд конденсатора *C* на цепь *R-L*» [Агалакова и др., с.96], в процессе которой у студентов возникают трудности технического, математического и психологического плана.

Как видно по рис.2, экспериментальная часть включает сборку цепи, измерения, наблюдение переходного процесса на экране осциллографа с фиксацией временных диаграмм. Студентам необходимо определить, как на характер и длительность переходного процесса влияет соотношение *R-L-C* параметров цепи. Временная диаграмма даёт массу полезной информации (начальные условия, принуждённый режим, насколько долго идёт переходный процесс), однако использование осциллографа традиционно вызывает трудности у студентов.

При оформлении отчёта студенты рассчитывают классическим методом апериодический и колебательный переходные процессы, сравнивают с экспериментальными данными постоянную времени, максимальное значение тока, период свободных колебаний и декремент затухания, строят и анализируют графики напряжения на конденсаторе и резисторе в функции времени.

Для коммутации в цепи используются источник прямоугольного сигнала и диод. Конденсатор работает сначала в режиме накопления энергии, а потом разряда, поэтому на осциллографе наблюдаются сразу два переходных процесса. Студентам нелегко сориентироваться, что считать начальными условиями при расчёте разряда конденсатора, т.к. на лекциях рассматривается изолированный переходный процесс между установившимися режимами.

Выше анализировались причины низкой эффективности лабораторных работ, к сожалению, данная работа не исключение, однако улучшить ситуацию возможно при использовании бесплатного симулятора электрических цепей Qucs[8]. Автор ранее уже обращалась к данной теме [Семёновых, с. 2080], показывая пользу программы для самостоятельной работы студентов. Рассмотрим использование Qucs при подготовке к аудиторной лабораторной работе по переходным процессам и оформлении отчёта.

Для самостоятельной проработки темы выдаётся индивидуальный вариант задания (значения *R-L-C*, параметры источника питания). Студент «чертит» схему полностью соответствующую схеме из аудиторной лабораторной работы (рис.3). Для указания Qucs, какие участки цепи представляют интерес (куда будет в реальности подключаться осциллограф), на схеме ставятся метки. Элементам назначаются числовые параметры в соответствии с вариантом. Запускается моделирование с выводом осциллограмм интересующих величин.

При варьировании параметров *R-L-C* и источника питания видно как изменяются осциллограммы. Увеличение шага моделирования даёт более точные диаграммы переходных напряжений, по которым можно рассчитать параметры процесса, такие, например, как длительность или постоянную времени.

[8] Официальный сайт проекта Qucs. URL: http://qucs.sourceforge.net/index.html.

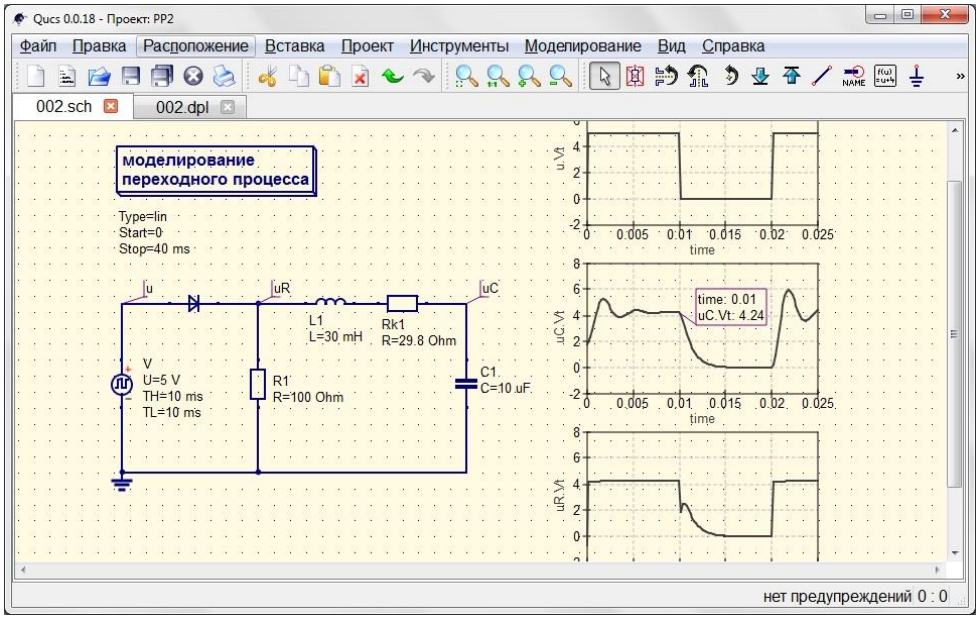


Рисунок 3. Рабочая область Qucs с исследуемой схемой
и осциллограммами напряжений

Позанимавшийся некоторое время в Qucs студент выполняет аудиторную лабораторную работу, уже имея представления об объекте исследования и ожидаемых результатах, а также, вероятно, и вопросы к преподавателю (например, для чего в цепи используется диод). Ситуация, когда в протокол исследования закрадываются досадные ошибки, становится маловероятной. При оформлении отчёта студент может неограниченное число раз «проигрывать» эксперимент, что полезно для объяснения изучаемых явлений и формулировки выводов.

Использование Qucs позволяет реализовать дифференцированный и эвристический подходы в обучении. Успевающие студенты могут исследовать цепь, содержащую три энергоёмких элемента, или переходный процесс при воздействии сигнала «треугольной» формы (предварительно смоделировав источник сигнала с помощью ряда Фурье), а также сами поставить эксперимент (определить цель и задачи, выбрать инструментарий и т.д.). Студенты, не достаточно усвоившие тему, могут изучать цепь первого порядка, аналитический расчёт которой достаточно прост, поэтому сопоставление модели и расчёта полезно использовать для изучения «азов» (установившиеся режимы, законы коммутации, характеристическое уравнение и др.).

Заключение.

В статье проведён анализ причин низкой эффективности лабораторных работ, связанных с преподавателем, студентом, учебными материалами, процессом, оборудованием и средой. Показаны возможности исправления ситуации, даны рекомендации по использованию программы-симулятора электрических цепей Qucs и дифференцированного подхода в обучении.

Использование Qucs в учебном процессе имеет ограничения, необходимо помнить, что это всё-таки симулятор, т.е. если в программе выполняется тождество, соответствующее первому закону Кирхгофа, это вовсе не подтверждает реального выполнения данного закона с точки зрения физики. Программа моделирует цепь в соответствии с прописанным алгоритмом, студент же должен «пощупать» электричество, увидеть элементы реальной электрической цепи, снять показания настоящих измерительных приборов, получить навыки безопасной работы.

Список литературы

1. Марус Ю. В. Изменение роли преподавателя вуза в современных условиях // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. №2 (9). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-roli-prepodavatelya-vuza-v-sovremennyh-usloviyah (дата обращения: 17.01.2018).

2. Положение об организации самостоятельной работы обучающихся, осваивающих программы высшего образования в ФГБОУ ВПО «ВятГУ». – Киров, 2014. – 11 с.

3. Линейные и нелинейные электрические цепи: учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» всех профилей подготовки, всех форм обучения / Л.М. Агалакова и др. Киров: ПРИП ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2012. 160 с.

4. Семёновых Л.В. Qucs – симулятор электрических цепей в помощь инженеру и студенту // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017) : сб. статей Всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 1-29 апр. 2017 г. Киров, 2017. С. 2080-2087.

Структура и твердость сплава Zn–23%Al в зависимости от вида и степени пластической деформации

А. В. Сергеева[a], А. И. Скворцов[b], Д. А. Бердов[c], Д. С. Бузунов[d]
магистрант [a]
доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и основ конструирования [b]
магистрант [c]
аспирант [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c,d]
E-mail: nast28-83@mail.ru [a]

Аннотация: Исследовался предварительно закаленный от температуры выше температуры монотектоидного превращения сплав Zn–23%Al. Изучено влияние степени пластической деформации при комнатной температуре на его микроструктуру и твердость. Использованы виды деформации: осадка и осадка с последующим кручением. Выявлено, что увеличение степени пластической деформации вне зависимости от характера нагружения приводит к уменьшению твердости сплава и расслоению структуры. Структура в исходном состоянии представляет собой достаточно однородный монотектоид. Пластическая деформация при комнатной температуре образует структуру, состоящую из монотектоидных колоний, разделенных между собой светлыми прослойками, состоящими, в основном, из β-фазы, которые обладают более низкой микротвердостью по сравнению с монотектоидом. Уменьшение твердости сплава с увеличением степени пластической деформации можно связать с интенсификацией механизма зернограничного скольжения и ослаблением влияния механизма, обусловленного внутризеренной концентрационной неоднородностью.

Ключевые слова: монотектоидный сплав системы цинк–алюминий, закалка, пластическая деформация осадкой и кручением, твердость, структура.

Введение

Вопросы улучшения свойств материалов являются первостепенными как для промышленности, так и для науки. Особенно актуальной остается проблема повышения прочности и пластичности различных материалов, в частности металлов и их сплавов. Изучение свойств и структуры сплавов Al–Zn является актуальной задачей, так как сплавы на основе цинка и алюминия обладают высоким комплексом технологических свойств, такими как сверхпластичность, жидкотекучесть, низкие температуры термической обработки, низкие температуры обработки давлением, а также относительной дешевизной и доступностью [1–3].

Влияние степени пластической деформации осадкой при комнатной температуре на твердость сплавов системы Al–Zn после различных видов предварительной термической обработки рассмотрено в работах [4–7]. Представляет интерес изучение поведения физико-механических свойств и структуры этих сплавов при обработке таким методом интенсивной пластической деформации, как осадка с кручением. Целью настоящей работы является изучение особенностей влияния деформации осадкой с кручением при комнатной температуре на структуру и твердость предварительно закаленного монотектоидного сплава в сравнении с деформацией только осадкой.

Материал и методика исследований

Исследовали двойной сплав Zn–23%Al (22,7 % Al; не более 0,15 % примесей, остальное – Zn), полученный в открытой тигельной печи из чистых шихтовых материалов: цинка Ц0 и алюминия А99 (здесь и далее % – массовые). Отливки были получены литьем в металлическую форму. Для исследования использовались образцы в литом состоянии диаметром 5 мм и высотой 5 мм. Перед пластической деформацией образцы подвергались нагреву при 360 °С и закалке в воде комнатной температуры.

В первом случае термически обработанные образцы деформировались осадкой на гидравлическом прессе при комнатной температуре с нарастающей степенью деформации ε. Максимальная степень деформации ограничивалась мощностью пресса. Средняя скорость деформации 0,5 мм/с

Во втором случае термически обработанные образцы деформировались осадкой на гидравлическом прессе при комнатной температуре с нарастающей степенью деформации ε, а затем деформировались кручением.

После каждой операции деформирования измерялась твердость и изучалась микроструктура.

Микроструктуру изучали на микроскопе «Neophot 21» после травления погружением в реактив составом: H_2SO_4 – 10 мл, HF – 10 мл, H_2O – 80 мл, с последующей промывкой в воде.

Методы измерения твердости: на приборе Виккерса ТВМ 1000 и на приборе «ПМТ-3М», – по стандартным методикам.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Твердость предварительно закаленного сплава Zn–23%Al при увеличении степени пластической деформации при комнатной температуре снижается как после деформации осадкой (рисунок 1), так и после деформации осадкой с последующим кручением (рисунке 2). Уровни зависимости $HV = f(\varepsilon)$ в том и другом случае мало отличаются.

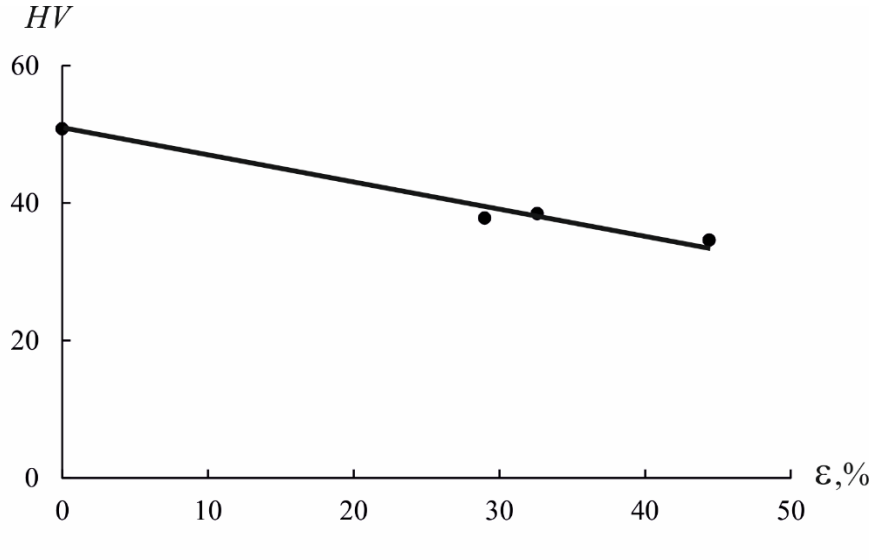


Рисунок 1. Зависимость твердости от степени пластической деформации осадкой закаленного от 360 °С сплава Zn–23%Al.

Пластическая деформация изменяет структуру сплава. В исходном перед пластической деформацией (закаленном) состоянии (рисунок 3, *а*) структурой сплава Zn–23%Al является относительно однородный монотектоид, состоящий из чередующихся зерен α-фазы (твердого раствора на основе Al) и β-фазы (твердого раствора на основе Zn) относительно компактной формы. Пластическая деформация независимо от ее характера: осадка (рисунок 3, *б*) или осадка с последующим кручением (рисунок 3, *в*) – вызывает расслоение фазовых составляющих сплава с образованием структуры, состоящей из монотектоидных колоний и светлых прослоек, в которых преобладают зерна β-фазы, что наблюдали и в работе [8]. Сравнение рисунков 3, *б* и *в* показывает, что деформация кручением вызывает некоторое размытие светлых прослоек.

Исследования показали, что независимо от вида пластической деформации микротвердость светлых прослоек меньше, чем микротвердость монотектоидных колоний, что соответствует представлению о светлых прослойках, как о состоящих, в основном, из зерен β-фазы.

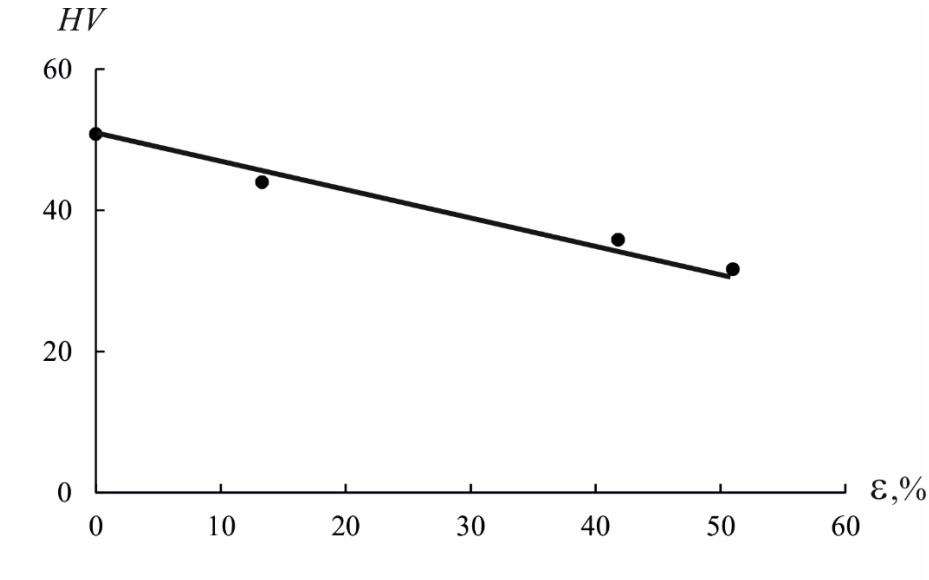


Рисунок 2. Зависимость твердости от степени пластической деформации осадкой с кручением закаленного от 360 °С сплава Zn–23%Al.

Сопоставление полученных результатов с опубликованными ранее работами, дает основание считать, что в случаях деформации осадкой и осадкой с кручением уменьшение твердости сплава с увеличением степени пластической деформации можно связать с интенсификацией механизма зернограничного скольжения и ослаблением влияния механизма, обусловленного внутризеренной концентрационной неоднородностью.

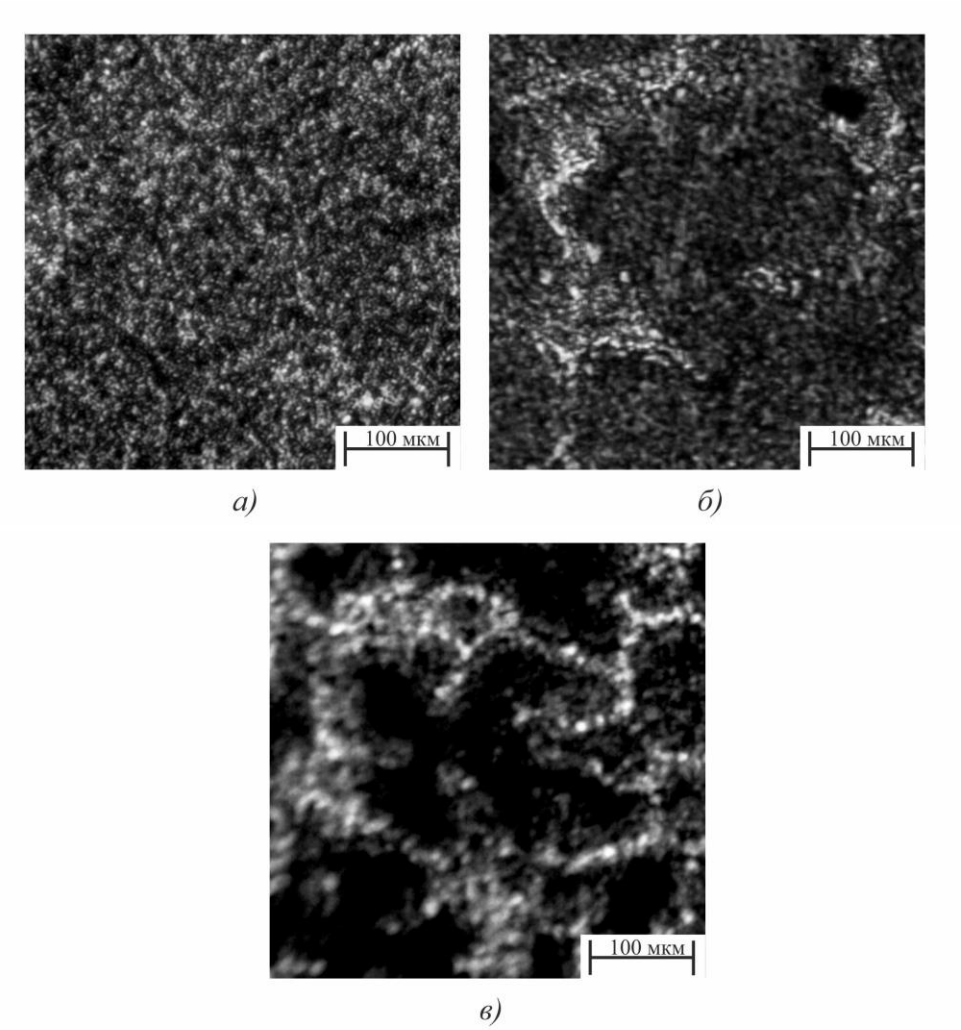


Рисунок 3. Структура сплава сплава Zn–23%Al после закалки от 360 °С (*а*), последующей деформации осадкой со степенью 70 % (*б*), деформации осадкой со степенью 51 % и последующим кручением на 0,75 оборота (*в*).

Выводы

1. Увеличение степени пластической деформации при комнатной температуре приводит к уменьшению твердости предварительно закаленного сплава Zn–23%Al.

2. Пластическая деформация как осадкой, так и осадкой с последующим кручением приводит к расслоению фазовых составляющих структуры сплава с образованием монотектоидных колоний, разделенных светлыми прослойками, характеризующимися более низкими значениями микротвердости. Деформация кручением вызывает некоторое размытие светлых прослоек.

3. В случаях деформации осадкой и осадкой с кручением уменьшение твердости сплава с увеличением степени пластической деформации можно свя-

зать с интенсификацией механизма зернограничного скольжения и ослаблением влияния механизма, обусловленного внутризеренной концентрационной неоднородностью.

Список литературы

1. Бочвар А. А., Свидерская З. А. Явление сверхпластичности в сплавах цинка с алюминием // Известия АН СССР. ОТН. 1945. № 9. С. 821–824.
2. Пресняков А. А. Сверхпластичность металлов и сплавов. – Алма-Ата: Наука, 1969. 210 с.
3. Скворцов А. И. Создание высокодемпфирующих сплавов железа, цинк–алюминий и основ технологии их термической обработки: диссертация ... доктора техн. наук. Екатеринбург: 1995. 286 с.
4. Скворцов А. И., Полев В. В. Разупрочнение и упрочнение металлов и сплавов системы Al–Zn при пластической деформации // Металловедение и термическая обработка металлов. 2017. № 8. С. 31–36.
5. Скворцов А. И., Скворцов А. А. Влияние старения на твердость и структуру закаленно-деформированного сплава Zn–23%Al // Металловедение и термическая обработка металлов. 2014. № 12. С. 41–45.
6. Скворцов А. И., Толстобров А. К. Закономерности влияния различных режимов термической обработки на характер зависимости твердость – степень пластической деформации сплава ЦА23 // Технология металлов. 2015. № 1. С. 18–21.
7. Скворцов А. И., Толстобров А. К. Влияние термической обработки на зависимость твердости от степени пластической деформации для сплава ЦА39 // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 8. С. 43–45.
8. Скворцов А. И., Сергеева А. В. Структура и физико-механические свойства сверхпластичного сплава Zn–23%Al в зависимости от степени пластической деформации // Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии / Сборник материалов IV международной конференции. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. 2017. С. 37–42.

Обзор современных тенденций повышения эксплуатационных свойств циркуляционных насосов

Симонов М. В.[a] , Скворцов Д. Ю.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологий деревообработки[a]
магистрант кафедры технологии машиностроения[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E–mail: mv_simonov@vyatsu.ru[a], danil.skvorcov@list.ru[b]

Аннотация: Системы жидкостного охлаждения широко применяются для термостабилизации оборудования, установленного в изолированных отсеках железнодорожных локомотивов, и имеющего достаточно большую мощность тепловыделения. Обязательным элементом системы охлаждения является циркуляционный насос. К насосам, используемым в системах жидкостного охлаждения оборудования железнодорожных локомотивов, предъявляются специфические требования. Применяемые в настоящее время насосы систем жидкостного охлаждения оборудования железнодорожных локомотивов импортного производства, а отечественные конструкции не в полной мере отвечают предъявляемым к ним современным требованиям. Основные причины этого применяемые в отечественных конструкциях насосов устаревшие материалы и при изготовлении – устаревшие технологии. Проведенный обзор и анализ научно–технической литературы позволил выявить основные современные тенденции, направленные на повышение долговечности и снижение материалоемкости циркуляционных насосов для систем жидкостного охлаждения оборудования железнодорожных локомотивов.

Ключевые слова: железнодорожный локомотив, система жидкостного охлаждения, термостабилизация оборудования.

Системы жидкостного охлаждения (СЖО) широко применяются для термостабилизации оборудования, установленного в изолированных отсеках железнодорожных локомотивов, и имеющего достаточно большую мощность тепловыделения.

Как правило, система жидкостного охлаждения содержит циркуляционные насосы (обычно два и более, с учетом резервирования), блок управления и контроля, жидкостно – воздушный теплообменник, блок подогрева жидкости и соответствующую запорно – регулирующую арматуру. В качестве рабочей жидкости могут использоваться как этиленгликолевые теплоносители, так и иные смеси с низкой температурой замерзания. К насосам, используемым в

СЖО оборудования железнодорожных локомотивов, предъявляются следующие требования [Краев, с.128]:

1. Малый вес и габаритные размеры;

2. Высокие напоры (до 50...70 м) при относительно малых подачах, что принципиально отличает их от большинства циркуляционных насосов;

3. Высокие частоты вращения ротора насоса, что является следствием необходимости обеспечения высоких напоров при малых габаритных размерах насосов;

4. Соответствие сложному комплексу требований по виброакустическим параметрам, устойчивости к климатическим и вибрационным факторам и другим видам воздействий;

5. Высокая надежность и удобство замены;

6. Возможность работы на жидкостях высокой вязкости [Петров, с.150];

7. Отсутствие внешних утечек.

Применяемые в настоящее время насосы СЖО оборудования железнодорожных локомотивов не в полной мере отвечают предъявляемым к ним современным требованиям. Основные причины этого следующие:

Во–первых, практически все они были разработаны более 20 лет назад и в их конструкции используются устаревшие материалы, а при изготовлении – устаревшие технологии, что негативно сказывается на их надежности и материалоемкости.

Во–вторых, разработчиками и изготовителями таких насосов являлись зарубежные европейские предприятия и насосы до последнего времени закупались для нужд ЖД транспорта, что в связи с политическими событиями ставит вопрос о необходимости импортозамещения.

Проведенный обзор научно–технической литературы позволил выявить основные современные тенденции, направленные на повышение долговечности и снижение материалоемкости насосов.

Первая тенденция, уже давно прослеживающаяся в зарубежных аналогах таких насосов – широкое применение новых материалов, таких, как композиты,

керамика, различные виды покрытий [Горбенко, с.25]. Здесь нужно заметить, что вследствие недостаточной стойкости дюралюминиевых сплавов к некоторым рабочим жидкостям основными материалами для изготовления деталей насосов являются нержавеющие стали, бронзы, латунь и т.д. Это существенно увеличивает вес насосных агрегатов и их стоимость. Между тем сейчас в нашей стране производятся самые разнообразные современные материалы, в частности, фторуглепластики, керамика и др., применение которых позволило бы существенно снизить массу насосов и увеличить их срок службы. Причем стойкость таких материалов к основным антифризам и различного рода присадкам уже проверена. Пример – использование композитных материалов марок ФУТ и УГЭТ разработки ФГУП «Прометей» (Санкт–Петербург) [Петров, с.120].

Желателен также переход от подшипников качения к подшипникам скольжения, работающим на перекачиваемой жидкости. Большой интерес представляют керамические подшипники из карбида вольфрама, или с плазменным напылением данного материала, так как для них допустимые сроки службы могут составлять десятки лет.

Вторая тенденция – более широкое использование герметичных насосов, в том числе насосов с магнитной муфтой, двойным торцевым уплотнением [Ломакин, с.49] и с гильзованным электродвигателем (герметичные).

Насосы с двойными торцевыми уплотнениями вала не могут обеспечить полную герметичность, но могут перекачивать загрязненные жидкости. Такие насосы дороже герметичных насосов, так как к цене насоса добавляется стоимость обвязки. Эксплуатация системы обвязки торцевых уплотнений насоса требует расходов на обслуживание (балансировка, контроль герметичности, контроль и поддержание давления в системах обвязки), также требуется оплачивать работу персонала, выполняющего эти процедуры, регулярно проводить замены самих уплотнений. Герметичные насосы лишены этих недостатков.

Насосы с магнитной муфтой более дорогие, чем насосы с гильзованным двигателем и требуют центровки ротора. Однако электродвигатель насоса с магнитной муфтой существенно проще обслуживать, его можно легко перема-

тывать или быстро найти замену на аналогичный. Несмотря на более низкий КПД по сравнению с другими типами насосов, они имеют меньшие габариты, большие сроки службы и безопаснее в эксплуатации, так как исключают утечки жидкости из полости насоса и не требуют систем дренажа.

Третья тенденция – совершенствование контроля и управления СЖО. В связи с интенсивным развитием микроэлектроники появились принципиально новые возможности по регулированию данных систем. Так, использование вентильных высокооборотных электродвигателей, имеющих встроенный частотный регулятор и средства постоянного контроля состояния двигателя, принципиально меняет подход к регулированию работы СЖО во всем диапазоне возможных режимов.

Вместо дискретного регулирования тепловых режимов системы путем включения – выключения вентиляторов, либо дроссельного регулирования, весьма невыгодного с точки зрения энергоэффективности, можно, пользуясь обратной связью по температуре жидкости и ПИД – регулятором, непрерывно менять частоту вращения вала насоса и с высокой точностью поддерживать требуемую температуру охлаждаемого объекта [Петров, с.40]. Это также весьма важно при низких температурах рабочей жидкости (при запуске в зимнее время), поскольку позволяет исключить выход из строя насоса из–за перегрузки [Протопопов, с.53].

Что же касается систем контроля, то в иностранных насосах давно используются встроенные датчики вибрации, температуры обмоток электродвигателя, защиты от сухого хода и т.п., ведется учет наработки насоса, причем все данные могут как записываться на встроенную в агрегат микросхему памяти, так и передаваться по цифровой шине в центральный процессор системы. Такой подход позволяет определять наработку насоса, прогнозировать его остаточный ресурс и своевременно предупреждать неисправности, причем стоимость таких систем постоянно снижается, они используются даже в погружных сточно – массных насосах.

Четвертая тенденция – совершенствование проточных частей насосов методами гидродинамического моделирования в программных комплексах типа ANSYS CFX и STAR CCM+. Практика показала, что для насосов с малыми размерами проточной части и низкими коэффициентами быстроходности такой подход позволяет увеличить КПД насоса на 5...10%.

На основе всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. С целью замены устаревших импортных насосов для СЖО оборудования железнодорожных локомотивов необходима разработка нового семейства насосов отечественного производства, отвечающих современным требованиям.

2. Новые насосы следует создавать с максимальным использованием современных технологий и материалов, что позволит существенно повысить их надежность, срок службы и энергоэффективность, а также снизит их материалоемкость.

3. Перспективной конструкцией насоса является герметичный циркуляционный насос с гильзованным электродвигателем, обладающий очень компактной конструкцией. Корпус насоса цельнолитой, без сварных швов. Электродвигатель и насос образуют моноблок. Ротор герметичного насоса, рабочее колесо установлены на едином валу, исключающем какие – либо муфты и, как следствие, балансировки и вибрации. Смазка ротора и подшипников производится перекачиваемой жидкостью. Статор отделен от перекачиваемой жидкости защитной гильзой (экраном). Охлаждение двигателя происходит потоком перекачиваемой жидкости, либо, при высоких температурах, с помощью теплообменника. Кроме самой гильзы, обеспечивающей герметичность, дополнительной защитой обладает корпус двигателя, что гарантирует полную герметичность насоса, при работе с ядовитыми и взрывоопасными жидкостями. Как следствие герметичный насос гарантирует надежное перекачивание сложных и взрывоопасных жидкостей.

Список литературы

1. Краев М. В., Лукин В. А. Малорасходные насосы авиационных и космических систем. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.

2. Петров А. И. Работа центробежных насосов сверхнизкой быстроходности на рабочих жидкостях высокой вязкости // Сборник научных трудов «Гид-

равлические машины и гидроавтоматика» (8–9 февраля 2001 г. Всероссийская НТК «Гидравлические машины и гидроавтоматика – основа технического прогресса XXI столетия». Пермь: Перм. гос. техн. ун–т.) / Вестник ПГТУ. Пермь: ПГТУ. 2001. С. 150–157.

3. Горбенко П. Е., Ломакин В. О. Разработка программного пакета для численного моделирования течения жидкости // Молодежный научно–технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 11. С. 25–30.

4. Петров А. И. Создание ряда центробежных насосов для систем термостабилизации специального назначения // МНТК «Насосы. Эффективность и экология». (В рамках Международного промышленного Форума «PCVEXPO – 2005», 22 – 25 ноября, 2005 г., Москва: КВЦ «Сокольники»). Тез. докладов. М.: КВЦ «Сокольники». 2005. С. 40–41.

5. Ломакин В. О., Петров А. И. Численное моделирование теплового баланса в охлаждаемой магнитной муфте высокотемпературного герметичного насоса // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 12. С. 49.

6. Петров А. И., Петров И. А. Разработка герметичного насосного агрегата для системы охлаждения высокоэнергетического лазера // XIX МНТК «Лазеры в науке, технике, медицине» (22 – 26 сентября 2008 г., Сочи). Сб. научных трудов. Т. 19. М.: МГТУ Н.Э. Баумана. 2008. С. 120–122.

7. Протопопов Д. А., Абдрахманова Ж. С., Яворовский Е. А. Исследование зависимости момента на валу от рабочих характеристик малорасходного центробежного насоса // Молодежный научно–технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2015. № 09. URL: http://sntbul.bmstu.ru/doc/802249.html (дата обращения 24.11.2017).

Конструкция универсального безвершинного резца для токарной обработки валов

Ситников М.Ю.
магистрант, Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
инженер-конструктор, АО «Электромашиностроительный завод «ЛЕПСЕ»,
Киров, Российская Федерация
E-mail: sitnikovmax24@gmail.com

Аннотация: В статье показана схема работы безвершинного резца с прямолинейной режущей кромкой. Представлена конструкция, описание ее работы, 3D модель и анализ безвершинного резца с возможностью регулирования и фиксации угла наклона лезвия для выбора оптимального варианта обработки с точки зрения производительности и качества механической обработки. Приведены результаты линейного статистического анализа модели безвершинного резца при использовании различных материалов. Представлены свойства подбираемых материалов. Найдено слабое звено в конструкции резца и произведен подбор оптимального материала для данного звена с помощью САПР Solid Edge. Представлено сравнение материалов по максимальному перемещению (деформации), возникающему напряжению и коэффициенту запаса прочности. Сделаны выводы и представлены преимущества данной конструкции безвершинного резца.

Ключевые слова: безвершинные инструменты, косоугольное резание, бреющее точение.

Применив безвершинное резание, можно достигнуть низкой шероховатости обработанной поверхности при высокой производительности обработки и значительно ускорить технологический процесс изготовления цилиндрических деталей.

Схема работы безвершинного резца с прямолинейной режущей кромкой представлена на Рис.1.

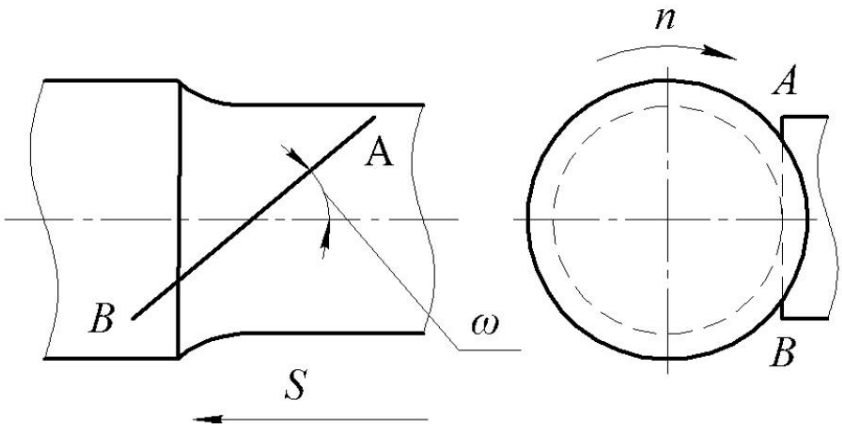


Рисунок 1. Схема работы безвершинного резца с прямолинейной режущей кромкой (АВ – режущая кромка, S – подача, n – направление вращения заготовки ω – угол наклона режущей кромки)

Ранее была разработана конструкция универсального безвершинного резца. Цель разработки - возможность регулирования и фиксации угла наклона лезвия для выбора оптимального варианта обработки с точки зрения производительности и качества механической обработки: Рис. 2.

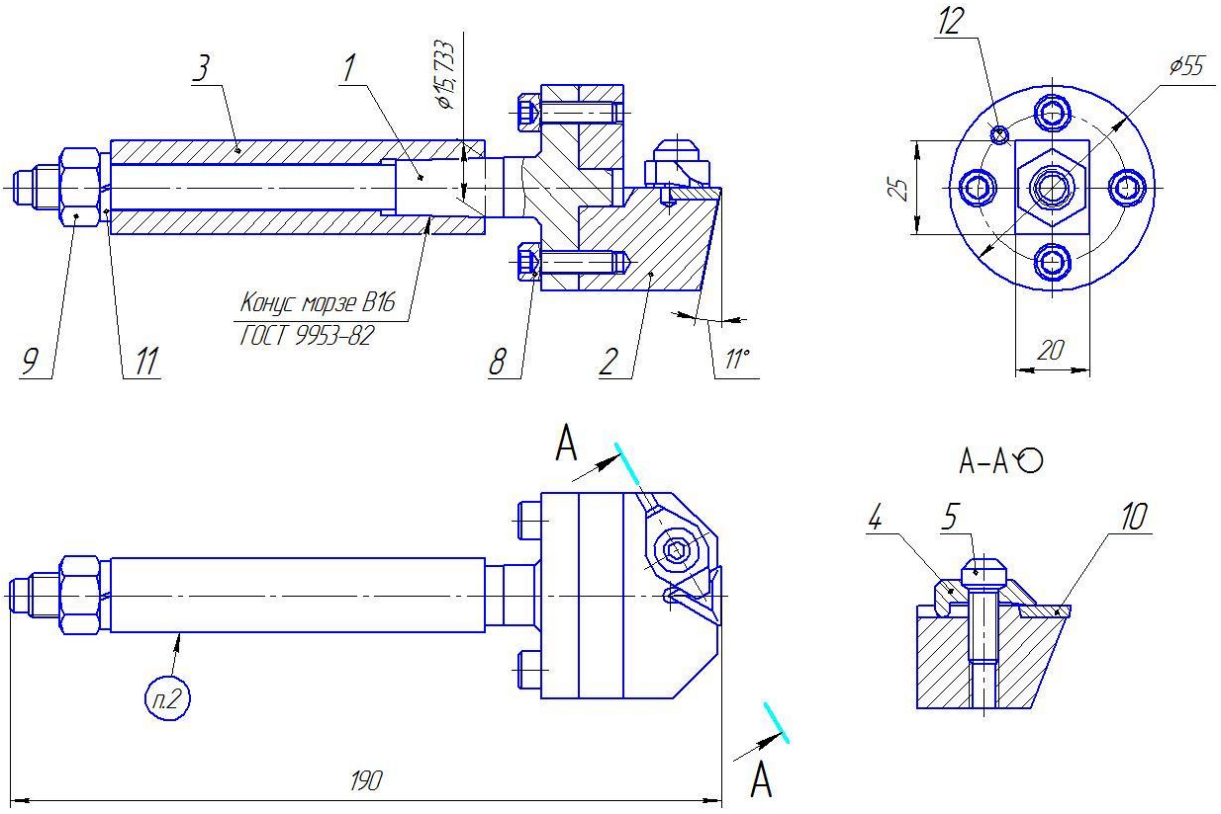


Рисунок 2. Конструкция безвершинного резца с возможностью регулирования и фиксации угла наклона лезвия

Резец работает следующим образом. Регулирование угла наклона лезвия осуществляется за счет поворотной оси 1, которая устанавливается в отверстие державки 3. Сопряжение осуществляется по конической части отверстия, которая представляет собой укороченный конус Морзе. Затем производится поворот сменной резцовой головки 2 с поворотной осью 1 на заданный угол наклона режущей кромки. После этого с помощью гайки 9 с пружинной шайбой 11 затягивают поворотную ось 1 и осуществляется фиксация угла наклона режущей кромки. Сменную многогранную пластину 10 устанавливают в паз сменной резцовой головки 2 по опорной плоскости и двум боковым сторонам. Закрепление осуществляется прихватом 4. При этом режущая кромка СМП находится параллельно оси вращения заготовки.

Слабым звеном в конструкции является деталь 1 – «поворотная ось». В связи с этим возникла необходимость подобрать оптимальный материал для данной детали.

Свойства подбираемых материалов для детали 1 «поворотная ось» представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Свойства материалов

	Материал		
Свойства	Сталь 30ХГСА	Сталь 45	Сталь 40Х
Плотность	7850,000 кг/м^3	7850,000 кг/м^3	7850,000 кг/м^3
Модуль упругости	215000,656 МПа	199999,996 МПа	213999,832 МПа
Предел текучести	830,000 МПа	360,000 МПа	785,000 МПа

Для возможности проведения прочностного анализа была разработана 3D модель универсального безвершинного резца в программной среде Solid Edge. Анализ конструкции резца проводился под нагрузкой 1000Н, которая прикладывалась к режущей пластине. При этом державка резца была зафиксирована с двух сторон, имитируя крепление в резцедержателе станка: Рис. 3.

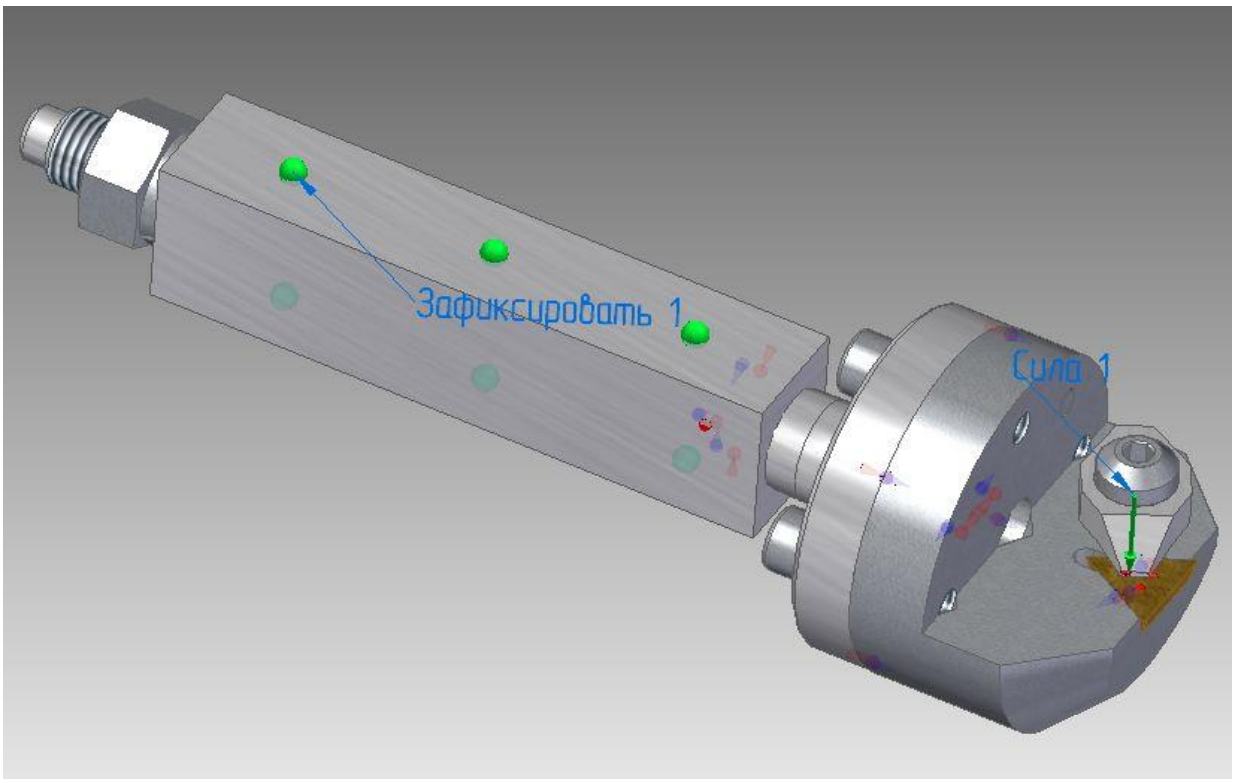


Рисунок 3. 3D модель универсального безвершинного резца

На Рис. 4, 5, 6 и в Табл. 2, 3, 4 приведены результаты линейного статистического анализа модели при использовании материала Сталь 30ХГСА.

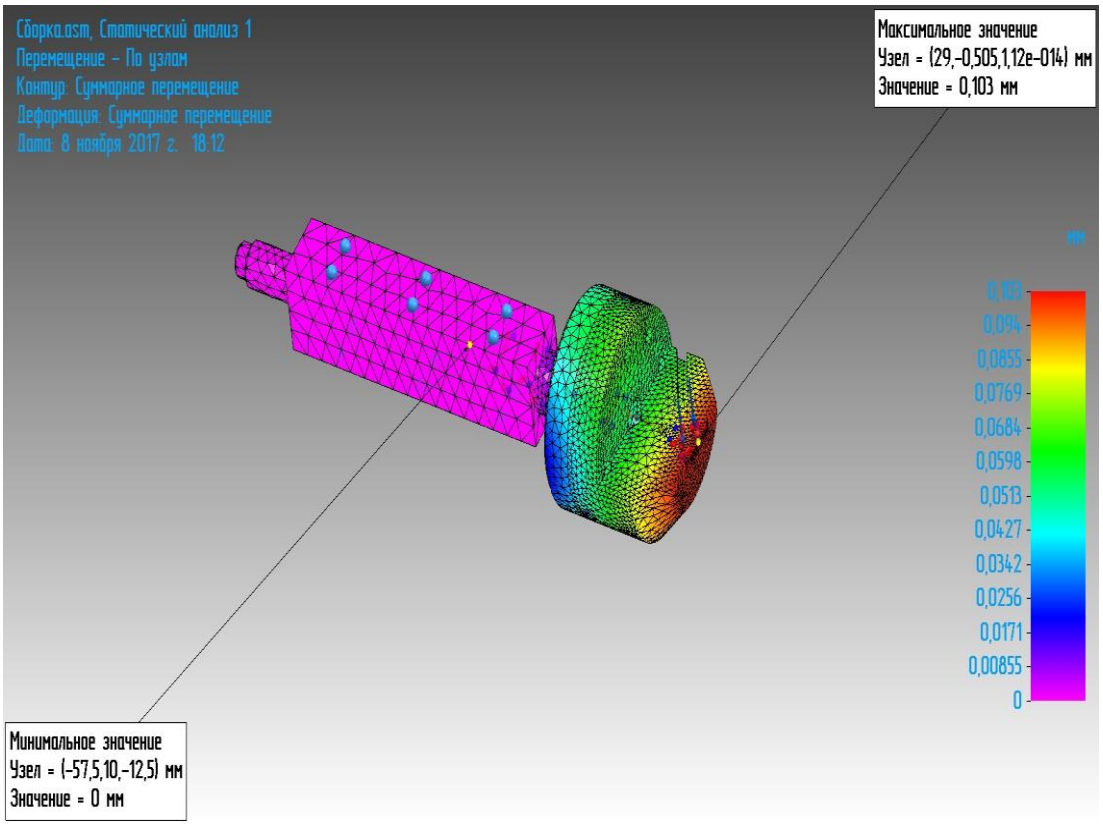


Рисунок 4. Общее перемещение

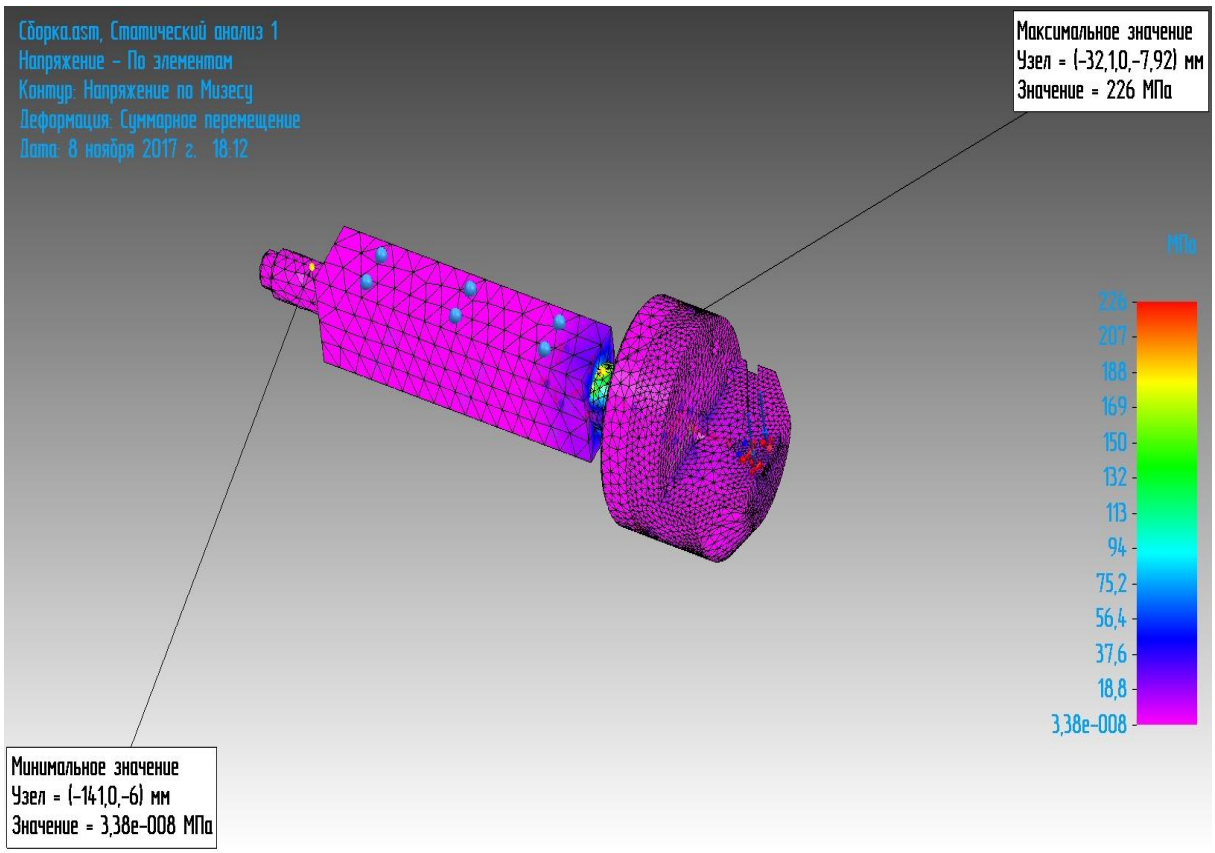


Рисунок 5. Напряжения../../../../../../Учеба/ВятГУ/ВКР/Solid Edge/Сборка_Отчет о си/Статический анализ 1_1/Перемещение_Суммарное перемещение.jpg по Мизесу

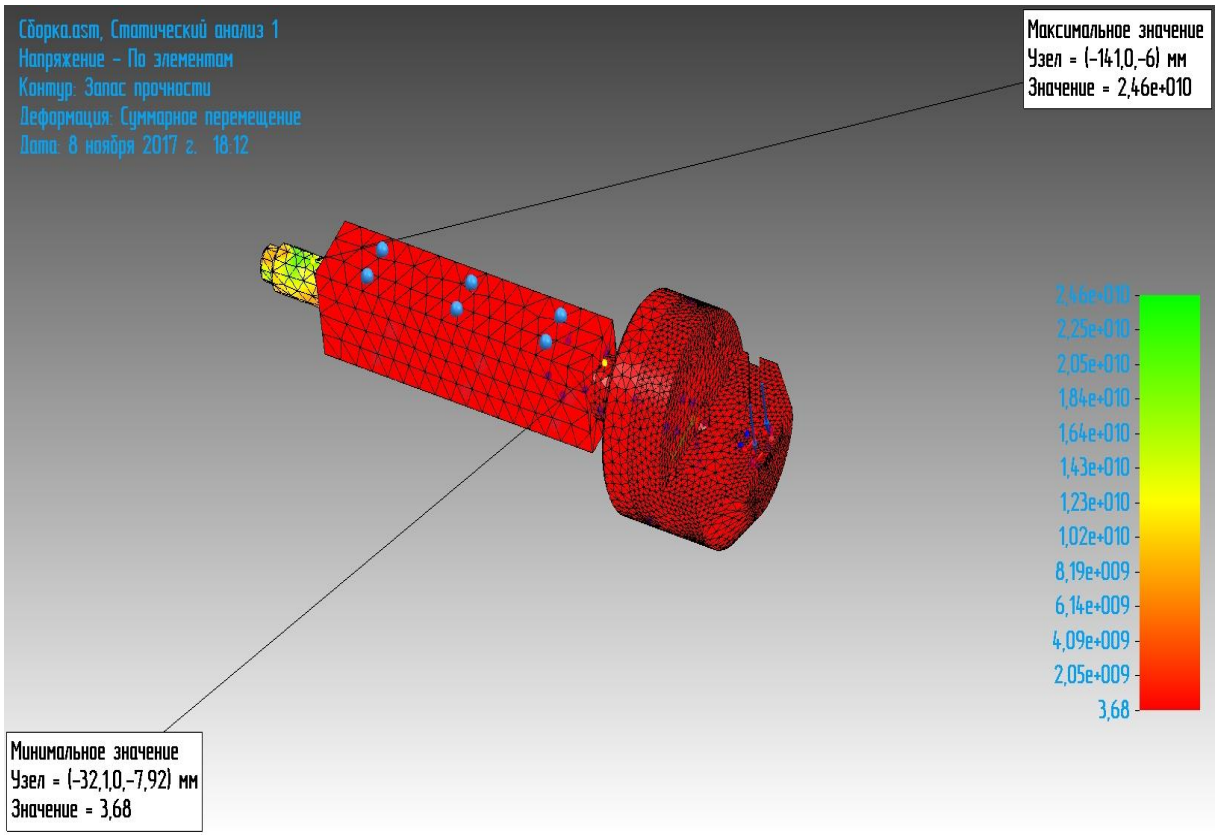


Рисунок 6. ../../../../../../Учеба/ВятГУ/ВКР/Solid Edge/Сборка_Отчет о си/Статический анализ 1_1/Перемещение_Суммарное перемещение.jpgКоэффициент запаса прочно-

сти../../../../../../Учеба/ВятГУ/ВКР/Solid Edge/Сборка_Отчет о си/Статический анализ 1_1/Статический_Запас прочности.jpg

Таблица 2

Результаты перемещений

Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	0 мм	-57,529 мм	10,000 мм	12,500 мм
Максимум	0,103 мм	28,998 мм	-0,505 мм	0,000 мм

Таблица 3

Результаты напряжений по Мизесу

Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	3,38e-008 МПа	-141,429 мм	0,000 мм	-6,000 мм
Максимум	226 МПа	-32,111 мм	0,000 мм	-7,917 мм

Таблица 4

Результаты коэффициента запаса прочности

Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	3,68	-32,111 мм	0,000 мм	-7,917 мм
Максимум	2,46e+010	-141,429 мм	0,000 мм	-6,000 мм

Аналогичный анализ других материалов (Сталь 45; Сталь 40Х) показал, что наиболее оптимальным материалом является Сталь 30ХГСА. Сравнение получаемых результатов представлено в Табл. 5.

Таблица 5

Сравнение материалов по максимальному перемещению (деформации), возникающему напряжению и коэффициенту запаса прочности

	Материал		
Параметр	Сталь 30ХГСА	Сталь 45	Сталь 40Х
Максимальное перемещение (деформация)	0,103 мм	0,111 мм	0,104 мм
Возникающее напряжение	226 МПа	211 МПа	217 МПа
Коэффициент запаса прочности	3,68	1,71	3,62

При использовании материала Сталь 30ХГСА в сравнении с другими материалами возникают минимальные значения деформации. Максимальное перемещение (деформация) - 0,103 мм, что меньше чем (Сталь 45 - 0,111 мм, Сталь 40Х - 0,104 мм).

Максимальное значение напряжения при использовании Стали 30ХГСА – 226 МПа. Значение данного показателя является наибольшим в сравнении с другими материалами (Сталь 45 – 211 МПа, Сталь 40Х – 217 МПа). При этом

Сталь 30ХГСА обладает наибольшим пределом текучести материала - 830 МПа (Сталь 45 – 360 МПа, Сталь 40Х – 785 МПа).

Наиболее показательным является коэффициент запаса прочности, который показывает способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчетных. Минимальное значение коэффициента запаса прочности (Сталь 30ХГСА - 3,68; Сталь 45 – 1,71; Сталь 40Х – 3,62).

Конструкция резца выдерживает предполагаемые нагрузки. Наиболее оптимальным материалом для детали 1 – «поворотная ось» является «Сталь 30ХГСА». Наибольшее влияние на прочность конструкции оказывает предел текучести материала.

Данная конструкция безвершинного резца позволяет регулировать угол наклона режущей кромки для выбора оптимального варианта обработки с точки зрения производительности и качества механической обработки. Применение сменной многогранной пластины 10 (СМП) позволяет использовать все режущие кромки по мере их износа и проводить замену режущей пластины без снятия инструмента со станка. Использование сменной резцовой головки 2 для крепления СМП позволяет закреплять пластины с различной формой, при условии изготовления базовых поверхностей соответствующих форме пластины. При этом отсутствует необходимость изменения конструкции других деталей, входящих в конструкцию резца.

Список литературы

1. *Карпов А.В., Зелинский В.В.* Совершенствование чистовой токарной обработки путём применения инструментов безвершинных конструкций // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 53-57.

2. *Полетика, М.Ф.* Теория резания: Ч.1: Механика процесса резания /М.Ф. Полетика. – Томск.: Изд-во ТПУ, 2001. 202 с.

3. *Бобров, В.Ф.* Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В.Ф. Бобров. М.: Машгиз, 1962. 152 с.

4. *Аваков А.А., Галоян Г.П.* Повышение стойкости безвершинных резцов при диагональном точении // Станки и инструмент. 1982. № 3. С. 18-19.

5. *Клименко, С.А.* Твердое «бреющее» точение / С.А. Клименко, А.С. Манохин // Сверхтвердые материалы. 2009. №1 С. 58-74.

6. *Минасян, Г.С.* О некоторых преимуществах безвершинного резца БРМ-1 /Г.С. Минасян //Известия академии наук АССР. 1966. №3. С. 39-45.

7. Патент на полезную модель 2149079 РФ, МПК7 B23B27/02 Безвершинный резец/ Е.С. Сидоренко. Опубл. 20.05.2000.

8. *Подгорков, В.В.* Чистовое точение однокромочными резцами /В.В, Подгорков //СТИН. 1974. №1. С. 30-31.

9. *Рывкин, Г.М.* Чистовое точение резцами с перемещаемой режущей пластинкой /Г.М. Рывкин, Б.И. Самойлов //СТИН. 1952. №4. С. 20-22.

Способы повышения надежности и работоспособности циркуляционных насосов с компьютерным управлением

Скворцов Д. Ю.[a], Сергеев Д. Г.[b]
магистрант[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: danil.skvorcov@list.ru[a], sergeev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Повышение надежности и работоспособности циркуляционных насосов важная практическая задача. Современные методы проектирования и инженерного анализа позволяют на уровне виртуальных прототипов проверить основные эксплуатационные характеристики изделий еще на этапе разработки без изготовления образца. Также возможно подобрать материалы для изготовления деталей изделия, которые обладают необходимыми в этом случае свойствами. Универсальный инструментарий CAE-модулей в системах автоматизированного проектирования позволяет решать подобные задачи. В данной работе исследуются автоматизированными средствами инженерного анализа показатели по теплообмену, напряжению и коэффициенту запаса прочности фланца с подшипником в сборе, являющихся «узкой» зоной циркуляционного насоса с гильзованным двигателем. Расчетами обоснован выбор материала для данных деталей. Полученные расчетные данные были подтверждены на практике в ходе производственных испытаний.

Ключевые слова: циркуляционный насос с гильзованным двигателем, подшипник скольжения, системы инженерного анализа, CAE, теплообмен, коэффициент запаса прочности, напряжения.

Системы жидкостного охлаждения (СЖО) ЖД транспорта (более правильно называть их системами термостабилизации [1], так как в них может решаться и задача обогрева оборудования и отсеков, но устоялась терминология СЖО) широко применяются для термостабилизации ЖД оборудования, установленного в изолированных отсеках и имеющего достаточно большую мощность тепловыделения.

Как правило, система жидкостного охлаждения (а точнее, термостабилизации) содержит циркуляционные насосы [2] (обычно два и более, с учетом резервирования), блок управления и контроля, жидкостно-воздушный теплообменник, блок подогрева жидкости и соответствующую запорно-регулирующую арматуру. В качестве рабочей жидкости могут использоваться как этиленглико-

левые теплоносители (CoolelfSupra), так и иные смеси (например, в некоторых случаях применяются спирто-водяные смеси и т.п.) [3]. Все это предъявляет специфические требования к насосам для систем СЖО.

К сожалению, имеющиеся в распоряжении конструкторов СЖО насосы не в полной мере отвечают этим требованиям. Причины этого следующие:

Во-первых, практически все они были разработаны более 20 лет назад и в них не используются современные материалы и технологии, что негативно сказывается на их надежности, габаритах и массе, а также их энергетической эффективности (КПД и удельной мощности, т.е. отношения полезной мощности к единице массы).

Во-вторых, головным разработчиком и изготовителем таких насосов (а также прочих элементов систем СЖО) являлись европейские страны, и именно эти насосы до самого последнего времени закупались для ряда ЖД транспорта, что в связи с политическими событиями ставит вопрос о необходимости импортозамещения очень остро.

Какие же изменения целесообразно внести в конструкции этих насосов, основываясь на современных достижениях науки и технологии?

1. Необходима разработка нового семейства высокооборотных насосов [4] для систем жидкостного охлаждения ЖД локомотивов на замену устаревшим европейским насосам, поставки которых могут быть прекращены на неопределенное время;

2. Новые насосы следует создавать с максимальным использованием современных технологий и материалов, что позволит существенно повысить их надежность, сроки службы и энергоэффективность, а также снизить их массу и габариты [5];

3. Желательна максимальная унификация таких насосов в пределах линейки параметров, что, в свою очередь, подразумевает координацию всех потребителей данной продукции на уровне органов государственного управления. В противном случае следует ожидать появления большого количества разно-

типных насосов, бессистемно разрабатываемых разными компаниями для импортозамещения импортных насосов.

Анализируя основные типы насосов для СЖО [6], разработан и изготовлен опытный образец циркуляционного насоса с гильзованным двигателем, представленный на рисунке 1.

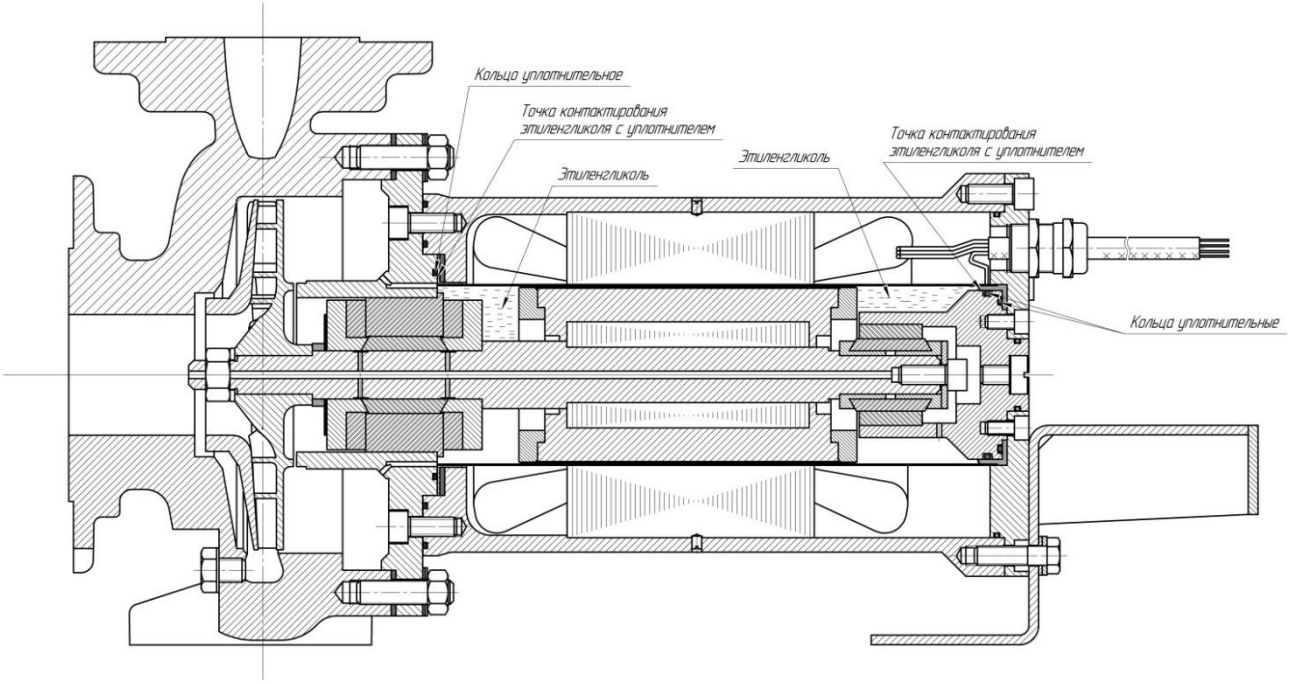


Рисунок 1. Насос циркуляционный с гильзованным двигателем

Насос циркуляционный, предназначенный для перекачивания в стационарных условиях охлаждающей жидкости в системе железнодорожного оборудования (локомотив).

Состав охлаждающей жидкости: вода плюс 60% этиленгликоль, плюс охлаждающая жидкость CoolelfSuprac присадкой или подобный продукт (TotalElf). Удельная теплоемкость перекачиваемой жидкости должна быть не менее 2,64 кДж/(кг•К). В перекачиваемой жидкости допускается наличие твердых неабразивных включений размером до 50 мкм, массовая доля которых не превышает 0,2 %.

От правильного выбора материала, качества выполнения монтажных работ, ввода в эксплуатацию и обслуживания насосного агрегата зависит его эксплуатационная надежность.

Если выбранный материал соответствует условиям эксплуатации, то можно избежать неисправностей насоса, обусловленных коррозией, эрозией, кавитацией и т.д. Правильно подобранный материал обусловливает продолжительность работы насоса и эксплуатационную надежность.

Большое значение во многих случаях для выбора материала имеет определение состава воды. При подаче агрессивных жидкостей, содержащих твердые частицы, выбору материала следует уделить, особое внимание. Материал должен быть устойчив к действию теплообмена особенно, для насосов, которые предназначены для охлаждения жидкости.

При изготовлении насоса применялись только алюминий, твердый сплав и нержавеющая сталь (кроме пакета железа ротора и статора – электротехническая сталь). При испытаниях опытного образца возник вопрос теплообмена с концентрацией напряжения в «узкой» зоне насоса – сборочной единице (фланец и подшипник скольжения), изображенной на рисунке 2.

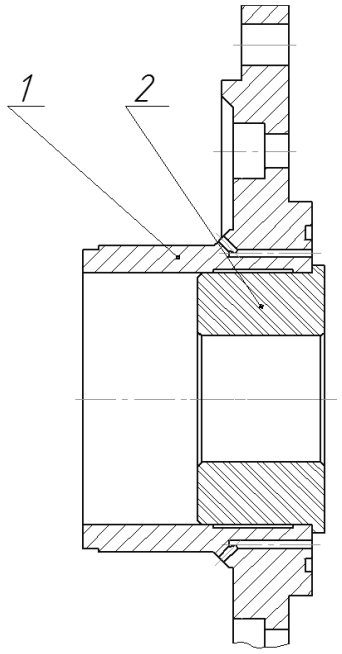


Рисунок 2. Сборочная единица фланца с подшипником скольжения

Подшипник скольжения (поз. 2) изготавливается из твердого сплава ВН8 ТУ 1967-001-11978660-2007 на основе карбида вольфрама и никеля, полученного методом спекания. Рабочая температура до 250 °С.Фланец (поз. 1) изготавливается из дюралюминиевого сплава Д16 ГОСТ 4784-97.

При эксплуатационных испытаниях с рабочей температурой насоса 90°С, сборочная единица в составе фланца и подшипника показала неудовлетворительный результат по теплообмену, напряжению и коэффициенту запаса прочности, что свидетельствуют результаты расчета, представленные на рисунках 3, 4 и 5, проводимые в программе Solid Edge Femap с использованием решателя NX Nastran [7].

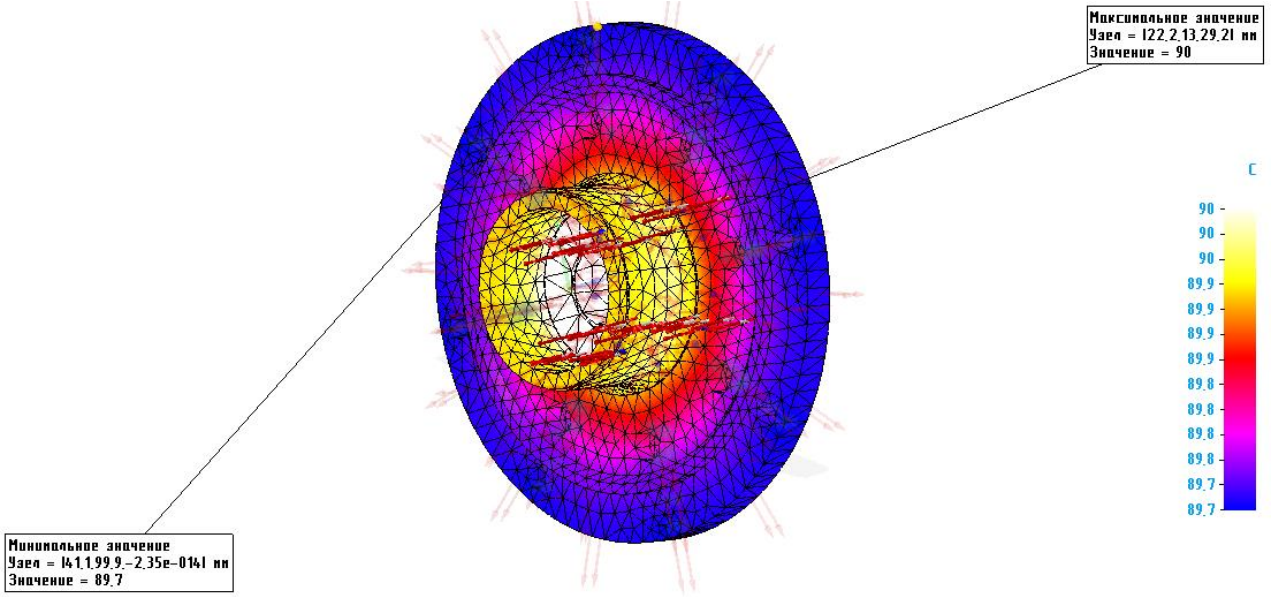


Рисунок 3. Температурный анализ

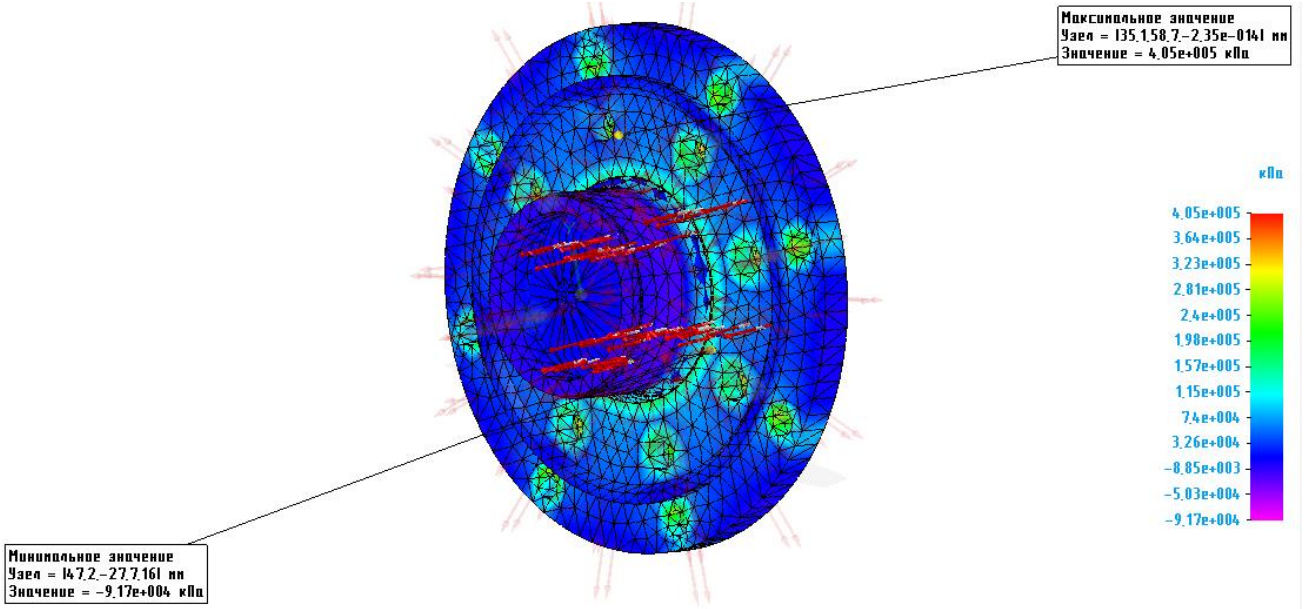


Рисунок 4. Среднее напряжение

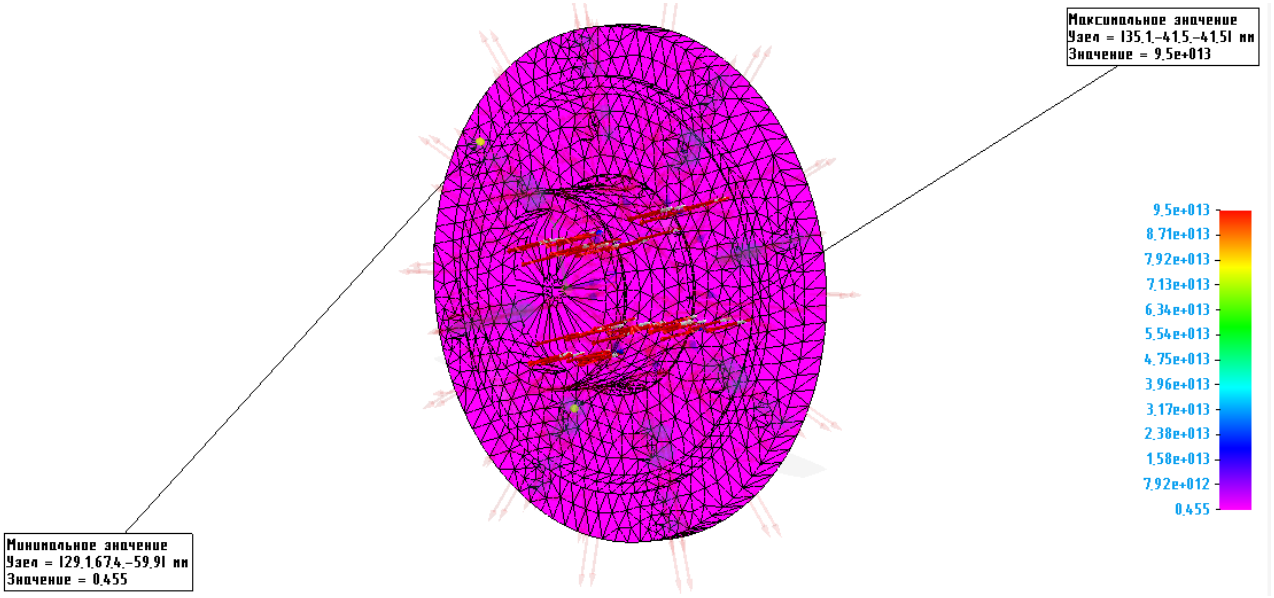


Рисунок 5. Коэффициент запаса прочности

Согласно результатам расчетов на теплообмен, напряжение и коэффициент запаса прочности, принято решение заменить материал фланца с дюралюминиевого сплава Д16 на нержавеющую сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75, исследование которой отражены в аналогичных расчетах, представленных на рисунках 6, 7 и 8, также проведенные в программе Solid Edge Femap с использованием решателя NX Nastran. Параметры материала моделировались в настройках системы [8, 9].

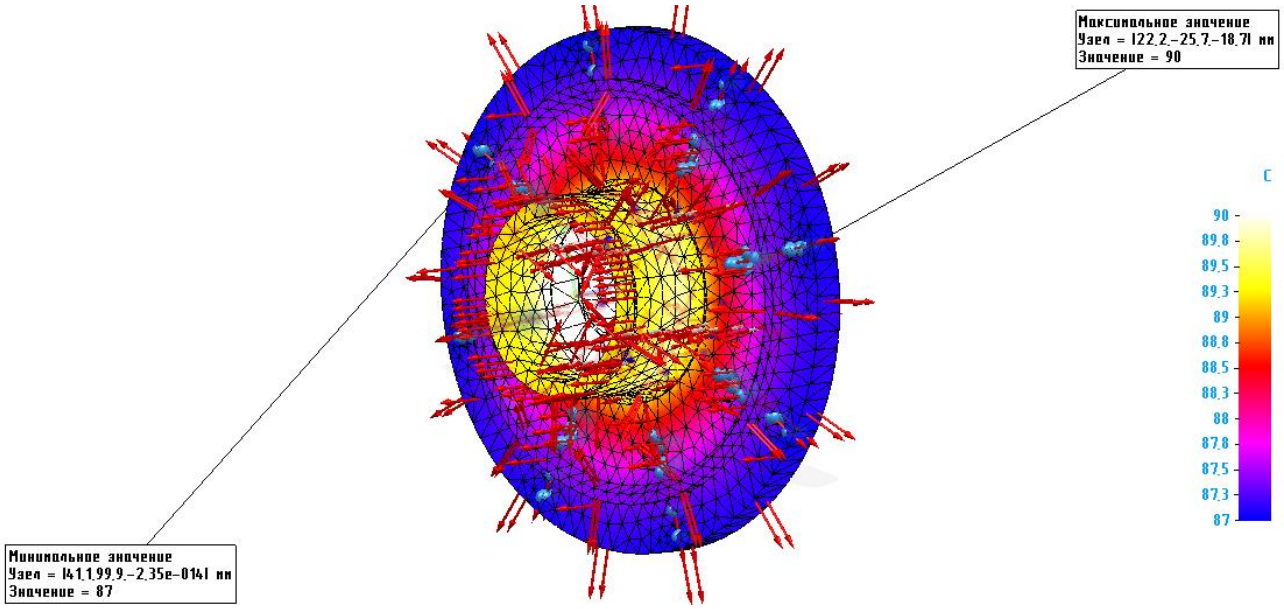


Рисунок 6. Температурный анализ

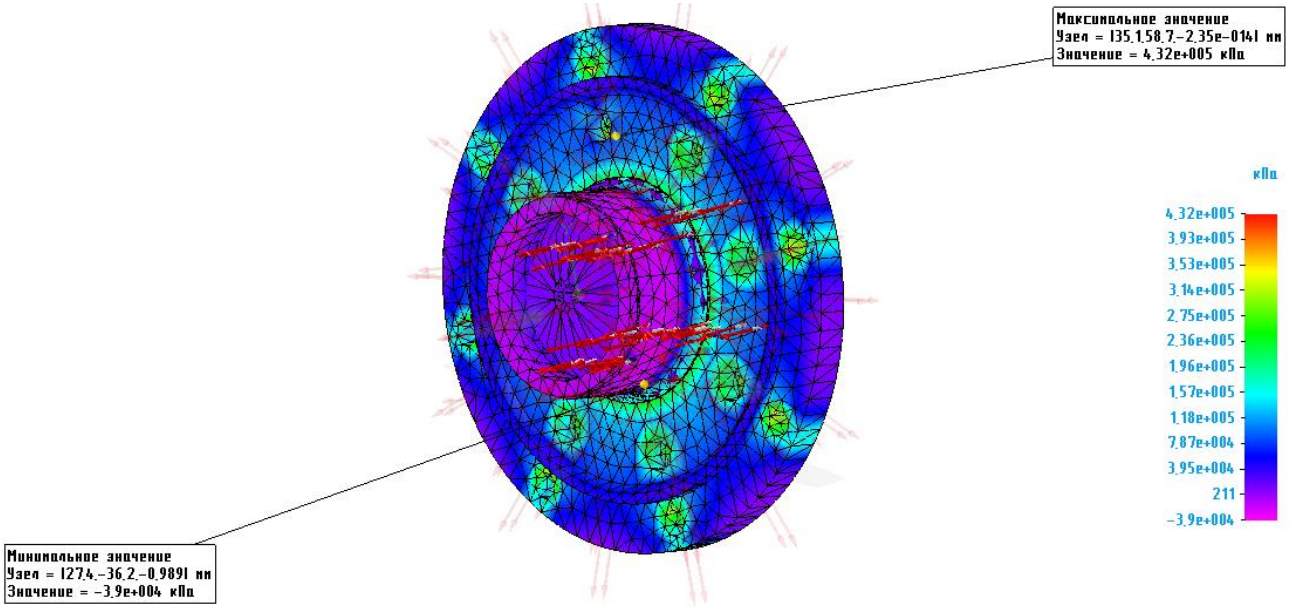


Рисунок 7. Среднее напряжение

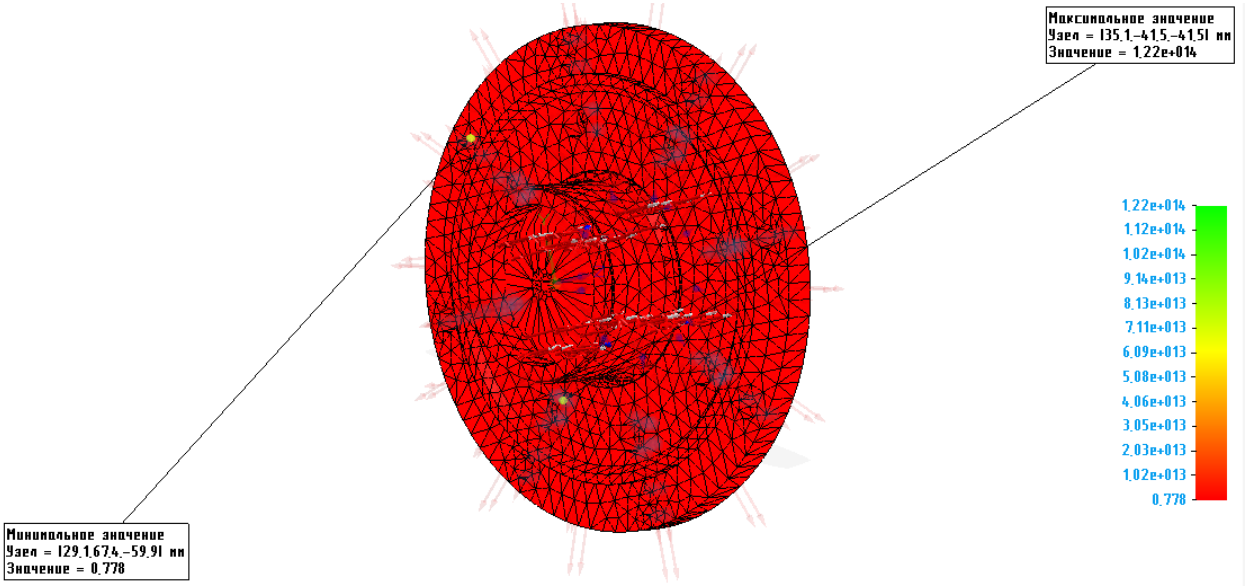


Рисунок 8. Коэффициент запаса прочности

Согласно исследованиям, при повторных эксплуатационных испытаниях с рабочей температурой насоса 90°С, сборочная единица в составе фланца (материал нержавеющая сталь 12Х18Н10) и подшипника скольжения (материал твердый сплав ВН8) показала более предпочтительные результаты по теплообмену, напряжениям и коэффициенту запаса прочности, что свидетельствуют результаты расчетов, представленные выше.

Список литературы

1. Петров А.И. Создание ряда центробежных насосов для систем термостабилизации специального назначения. // МНТК «Насосы. Эффективность и

экология». (В рамках Международного промышленного Форума «PCVEXPO-2005», 22–25 ноября, 2005 г., Москва: КВЦ «Сокольники»). Тез. докладов. М.: КВЦ «Сокольники». 2005. С. 40–41.

2. Зимницкий В.А., Каплун А.В., Папир А.Н., Умов В.А. Лопастные насосы: Справочник / Под общ. ред. В.А. Зимницкого и В.А. Умова. Л.: Машиностроение. 1986. 334 с.

3. Петров А.И. Работа центробежных насосов сверхнизкой быстроходности на рабочих жидкостях высокой вязкости. // Сборник научных трудов «Гидравлические машины и гидроавтоматика». (8–9 февраля 2001 г. Всероссийская НТК «Гидравлические машины и гидроавтоматика – основа технического прогресса XXI столетия». Пермь: Перм. гос. техн. ун-т.) / Вестник ПГТУ. Пермь: ПГТУ. 2001. С. 150–157.

4. Горбенко П.Е. Ломакин В.О. Разработка программного пакета для численного моделирования течения жидкости. // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 11.

5. Краев М.В., Лукин В.А., Овсянников Б.В. Малорасходные насосы авиационных и космических систем. М.: Машиностроение. 1985. 128 с.

6. Петров А.И., Петров И.А. Разработка герметичного насосного агрегата для системы охлаждения высокоэнергетического лазера. // XIX МНТК «Лазеры в науке, технике, медицине» (22–26 сентября 2008 г., Сочи). Сб. научных трудов. Т. 19. М.: МГТУ Н.Э. Баумана. 2008. С.120–122.

7. Ломакин В.О., Петров А.И. Численное моделирование теплового баланса в охлаждаемой магнитной муфте высокотемпературного герметичного насоса. // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12.

8. Сергеева А.В., Грачев С.П., Сергеев Д.Г. Подбор параметров материалов при исследовании частотных характеристик деталей в системах инженерного анализа // МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР, СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ сборник материалов IV международной конференции. Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. 2017. С. 31–35.

9. Грачев, С. П., Сергеева А. В., Сергеев Д. Г. Использование экспериментальных данных при настройках параметров материалов в системах инженерного анализа // ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2017): Сб. статей всерос. ежегод. науч.-практ. конф.-Киров: Науч. изд-во ВятГУ, 2017. С. 931–936.

Опыт реализации и проблемы генерального плана Норильска в современных условиях градостроительства

Соболева И.А.
Доцент кафедры Архитектуры и градостроительства,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
e-mail: usr20436@vyatsu.ru

Аннотация: Объектом исследования является город Норильск, возникшего на географической карте СССР в 1930-ые годы и ставшего одним из крупнейших мировых центров по добыче кобальта, никеля и меди и производства из нее минерально-химического сырья за полярным кругом. Для автора, посвятившего практике градостроительной деятельности на городском уровне более пятнадцати лет своей профессиональной деятельности, особый интерес представляет теоретическое осмысление процесса управления градостроительным развитием, северного города, определенного сегодня как базовым городом по освоению Арктической зоны, в том числе классификация градостроительных проблем с целью поиска стратегии и тактики их решения. Особое внимание автор уделяет исследованию и опыту реализации утвержденного генерального плана города в сложных современных условиях геополитических, социально-экономических процессов в районе Крайнего Севера, полностью зависящего от природно-климатических условий, особенностей промышленного развития и деструктивных процессов градостроительства. В ходе исследования автор приходит к выводам о сложном механизме трансформации городского пространства, условиях адаптации градостроительной системы к социально-экономической реальности и процессах поиска инструментов эффективного правого регулирования в градостроительстве.

Ключевые слова: генеральный план города, растепление грунтов, Крайний Север.

Градостроительное планирование развития территорий и поселений Севера традиционно основывалась на государственной поддержке экономического и социального развития районов Севера. В конце XX века, в связи с переходом на рыночные отношения и резким ослаблением государственного регулирования значительно снизился жизненный уровень северян, сократились объемы производства. Учитывая «новую политику» проводимую Канадой, США, скандинавскими странами, стремящихся играть главную роль на Севере, руководствуясь тезисом: «Кто владеет Арктикой-владеет всем Миром!», Постановлением Правительства РФ от 7 марта 2000года № 198 была утверждена Кон-

цепция государственной поддержки экономического и социального развития районов Севера. Определена Цель развития Арктической зоны РФ в период до 2020 года. –укрепить роль и место Арктики в экономике Российской Федерации[9]. В правительственной программе по освоению Арктической зоны Норильск определен как базовый город в зоне крайнего севера Красноярского края.

Заполярный Норильск на протяжении всей истории представлял собой комплекс жилых поселений при строящихся и действующих промышленных предприятиях. Первые этапы строительства комбината и Большого Норильска связаны с ГУЛАГом, через который прошли около 300 тысяч заключенных. Среди них были талантливые инженера, строители, архитекторы положившие начало реализации уникального, инженерного, технического проекта строительства города на вечной мерзлоте.

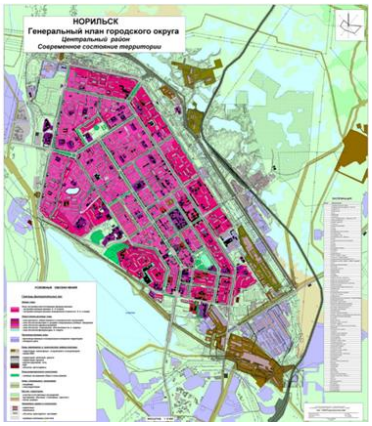
а  б 

Рисунок 1. Первый план города, Норильск был задуман как система архитектурных ансамблей,1940 г.(а). Генеральный план города, 2008г.(б).

Первый план города для расселения кадров комбината являлся составной частью общего технического проекта строительства комбината и был разработан в 1940 году с предполагаемым населением 32 тыс. человек. Автор первого генплана города Витольд Станиславович Непокойчицкий, гениальный архитектор-градостроитель, понимая в 1939 году, что мощности комбината будут увеличиваться, следовательно будет расти численность населения, спланировал

[9]Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Проект. Москва – 2010.

город таким образом, что в результате за счет увеличения плотности застройки и повышения этажности оказалось возможным расселить 120 тыс. человек и еще 30 тыс. в поселках возле рудников, шахт, заводов (Рис.1).В настоящее время город Норильск входит в пятерку самых северных городов на планете. Площадь муниципального образования город Норильск – 451 964 га. Площадь границ населенного пункта-3 014 га. Численность постоянного населения на 01.01. 2014 год составила 177 326 человек. Особенность зимы – сочетание низких температур и сильного шквального ветра (мороз до -56^0 С). В декабре-январе – полярная ночь, в мае-июне – полярный день. Снежный покров наблюдается в среднем в течение 9 месяцев. Действующий Генеральный план городского округа – муниципального образования город Норильск утвержден в 2008 и является основным документом, определяющим долгосрочную стратегию его градостроительного развития и условия формирования среды жизнедеятельности на период до 2025 года.

В связи с выше изложенным, опыт реализации генерального плана, сохранение городской среды и градостроительные проблемы города Норильска в условиях реконструкции и развития города в условиях Крайнего Севера особо актуальны.

Обзор публикаций по теме исследования показывает, что общетеоретическая проблема современного градостроительства всегда привлекала и привлекает неиссякаемое внимание со стороны отечественных исследователей. О разработке градостроительной стратегии, способствующей устойчивому развитию Севера писал В.А. Щитинский [Щитинский, с.76]. Когда расширяется «набор» инструментов содержательного реалистичного метода градостроителей при разработке и реализации генеральных планов, территориального планирования [Владимиров, с.79], тогда развитие новейших градостроительных идей способствует развитию теории творческих процессов в архитектуре и ее восприятия. Практический проектный метод в градостроительстве раскрывается современными авторами-исследователями через исследование персонального практического опыта в виде архитектурно-планировочных аспектов организации урба-

низированной жизненной среды в таймырском регионе [Назарова, с. 101]. В последние годы градостроительное творчество мастеров периода советского модернизма 1960–1980-х годов находит отражение в научных исследованиях, в том числе городов Сибири – Красноярска, Новосибирска и других [Крушлинский, с.131], становится теорией современного градостроительства. Эти материалы характеризуют сложный и яркий путь наших городов, сформировавшихся в процессах активного градостроительного освоения отдаленных российских территорий в прошлом XX столетии [Усепян, с.300].

Сегодня в процесс комплексного, эффективного развития арктических и северных районов России включаются все новые и новые поколения людей, для которых необходимо создавать благоприятную среду обитания. Молодые квалифицированные кадры сейчас не станут жить в примитивных домах и общежитиях без элементарных бытовых удобств. Возросли потребительские требования и к устройству городской среды. Ведь в условиях рынка они могут иметь равноценные заработки и на юге, и в средней полосе. Учитывая специфику Норильска, особые климатические условия, удержать (или привлечь) их в Норильск можно только комфортными условиями жизни, быта, современной инфраструктурой городской среды. В связи с чем одним из главных направлений деятельности на современном этапе является формирование архитектурных и градостроительных регламентов планирования развития территорий. Основные градостроительные регламенты заложены в генеральном плане развития территории, но даже самые прогрессивные принятые решения не успевают за стремительным процессом изменения в обществе, за изменением градостроительных приоритетов и задач.

Опыт реализации генерального плана позволяет выделить четыре наиболее актуальных для современного состояния градостроительства проблем: территориальные ресурсы, жилые зоны, общественно-деловые зоны, инженерная подготовка территории - проблемы типовые и существуют в большинстве регионов, но имеют высокую степень важности особенно для специфики Норильска, поэтому остановлюсь на некоторых из них.

Первая проблема - территориальные ресурсы. Ограниченность территориальных ресурсов для развития селитебной зоны является основной градостроительной проблемой, это обусловлено сложными инженерно-геологическими условиями и размещением производственных и инженерных объектов практически по всему периметру селитебной зоны. Застройка может осуществляться, в основном, на реконструируемых территориях с особыми условиями дальнейшей эксплуатации.

а  б 

Рисунок 3. Жилой дом по ул. Богдана Хмельницкого 1956 года постройки (а)
Ростверк (основание) здания жилого дома после демонтажа (б)

Жилые зоны-вторая проблема. Основной проблемой жилых зон является наличие аварийного и недостроенного фонда. Жилищный фонд стареет, более 55% зданий имеет срок эксплуатации свыше 30 лет (Рис.3) и из-за несоблюдения эксплуатации оснований зданий застроенной территории, подвергаются растеплению грунтов (Рис.4), и как следствие, разрушается. В настоящее время большая часть возведенного в Норильске жилья не удовлетворяет самым скромным потребностям северян. Уровень комфорта минимален, расходы максимальны. Только в 2010 году, спустя 20 лет осуществлено строительство 3-х жилых домов. Учитывая влияние техногенных и природных факторов строительство жилого фонда на Крайнем Севере посильно крупным инвесторам - градообразующим предприятиям, таким как ОАО «ГМК «Норильский никель», имеющим производственные мощности. В среднем цена 1 жилого кв.м обходится Норильску 65-75 тыс.руб. (вторичный жилой фонд на рынке 25-

30 тыс.кв.м). Практика инвестирования жилого фонда за счет населения полностью отсутствует, в связи с традиционным «временным проживанием».

Третья проблема-общественно-деловые зоны. Отсутствие строительства новых объектов культурно-бытового обслуживания, а также реконструкции существующих не отвечает современным требованиям необходимого уровня комфорта среды проживания в условиях Севера. Ранее строительство социальных объектов, особенно в условиях Крайнего Севера, осуществлялось за счет градообразующего предприятия. Сегодня освоение Крайнего Севера зачастую регулируется выдачей лицензий на недропользование федерального значения. В настоящее время при выдаче лицензий на недропользование в лицензионное соглашение об условиях недропользования недрами не прописываются четкие условия по участию недропользователя в социально-экономическом развитии города.

а  б 

Рисунок 4. Из-за несоблюдения эксплуатации оснований зданий вечномерзлые грунты подвергаются растеплению. Выпучивание грунтов (а). Деформация свай (б).

Четвертая, самая главная, проблема - инженерная подготовка территории. Учитывая специфику города, последнее двадцатилетие особую остроту для города приобрела проблема обеспечения устойчивости и надежности массовой плотной застройки, осуществляемой в условиях вечномерзлых грунтов. Дело в том, что за многие годы привычно считалось, что технические решения устройства оснований и фундаментов на вечной мерзлоте давно найдены, успешно применяются и обеспечивают должную надежность. Однако после 35-40 лет эксплуатации районов плотной застройки стали появляться провальные дефор-

мации, выпучивание грунтов, заболачивание отдельных участков. Возникла угроза устойчивости и надежности несущих конструкций тех объектов, которые длительное время считались благополучными. Объекты (большую часть из них объекты жилого фонда) приходится демонтировать, многие укреплять и реконструировать. Проблема всех российских городов «точечная застройка», которая зачастую ухудшает комфорт проживания застроенной территории для Крайнего Севера стала катастрофой, которая подвергает растеплению грунтов оснований зданий застроенной территории. При разработке проектов застройки на участках вечномерзлыми грунтами, необходимо предусматривать раздел «Комплексная инженерная подготовка территории», в котором четко оконтуриваются пути поверхностных и глубинных водотоков, регламентируется температурный режим грунтов на определенных глубинах Проектировщикам обязательно надо учитывать эти ограничения при размещении зданий и сооружений в соответствующих микрорайонах.

а  б 

Рисунок 5. Устройство свайного поля-основания здания, полный цикл мероприятий по сохранению вечно-мерзлых (а). Строительство здания с нарушением мероприятий по сохранению вечно-мерзлых грунтов (б).

Однако, маленьким абзацем ст.51.ГК о возможности не выходить на госэкспертизу при проектировании здания до 1500 кв.м, успешно пользуются так называемые «инвесторы». Тем самым, при строительстве таких зданий внутриквартальной «точечной застройки», мероприятия по сохранению вечно мерзлых грунтов (проектирование и строительство нулевого цикла (свайное фундирование) - самые затратные и во временном и финансовом режиме (60%) ими

просто игнорируются, тем самым при строительстве без мероприятий по сохранению вечно-мерзлых грунтов, провоцируя растепление грунтов и подвергая устойчивости оснований существующих вокруг зданий. (Рис. 5).

Генеральный план, при условии его регулярной корректировки, дает возможность перспективно развивать градостроительную политику города Норильск на 20 летнюю перспективу. Однако, в условиях существующей и изменяющейся экономической ситуации что требует законодатель от органов самоуправления? По земельному кодексу - продать землю «инвестору», по гражданскому - максимально снизить для него административные барьеры в области строительства, по теории градостроительного кодекса - создать благоприятную среду для комфортного проживания, а на практике максимально упростить архитектуру зданий и сооружений, сделав ее всего лишь картинками в презентационных альбомах для главной цели –получение земли как вещи без последующих градостроительных аспектов: архитектуры, и благоустройства. Прогрессирующий, в последнее время, на законодательном уровне перевод деятельности органов архитектуры на позиции рекомендательного характера не позволяет реализовывать стратегию миграционной привлекательности городов, дальнейшего современного жизнеобеспечения и комфортного проживания населения. Федеральные законодательные акты в области градостроительства и земельно-имущественных отношений сегодня имеют обобщенный подход к территориям без учета климатических условий, что в условиях Крайнего Севера оборачивается бедой.

В целях сохранения городов Крайнего Севера, в том числе для реализации правительственной программы по освоению Арктической зоны необходимо рассмотреть целесообразность:

- внесения изменения в градостроительный, земельный кодекс в части придания статуса территориям Крайнего Севера как особо охраняемым территориям на которые будет распространяется особый режим проектирования, строительства на земельных участках, учитывающий особенности градострои-

тельства Северных территорий, что позволит сохранить города Крайнего Севера для дальнейшего освоения и развития Арктической зоны РФ.

Список литературы

1. Щитинский В.А. Градостроитель-профессия или образ жизни? СПб.: Издательство «Зодчий», 2013. 152 с.

2. Владимиров В.В. Избранные труды 1990-2000 АО «Московские учебники и Картолитография», М:2001.232 с.

3. Назарова Л.Г., Сорокин А.А. Организация урбанизированной жизненной среды населения Таймырского региона // Издательство Красноярского университета, Красноярск 1984. 208 с.

4. Крушлинский В.И. Город. Проект. Архитектура // Издатель КрасноярскНИИпроект. Красноярск, 2008.138 с.

5. Усепян Л. Х. Сибирский архитектор Анатолий Афанасьевич Воловик (1929–1999) // Баландинские чтения. 2014. № 1. С. 300–306.

Влияние Интернет-технологий на бизнес: идеальный выбор

Стариков А. И.[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: caexpert@yandex.ru[a]

Аннотация: в статье рассматривается влияние идеального выбора, одного из трёх Интернет-эффектов на бизнес. Раскрываются возможности и угрозы, которые он несёт. Идеальный выбор увеличивает риск спроса у тех компаний, которые не прилагают усилий по внедрению инноваций в этом направлении. Для борьбы с идеальным выбором компания нуждается в инновационных стратегиях, которые обеспечат клиентам выбор, востребованный в сетевой экономике. Предлагаются методы по обеспечению расширению выбора для покупателей: виртуальный выставочный зал, увеличение числа каналов, широкий выбор комплектующих, а также использование Web 3.0 и мобильных технологий. Прогнозируется появление нового канала (u-коммерции), который по своим характеристикам превзойдёт мобильную. Рассматриваются различные примеры использования данных методов и их сочетаний на примере зарубежных и российских компаний.

Ключевые слова: электронный бизнес, Интернет-эффект, идеальный выбор, виртуальный выставочный зал, увеличение числа каналов.

В индустриальной экономике экономисты предполагали, что идеальной моделью рынка является рынок совершенной конкуренции. При таком рынке большое количество покупателей и продавцов соревновались в торговле стандартными товарами. В сетевой же экономике потребители больше заинтересованы в идеальном выборе, чем в условиях совершенной конкуренции. То есть, они желают иметь широкий выбор товаров и способов их покупки. Также они стремятся получать товары и услуги, имеющие характеристики, соответствующие их предпочтениям. Таким образом, идеальный выбор – это Интернет-эффект [Стариков, с.58], несущий одновременно возможности и угрозы для бизнеса.

Идеальный выбор, доступный покупателям в условиях сетевой экономики, сделал их гораздо более требовательными в отношении товаров и услуг, которые они покупают. Они больше не хотят довольствоваться тем, что лежит на полках или лотках; вместо этого они стремятся удовлетворить специфические

желания или потребности с помощью покупок. Взыскательный спрос потребителей имеет и положительную сторону для продавцов. Внимание покупателей концентрируется не на цене, а на поиске товара, который соответствует их потребностям. Поскольку товары, изготовленные по индивидуальному заказу, редко стандартизированы, их сравнение становится сложнее. Кроме того, заказчик чаще проявляет готовность платить более высокую цену за товар, выполненный по индивидуальному заказу.

Есть несколько методов, чтобы обеспечить покупателю более широкий спектр выбора: виртуальный выставочный зал, увеличение числа каналов, широкий выбор комплектующих, а также использование Web 3.0 [2] и мобильных технологий. Например, компания «Borders» решила, что их книжный магазин может предложить клиентам гораздо более широкий спектр наименований благодаря сотрудничеству с «Amazon.com». На сайте «Amazon.com» был создан виртуальный магазин, предлагающий намного более широкий спектр книг, чем любой другой традиционный магазин. Это сотрудничество продолжалось до 2007 г., после чего компания объявила о планах по запуску собственного электронного бизнеса в начале 2008 г. [3]. Однако осуществлению этого амбициозного плана помешал мировой финансовый кризис 2008 года.

Компания «Barnes and Noble» прошла похожий путь становления электронного бизнеса, но ввела дополнительное новшество – возможность возврата через веб-сайт или магазин. В 2004 г. компания стала предлагать в кофейнях при некоторых книжных магазинах бесплатный Wi-Fi, к 2006 г. полностью завершила данный проект. В июле 2009 г. бесплатный Wi-Fi предлагается каждому покупателю.

Компания «L.L. Bean» (www.llbean.com), Интернет-магазин одежды и оснащения для активного отдыха [4]. Благодаря Интернету у компании появился дополнительный выбор канала. После продажи через посредников в течение длительного времени, компания «Apple» перешла к использованию системы онлайн-заказов, а также организовала оффлайн-магазины. Использование онлайн-аукционов для большого количества розничных продавцов и производи-

телей, например компания «Home Depot» [5], – ещё один пример предоставления выбора каналов для коммуникации.

Возможно, самый широкий канал, предлагаемый электронной коммерцией, включает в себя мобильные устройства, которые с помощью беспроводных сетей создают возможности мобильной коммерции. Мобильная коммерция, как правило, представляет собой программно-аппаратное решение по автоматизации процессов взаимодействия с удаленными пользователями. Мобильная коммерция – это использование ноутбуков, мобильных телефонов, планшетов и смартфонов для подключения к Интернету с целью осуществления процедур, связанных с электронной коммерцией. Встречается название «мобильная торговля» — бизнес-решение, тесно интегрированное с системами автоматизации торговли и предназначенное, в первую очередь, для автоматизации сбора заказов. Иногда термин «мобильная торговля» («мобильные продажи») трактуют более широко и употребляют в качестве синонима мобильной коммерции вообще. В настоящее время мобильная коммерция демонстрирует высокие темпы роста: так, только за один 2013 г. рост продаж с помощью смартфонов составил 135%, а с помощью планшетов – 86% [6].

Раньше фирмы довольствовались тем, что покупатели посещали их офлайн-магазины или веб-сайты, теперь же могут участвовать в двустороннем взаимодействии с клиентами с помощью мобильных устройств. Компании используют специальную форму Веб-сети, которая разработана для мобильных телефонов, чтобы сделать информацию доступной для клиентов и обрабатывать поступающие от них заказы. Компании также используют исходящую электронную почту и системы коротких сообщений (SMS) для оповещения клиентов о товарных возможностях. Например, в Южной Африке торговый центр направлял письма клиентам на мобильные телефоны, как только они заходили в здание, предупреждая их продажах и специальных предложениях в магазинах торгового центра. Наконец, клиенты могут использовать e-mail, SMS и голос, чтобы запросить информацию о продукции фирмы или просто приобрести её.

Эти возможности расширились после появления MMS. MMS (англ. Multimedia Message Service) – служба передачи мультимедиа-сообщений, означающая услугу обмена короткими мультимедийными сообщениями. В это сообщение можно вставить фотографию или видеоролик длительностью около 10 секунд (всё зависит от используемого кодека, разрешения и качества видеозаписи) или послать небольшую мелодию, записанную в различных форматах или же небольшую диктофонную запись. Реклама MMS показывает человека на борту парусника, а другой человек в магазине с помощью Веб-камеры отправляет ему фотографии предметов. Подразумевается, что MMS работает с цифровым протоколом мобильной связи GSM.

Компания «Аксенчер» также пропагандирует модульный принцип в электронном бизнесе. Этот принцип означает, что покупатель может самостоятельно отбирать отдельные комплектующие, аксессуары, услуги и т. п. и комбинировать их по своему усмотрению, например, потребитель может приобрести костюм, несколько рубашек и несколько галстуков и комбинировать их в зависимости от случая или настроения.

Программируемые пользователем микроконтроллеры, QR-коды (англ. quick response — быстрый отклик) и микро-блоги являются технологиями Web третьего поколения (Web 3.0). Так, программируемые пользователем микроконтроллеры, примером которых служит микроконтроллер «Arduino», могут использоваться для повышения технологической оснащенности процессов ведения электронного бизнеса. Поскольку программируемый пользователем микроконтроллер содержит системы сбора информации из внешней среды (видео- и аудио-регистраторы, сенсоры чувствительности) и систему передачи данных по каналам связи, регулируемые программой на относительно простом языке программирования, схожим с JavaScript, подобные микроконтроллеры могут быть использованы для оперативного контроля в точках выдачи товаров и при их доставке (например, для оценки общей загрузки сотрудников, не снабженных корпоративными компьютерами или мобильными устройствами).

Это может существенным образом и с минимальными затратами улучшить работу тех участков в цепи электронного бизнеса, которые ведутся оффлайн [7].

В настоящее время ожидается появление нового канала – так называемой u-коммерции, которая превосходит мобильную коммерцию с точки зрения потенциала. U-коммерция – это расширение мобильной коммерции, в котором U означает несколько понятий, в том числе «повсеместный», «универсальный» или «согласованный» (англ. ubiquitous, universal или unison). Повсеместный означает, что компьютерные устройства будут вмонтированы в товары длительного пользования, и все они будут подключены к Интернету с помощью собственного IP-адреса. Они смогут общаться друг с другом и с другими устройствами, чтобы сделать жизнь легче. Например, представьте себе автомобиль, который может определить, когда его батарея сядет, воспользоваться Интернетом для поиска ближайшего дилера, и назначить встречу по замене, которая произойдёт в соответствии с расписанием владельца. Универсальный означает, что одно универсальное мобильное устройство заменит все устройства, которые вы вынуждены сегодня брать, и будет работать в любой точке мира. При этом не нужно оплачивать роуминг или международные звонки. Это устройство может однозначно идентифицировать Вас, на что не способна пластиковая карта удостоверения личности. Наконец, согласованный означает, что будет полное согласие между всеми компьютеризированными устройствами, которые вы используете: ваше расписание, адресная книга, список дел, файлы данных, приложения и т.д. Вам больше не придется беспокоиться о том, в каком устройстве хранится письмо: оно будет доступно независимо от того, где вы находитесь. Время U-коммерции не за горами – благодаря увеличению распространенности мобильных устройств. Вероятно, в скором времени компании начнут использовать U-коммерцию на рынке и продавать свои товары и услуги по-новому, так как они будут искать способы борьбы с Интернет-эффектами.

Другая стратегия борьбы с идеальным выбором связана с использованием метода модульного выбора. Она включает в себя предоставление клиентам множества дополнительной информации. Это то, что отличает электронную

коммерцию. Пользуясь этой информацией, заказчики могут создавать свои собственные системы, – будь то компьютеры, автомобили, или современные акустические системы. В сущности, экономика будет двигаться от выталкивающей системы, ориентированной на производственную мощность, к вытягивающей системе, ориентированной на потребителя. Сейчас это происходит во многих отраслях промышленности. В самом деле, компания «General Motors» уже позволяет клиентам произвести настройку, оплату и отслеживание поставки автомобилей в режиме онлайн. Аналогичная система, скорее всего, появится в США в течение нескольких последующих лет.

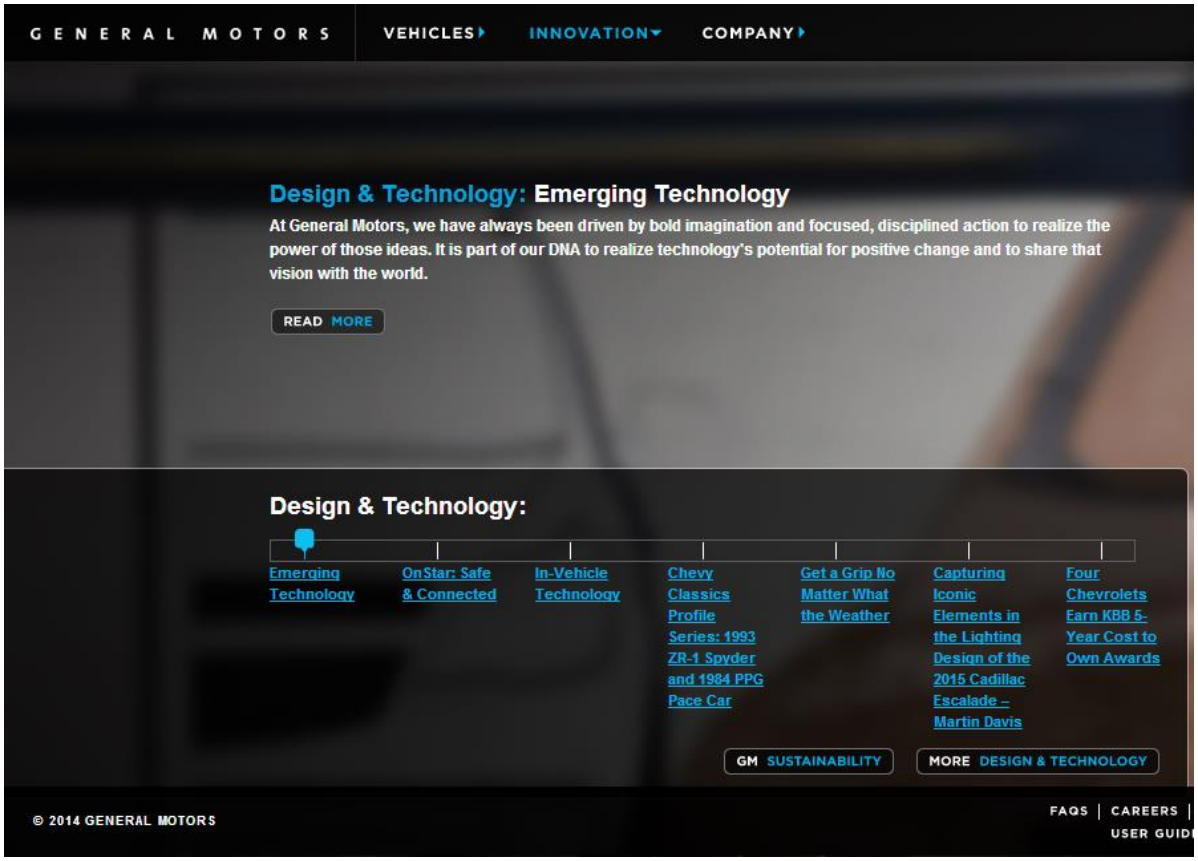


Рис. 1. Сайт компании General Motors

Интернет оказал воздействие и на компанию «Данар», поставив её в большую зависимость от выбора клиентов. Клиенты часто просят такие наименования блюд, которые компания обычно не готовит. Также растёт спрос на продукцию, реализуемую конкурентами через местную дистрибьюторскую сеть. Для клиентов, которых интересует широкий выбор, руководство компании собирается брендировать и продавать свою продукцию через созданную сеть дистрибьюторов блюд восточной кухни. Это брендирование будет иметь

ссылку на веб-сайт danar.ru, и клиенты будут направлены к их ближайшему дистрибьютору если они выбирают приобретение не через Интернет. Компания также рассматривает варианты перехода на SMS, чтобы связываться с покупателями посредством цифровой мобильной связи.

Список литературы

1. Стариков А. И. Влияние Интернет-технологий на бизнес // Advance Science. 2017, № 1. С. 57–66.

2. Калаканис, Джейсон Web 3.0, the "official" definition. URL: http://calacanis.com/2007/10/03/web-3-0-the-official-definition/(дата обращения 10.02.2015).

3. Borders Group. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Borders_Group (дата обращения 10.01.2017).

4. L.L.Bean. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/L.L.Bean (дата обращения 10.01.2017).

5. The Home Depot. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/The_Home_Depot (дата обращения 10.01.2017).

6.The State of Retailing Online 2014: Key Metrics and Initiatives. URL: http://www.shop.org/research/original/state-retailing-online-2014-key-metrics-and-initiatives

7. Комаров М.М., Тестова А.Ю. Web 3.0 в сфере электронной коммерции // Бизнес-информатика. 2013. №2(24). С.27–31.

Абдуктивный логический вывод и его разновидности

Страбыкин Д. А.[a]
доктор технических наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: strabykin@mail.ru

Аннотация: Рассматривается моделирование рассуждений в виде правдоподобного логического вывода на знаниях, представленных формулами исчисления предикатов первого порядка. Проводится сравнительный анализ «классической» формулировки задачи абдуктивного логического вывода, состоящей в определении недостающих фактов, объясняющих имеющееся наблюдение, и новой задачи логического вывода следствий из выбранных фактов при не полностью определенной базе знаний. Предлагается рассматривать обе задачи, как модификации абдуктивного логического вывода. Определяются различные разновидности абдуктивного вывода в зависимости от результата вывода, вида дополнений и способа определения дополнений базы знаний. Уточняются формулировки задач абдуктивного логического вывода, выделяются основные и дополнительные результаты вывода. Приводится пример задачи абдуктивного логического вывода заключений (объяснения наблюдений) и пример задачи абдуктивного вывода следствий, содержащие схемы вывода.

Ключевые слова: моделирование рассуждений, абдуктивные заключения, следствия.

Моделирование рассуждений относится к одному из разделов искусственного интеллекта, связанному с представлением, пониманием и управлением поведением различных систем. С помощью моделирования рассуждений формулируются и решаются различные виды задач логического вывода. Примерами таких задач могут служить: проверка выводимости заданного заключения из базы знаний (дедуктивный вывод); пополнение базы знаний фактами, необходимыми для вывода заключений (абдуктивный вывод); добавление в базу знаний общих правил (индуктивный вывод) [Вагин, с.32-39].

В условиях неполной или некорректной информации, когда дедуктивный вывод заканчивается неудачей может быть применен абдуктивный вывод. Задача абдукции при этом формулируется следующим образом [Kakas, с.236]. Пусть знания представляются множеством формул T, и дана формула G (наблюдение). Требуется найти такое множество формул D, что наблюдение G

является заключением, выводимым из объединенного непротиворечивого множества формул T и D:

1) $T \cup D \rightarrow G$,

2) $T \cup D$ – совместно.

Разновидности абдуктивного логического вывода. Применение логического вывода для решения практических задач способствует появлению новых разновидностей логического вывода. В частности, разработка методов логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода в условиях неполной базы знаний позволила сформулировать новую задачу логического вывода следствий [Страбыкин, с.98, Долженкова, с.74]. В этой задаче выводимое заключение заранее не задано, а требуется определить все следствия из выбранных (в том числе внешних по отношению к базе знаний) фактов на основе имеющихся исходных посылок [Dolzhenkova, с.1]. Причем, дедуктивный вывод логических следствий из выбранных фактов может завершиться неудачно. В отличие от традиционной абдукции в выводе следствий отсутствует наблюдение G. В то же время, определяемое объяснение D, для выбранных (новых) фактов t, дает возможность предсказать наблюдение g, логически следующее из $T \cup t \cup D$.

1) $T \cup t \cup D \rightarrow g$,

2) $T \cup t \cup D$ – совместно.

Вывод следствий для выбранных фактов из не полностью определенной базы знаний по содержанию наиболее близок к абдуктивному логическому выводу (в обоих случаях определяются дополнительные факты, необходимые для успешного дедуктивного вывода и совместные с имеющейся базой знаний). Предлагается вывод следствий для выбранных фактов из не полностью определенной базы знаний рассматривать как разновидность абдуктивного логического вывода и для краткости назвать абдуктивным выводом следствий в отличие от абдуктивного вывода заключений (объяснения наблюдений). Различные разновидности абдуктивного вывода в зависимости от результата вывода, вида дополнений и способа определения дополнений базы знаний показаны на рис. 1.

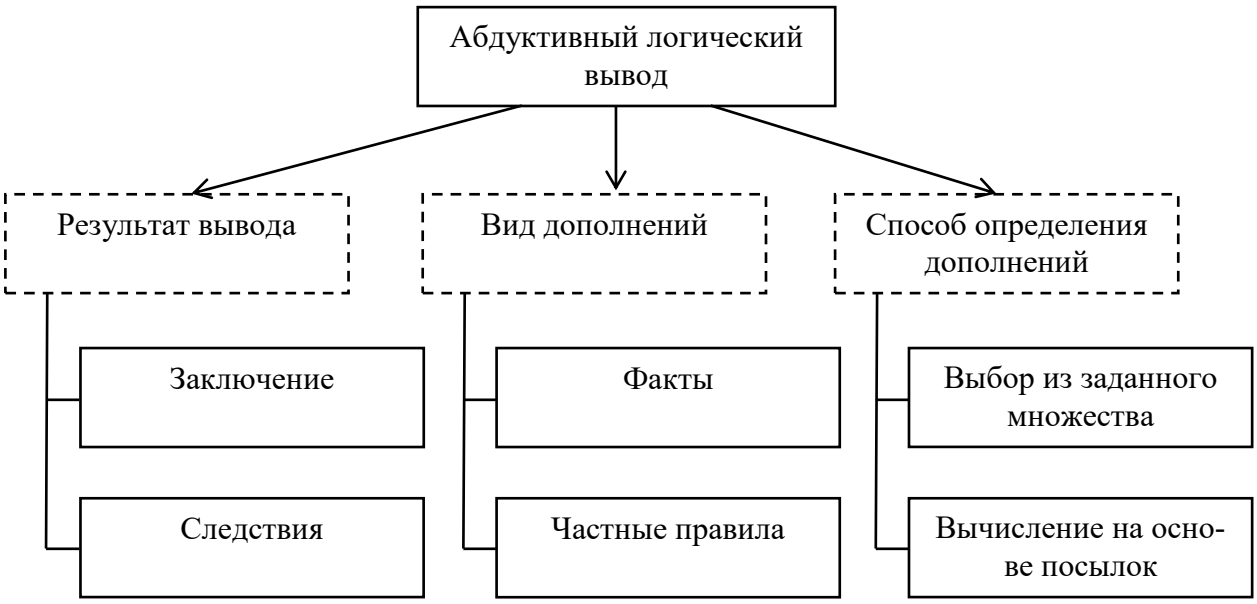


Рисунок 1. Разновидности абдуктивного логического вывода

Абдуктивный вывод заключения. *Исходные данные*: множество посылок и заключение (наблюдение).

Основные результаты: значение признаков выводимости дедуктивного и абдуктивного вывода: дедуктивный вывод завершается не удачно, а абдуктивный успешен; семейство множеств дополнительных фактов и частных правил, каждое из которых не противоречит исходному множеству посылок и обеспечивает успешный дедуктивный вывод заключения при соответствующих значениях переменных в формуле заключения, определяемых унифицирующими подстановками.

Дополнительные результаты успешного вывода. Для каждого множества дополнительных фактов и частных правил, обеспечивающего успешный дедуктивных вывод заключения, могут быть определены: факты посылок или все предшествующие заключению утверждения, использованные в процессе его логического вывода; а также схема вывода, отражающая один путь (одну нить рассуждений) или схема вывода, отражающая все пути логического вывода заключения.

Применение абдуктивного вывода заключений рассмотрим на примере. Исходными данными являются следующие предложения (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для абдуктивного вывода заключения

Знания	Посылки / заключение	Формулы
Факты	1) руководит(Сергей,Борис)	$P(c,b)$
	2) руководит(Борис,Анна)	$P(b,a)$
	3) руководит(Борис,Николай);	$P(b,n)$;
	4) руководит(Анна,Евгений)	$P(a,e)$
Правила	5) руководит(x,y)→отчитывается(y,x)	$P(x,y)\rightarrow O(y,x)$
	6) руководит(z,u)& &отчитывается(s,u)→отчитывается(s,z)	$P(z,u)O(s,u)\rightarrow O(s,z)$
Заключение	7) «Верно ли то, что если Борис руководит Анной и Николаем, то Анна и Николай входят в одну рабочую группу?»	$P(b,a)P(b,n)\rightarrow G(a,n)$.

В рассматриваемом примере дедуктивный вывод заключения $P(b,a)P(b,n)\rightarrow G(a,n)$ завершается неудачно. Абдуктивный вывод завершается успешно формированием нового частного правила. Для того, чтобы заданное заключение было следствием посылок, необходимо дополнить их частным правилом: $O(a,b)O(n,b)\rightarrow G(a,n)$ («Если Анна отчитывается перед Борисом, и Николай отчитывается перед Борисом, то Анна и Николай входят в одну рабочую группу»). Схема логического вывода приведена на рис. 2, где $\lambda_1=\{b/x^1,a/y^1\}$, $\lambda_2=\{b/x^2,n/y^2\}$, $\lambda_3=\varnothing$ – унифицирующие подстановки.



Рисунок 2. Схема логического вывода заключения $P(b,a)P(b,n)\rightarrow G(a,n)$

Абдуктивный вывод следствий. *Исходные данные*: множество посылок и выделенные факты. *Основные результаты*: значение признаков выводимости дедуктивного и абдуктивного вывода (абдуктивный вывод успешен); семейство множеств конечных следствий, дополнительных фактов и частных правил. Следствие является конечным, если из него не может быть получено ни одно новое следствие. Дополнительные факты и частные правила не противоречат исходному множеству посылок и обеспечивают успешный дедуктивный вывод конечных следствий при соответствующих значениях переменных в формулах конечных следствий, определяемых унифицирующими подстановками.

Дополнительные результаты успешного вывода. Для каждого множества дополнительных фактов и частных правил, обеспечивающего успешный дедуктивных вывод конечных следствий, могут быть определены: следствия из выбранных фактов, предшествующие конечным; схемы вывода, отражающие один путь или схемы вывода, отражающие все пути логического вывода всех конечных следствий.

Следует заметить, что абдуктивный вывод следствий может быть применен и в тех случаях, когда дедуктивный вывод следствий успешен. В этом случае абдуктивный вывод может найти новые конечные следствия, вытекающие из выбранных фактов с использованием дополнительных фактов и частных правил. Применение абдуктивного вывода следствий рассмотрим на примере. Исходными данными являются следующие предложения (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные для вывода следствий

Знания	**Посылки / заключение**	**Формулы**
Факты	1) руководит(Сергей,Борис) (предполагается, что этого факта нет)	$P(c,b)$
	3) руководит(Анна,Евгений)	$P(a,e)$
Правила	4) руководит(x,y)→отчитывается(y,x)	$P(x,y)\rightarrow O(y,x)$
	5) руководит(z,u)& &отчитывается(s,u)→отчитывается(s,z)	$P(z,u)O(s,u)\rightarrow O(s,z)$
Выбранные факты	2) руководит(Борис,Анна)	$P(b,a)$

В рассматриваемом примере дедуктивный вывод следствий завершается успешно: из выбранного факта $P(b,a)$ (руководит(Борис,Анна)) на основании базы знаний следует, что Анна отчитывается перед Борисом ($O(a,b)$). Абдуктивный вывод следствий также завершается успешно, формируя дополнительный факт $P(z_2,b)$ и новое конечное следствие $O(a,z_2)$: Анна отчитывается перед каждым (z_2), кто руководит Борисом.

Схема логического вывода для рассмотренного примера приведена на рис. 3, где $\lambda_1=\{b/x,a/y\}$, $\lambda_3=\{a/s,z_2/z\}$ – унифицирующие подстановки, определяющие значения переменных в процессе вывода конечного следствия.

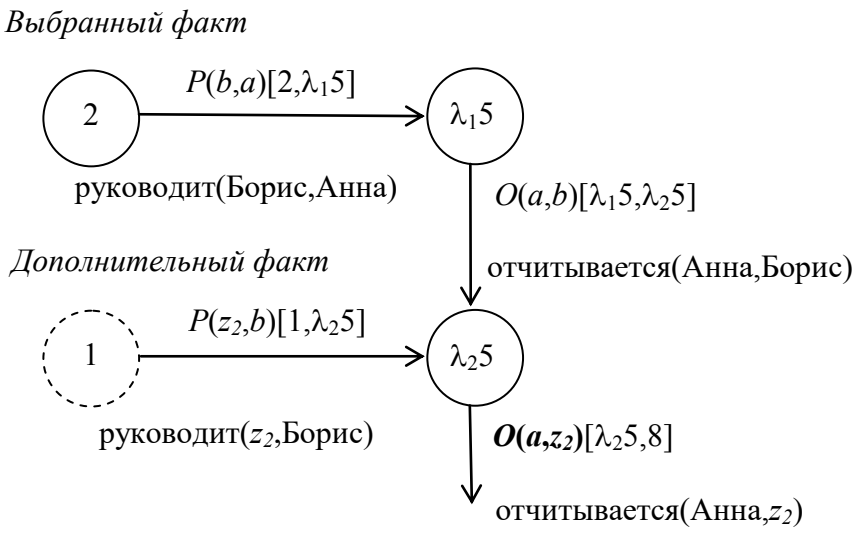


Рисунок 3. Схема логического вывода следствий

Рассмотренные разновидности абдуктивного логического вывода связаны с моделированием правдоподобных рассуждений. При решении задач абдуктивного вывода отношение следования является дедуктивным и гарантируется сохранение непротиворечивости множества посылок, после дополнения его недостающими для успешного вывода новыми посылками. Однако, возможны ситуации, когда от результатов решения таких задач приходится отказываться. В частности, это происходит тогда, когда вычисленные на основе посылок новые частные правила не имеют смысла в предметной области, описываемой исходными посылками.

Список литературы

1. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах, 2-е изд., испр. и доп. / В. Н. Вагин и др. М. : Физматлит, 2008. 712 с.

2. Kakas A., Kowalski R., Toni F. The Role of Abduction in Logic Programming // In: Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming 5, D. M. Gabbay, C. J. Hogger, J. A. Robinson (eds.), Oxford University Press, 1998. P. 235–324.

3. Страбыкин Д. А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода // Изв. РАН. ТиСУ. 2013. № 5. С. 98–92.

4. Долженкова М. Л., Страбыкин Д. А. Задача абдуктивного вывода следствий // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 1. С. 74–77.

5. Dolzhenkova M., Meltsov V., Strabykin D. Method of Consequences Inference from New Facts in Case of an Incomplete Knowledge Base // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9(39). P. 1–7.

Объёмное напряжённо-деформированное состояние арочного грунтозасыпного моста из пластиковых напорных труб

Тарабукина О. А.[a], Тюкалов Ю. Я.[b]
магистрант[a],
доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и машин[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b]
E-mail: tarabukinaoa@mail.ru[a], yutvgu@mail.ru[b]

Аннотация: Арочные грунтозасыпные мосты достаточно широко применяются в качестве искусственных сооружений на дорогах. Это объясняется низкими трудозатратами на строительство и возможностью возведения без применения специальной техники. В последнее время растёт интерес к строительству арочных мостов из композитных арок, заполняемых бетоном на месте строительства. В декабре 2016 года завершилось строительство пилотного объекта – арочного моста с композитобетонными несущими элементами пролётом 12 м. Основной недостаток таких мостов – высокая стоимость композитных материалов, сложность изготовления. Альтернативным вариантом является применение напорных труб из непластифицированного поливинилхлорида, которые играют роль защитного слоя бетона и несъёмной опалубки. Цель исследования: проанализировать работу арочного элемента моста из таких труб под нагрузкой. Расчёт производится с помощью программного комплекса ЛИРА-САПР методом конечных элементов, учитывая нелинейную работу бетона и арматуры. Арка моделируется из пространственных конечных элементов. Делается вывод о необходимости частичного армирования в зонах четверти арки, которое может производиться засчёт выпусков арматуры из фундамента. Арочный мост с заполненными бетоном пластиковыми трубами может быть применён для перекрытия небольших рек и оврагов, которых достаточно много в нашей стране. Это более дешёвая, быстровозводимая и приемлемая альтернатива композитобетонным мостам.

Ключевые слова: пластиковая напорная труба, метод конечных элементов, объемное напряженное состояние, физическая нелинейность.

Арочные грунтозасыпные мосты достаточно широко применяются в качестве искусственных сооружений на дорогах. Это объясняется низкими трудозатратами на строительство и возможностью возведения средствами малой механизации.

В последнее время растёт интерес к строительству арочных мостов по технологии «Мост в рюкзаке», разработанной американской компанией. Конструкция такого моста состоит из композитных арок, заполняемых бетоном на месте строительства [1, 2]. В декабре 2016 года завершилось строительство

пилотного объекта в Ульяновской области – арочного грунтозасыпного моста с композитобетонными несущими элементами пролётом 12 м [2]. Основной недостаток таких мостов – высокая стоимость композитных материалов, сложность изготовления.

В статье [1] рассматривается возможность применения напорных труб из непластифицированного поливинилхлорида для несущих арочных элементов моста. Достоинствами альтернативного варианта является отсутствие дефектов, характерных для полимерных композиционных материалов, низкая стоимость и доступность.

Цель исследования: проанализировать работу арочного элемента из пластиковой трубы, заполненной железобетоном, под нагрузкой.

Расчёт производится с помощью программного комплекса ЛИРА-САПР методом конечных элементов. Метод решения нелинейной задачи – шагово-итерационный. Расчётная схема арочного элемента приведена на рис. 1. Арка пролётом 8 м и высотой подъёма 2 м по длине разбивается на 110 конечных элементов, длина которых составляет 0,084 м. Круглое сечение триангулируется дроблением контура и сетки узлов четырёхузловыми элементами с шагом сетки узлов 0,025 м.

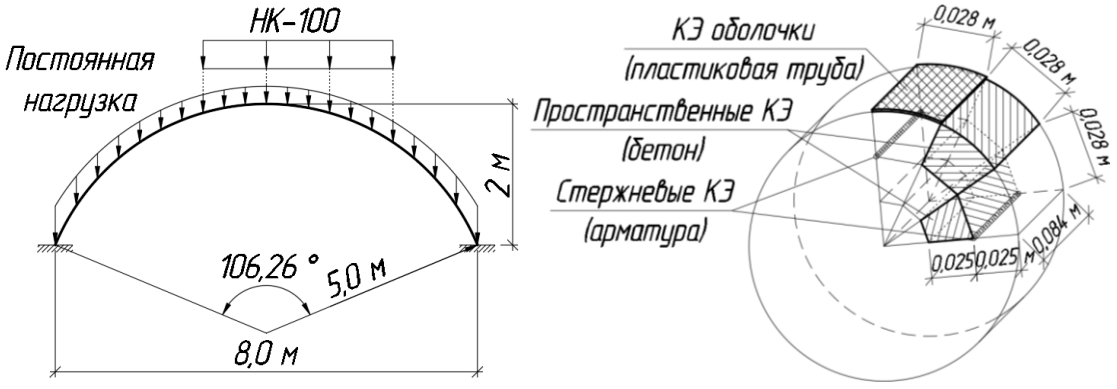


Рисунок 1. Расчётная схема и схема разбиения на конечные элементы

Пластиковая труба моделируется четырёхугольными конечными элементами оболочки, бетонные элементы – физически нелинейными пространственными шестиузловыми и восьмиузловыми конечными элементами, арматура – физически нелинейными стержневыми элементами (рис. 2).

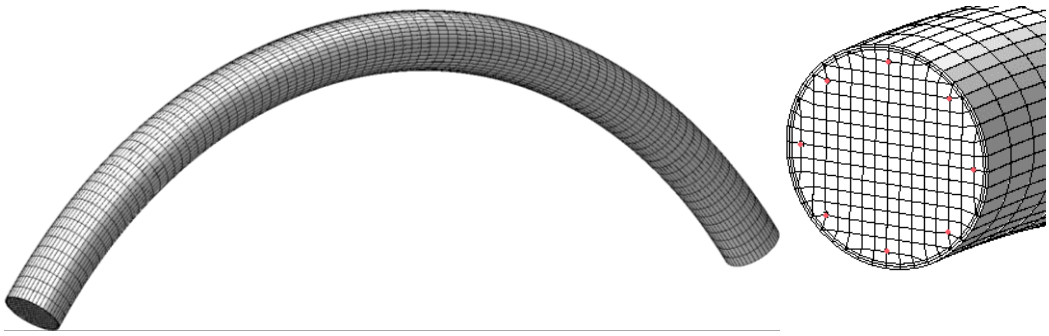


Рисунок 2. 3D вид арочного элемента

Параметры деформирования бетона и арматуры рассчитываются по формулам [3] (рис. 3) и сводятся в табл. 1.

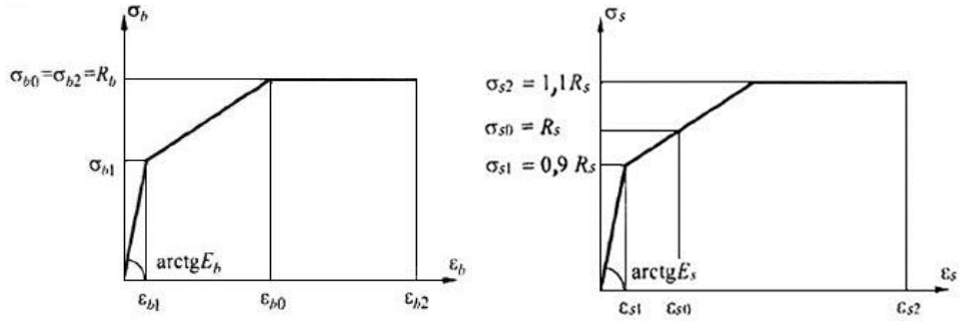


Рисунок 3. Трёхлинейная диаграмма состояния сжатого бетона и растянутой арматуры [3]

Таблица 1

Параметры деформирования бетона и арматуры

Напряжённое состояние	*Напряжение, МПа*	*Деформация*
Бетон		
Сжатие	$\sigma_{b1} = 10{,}2$	$\varepsilon_{b1} = 0{,}00031$
	$\sigma_{b0} = 17$	$\varepsilon_{b0} = 0{,}002$
	$\sigma_{b2} = 17$	$\varepsilon_{b2} = 0{,}0035$
Растяжение	$\sigma_{bt1} = -0{,}69$	$\varepsilon_{bt1} = -0{,}00002$
	$\sigma_{bt0} = -1{,}15$	$\varepsilon_{bt0} = -0{,}0001$
	$\sigma_{bt2} = -1{,}15$	$\varepsilon_{bt2} = -0{,}00015$
Арматура		
Растяжение, сжатие	$\sigma_{s1} = 315$	$\varepsilon_{s1} = 0{,}001575$
	$\sigma_{s0} = 350$	$\varepsilon_{s0} = 0{,}00175$
	$\sigma_{s2} = 350$	$\varepsilon_{s2} = 0{,}015$

Удельный вес материала пластиковой трубы 1410 кг/м^3, модуль упругости 3000 МПа, коэффициент Пуассона ν=0,35, расчётное сопротивление 30-50 МПа. Диаметр трубы 400 мм, толщина стенки 9,8 мм [4, 5]. Высота засыпки

грунта над шелыгой арки – 1 м. Объёмная масса грунта засыпки принимается по нормам [6] и составляет 2000 $кг/м^3$.

Постоянная нагрузка: собственный веса бетона, арматуры и поливинилхлоридной трубы; веса профнастила и грунтовой засыпки. Класс бетона – В30.

Временная нагрузка НК представлена в виде четырёхосной тележки (рис. 4), устанавливаемой в середине пролёта (центр второй оси тележки совпадает с серединой пролёта в продольном направлении) [7]. Для временной нагрузки НК-100 – общий вес Р=981 кН (100 т) с давлением на каждую ось по 245,25 кН (25 т). Результаты расчёта представлены в табл. 2.

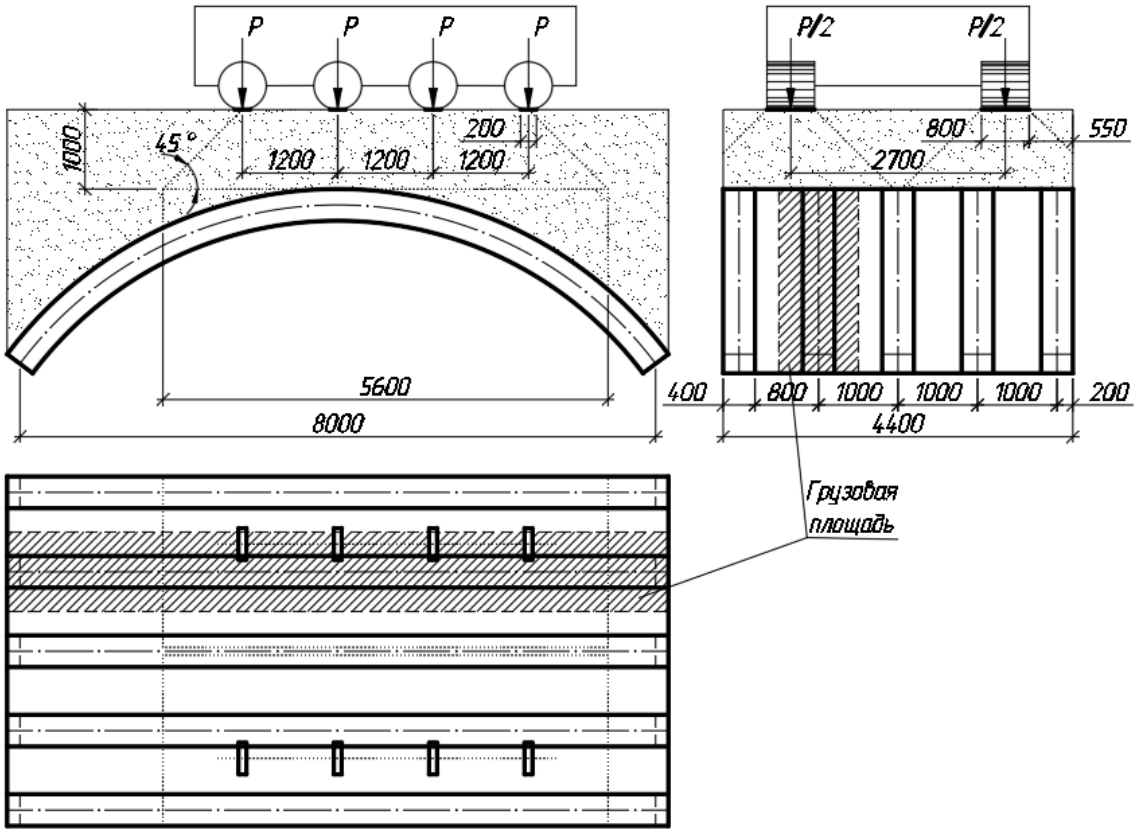


Рисунок 4. Схема приложения нагрузки НК-100

Таблица 2

Результаты расчёта

Параметр напряжённо-деформированного состояния		*Единица измерения*	*Значение*	
Результаты расчёта для КЭ оболочки				
M_x	*момент, действующий на сечение, ортогональное оси X1*	$\frac{кН \cdot м}{м}$	±0,073	
M_y	*момент, действующий на сечение, ортогональное оси Y1*		±0,040	
M_{xy}	*крутящий момент*		±0,002	
Q_x	*перерезывающая сила в сечении, ортогональном оси X1*	$\frac{кН}{м}$	±3,850	
Q_y	*перерезывающая сила в сечении, ортогональном оси Y1*		±3,587	
N_x	*нормальное напряжение вдоль оси X1*	МПа	−5,990	0,365
N_y	*нормальное напряжение вдоль оси Y1*		−1,634	0,082
τ_{xy}	*сдвигающее напряжение, параллельное оси X1*		±1,219	
Результаты расчёта для стержневых КЭ				
N	*продольная сила*	кН	−25,908	0,278
Результаты расчёта для пространственных КЭ				
N_x	*нормальное напряжение вдоль оси X1*	МПа	−1,151	2,756
N_y	*нормальное напряжение вдоль оси Y1*		−1,151	2,894
N_z	*нормальное напряжение вдоль оси Z1*		−1,151	2,238
τ_{xy}	*сдвигающее напряжение, параллельное оси X1 и лежащее в плоскости, параллельной X10Z1*		−1,483	1,618
τ_{xz}	*сдвигающее напряжение, параллельное оси X1 и лежащее в плоскости, параллельной X10Z1*		−2,847	2,933
τ_{yz}	*сдвигающее напряжение, параллельное оси Y1 и лежащее в плоскости, параллельной X10Y1*		−2,790	3,000
Перемещения				
f_x	*линейное перемещение по X*	мм	−1,695	0,603
f_y	*линейное перемещение по Y*		−0,047	0,050
f_z	*линейное перемещение по Z*		−7,734	0,214

Анализируя результаты расчёта, можно сделать следующие выводы:

1. В пластиковой трубе на опоре возникает максимальное напряжение сжатия N=5,99 МПа (рис. 5), которое в пять-восемь раз меньше расчётного сопротивления материала трубы 30-50 МПа [4].

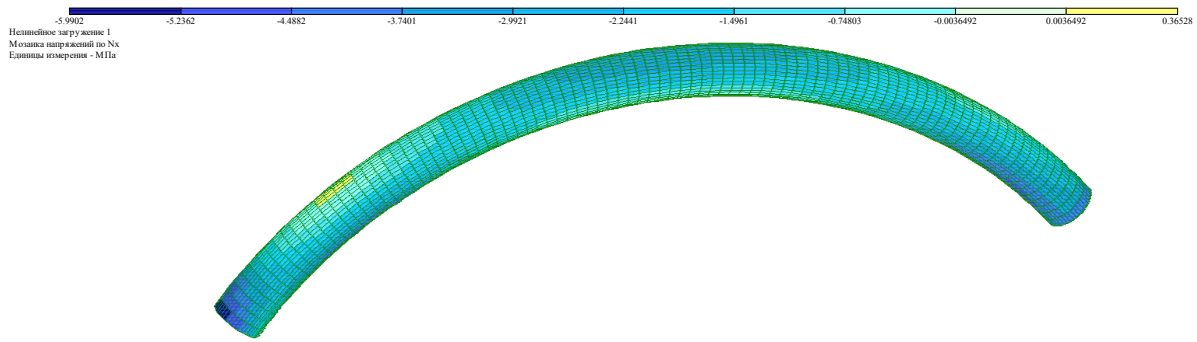


Рисунок 5. Мозаика напряжений N_x для оболочки

2. Арматура, подобранная при расчете арки по плоской расчетной схеме, является конструктивной (рис. 6). Поэтому, предполагается рассмотреть вариант арочного элемента с частичным армированием в опорных зонах арки. Такое армирование может производиться за счёт выпуска арматуры из фундамента, что намного сократит трудоёмкость, сроки и стоимость строительства.

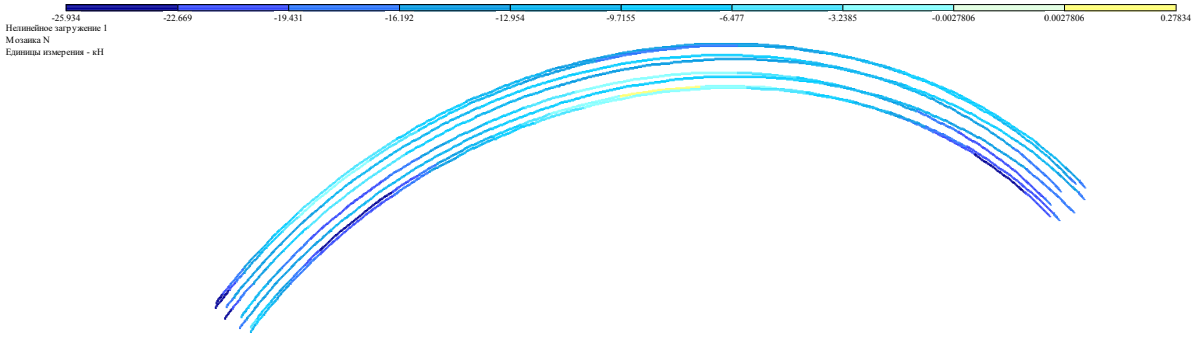


Рисунок 6. Мозаика N для арматуры

3. Максимальное эквивалентное напряжение, вычисленное по теории Писаренко-Лебедева с предельными напряжениями растяжения $R_t = 1{,}15$ МПа и сжатия $R_c = 17$ МПа для бетона, равно $N_e = 3{,}78$ МПа и возникает на опоре арки (рис. 7). При нелинейной работе сжатый бетон не разрушается.

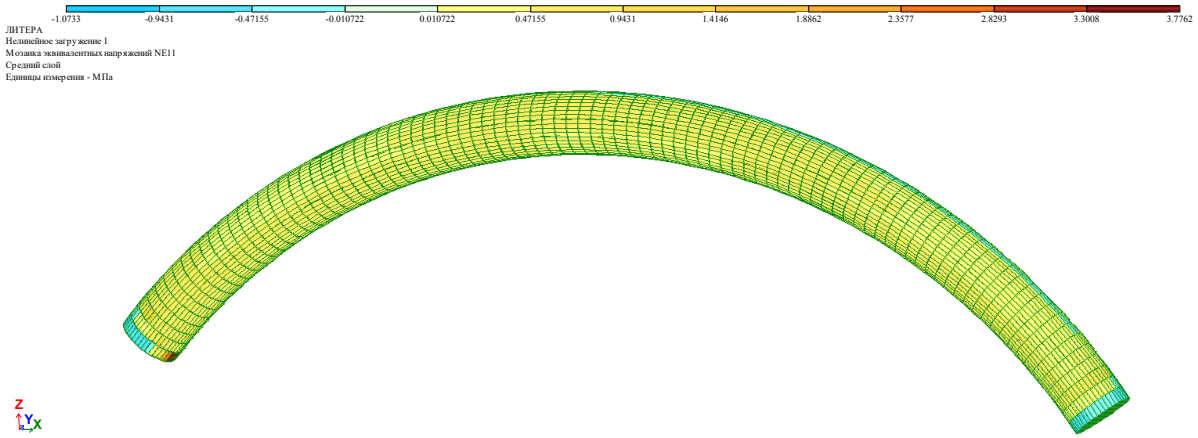


Рисунок 7. Мозаика эквивалентных напряжений для бетона

4. Возникающие перемещения меньше предельно допустимых $[f_z] = 53{,}3$ мм [8] (рис. 8).

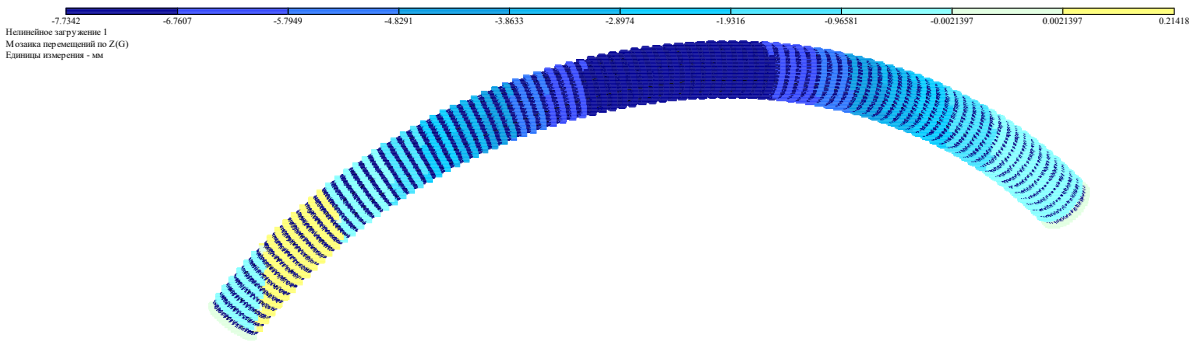


Рисунок 8. Мозаика перемещений по Z

5. Для мостов больших пролётов предполагается для заполнения труб использовать фибробетон.

Список литературы

1. Тарабукина О. А., Тюкалов Ю. Я. Применение пластиковых труб для арочных мостов // Advanced science. 2017. № 3. С. 341–350.

2. Михалдыкин Е. С. Малые грунтозасыпные арочные мосты с композитобетонными несущими элементами // Транспортное строительство. 2017. № 8. С. 8–11.

3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 52-01-2003 : с Изменениями № 1, 2. Прин. 29.12.2011 ; действ. с 01.01.2013. М., 2013. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

4. Трубные системы. Трубы НПВХ: технические характеристики. URL: http://trubsys.ru/catalog/4 (дата обращения 22.10.2016).

5. ВСН 20-95. Ведомственные строительные нормы по проектированию и монтажу подземных сетей канализации и водопровода из поливинилхлоридных труб [Электронный ресурс]. Прин. 22.06.1995 ; действ. с 01.07.1995. М., 1995. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

6. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.05.03-84* : с Изменением № 1. Прин. 28.12.2010 ; действ. с 20.05.2011. М., 2011. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

7. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения [Электронный ресурс]. Прин. 24.09.2007 ; действ. с 01.01.2008. М., 2008. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

8. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.01.07-85*. Прин. 03.12.2016 ; действ. с 04.06.2017. М., 2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Роль технологической операции прессования в процессах декоративной упрочняющей обработки древесины

Тарбеева Н.А.[a], Рублева О.А.[b]
магистрант кафедры «Машины и технология деревообработки»[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология деревообработки»[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: nataly.ntar534@yandex.ru[a], olga_ru@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Технологическая операция прессования массивной древесины поперек волокон применяется во многих техпроцессах деревообработки, в том числе для декорирования поверхности изделий. Наиболее распространены одноступенчатые процессы декоративной обработки, где прессование выступает в качестве ключевой технологической операции. Многоступенчатые процессы, включающие и другие механические операции, кроме прессования, например, брашированиe, исследованы недостаточно и требуют дальнейшего изучения. Целью данного исследования является выявление функции и значения прессования в многоступенчатых процессах путём анализа существующих способов декоративной обработки древесины. В ходе исследования проведено сравнение технологии тиснения древесины и трёх многоступенчатых процессов декорирования с использованием общенаучных логических методов. Методом анализа выявлены преимущества и недостатки каждого способа. В результате установлено, что при декорировании древесины функция прессования в основном заключается в создании рельефного изображения на поверхности древесины. В случаях безрельефного декорирования технологическую операцию прессования применяют для повышения физико-механических свойств древесины.

Ключевые слова: тиснение древесины, рельефная поверхность, упрочнение.

Введение. Одним из направлений развития технологии обработки древесины на сегодняшний день является улучшение декоративных свойств древесины недорогих пород. В то же время существует тенденция изменения не только внешнего вида древесины: цвета, текстуры, формы [Рублева, с.1], но и физико-механических показателей таких, как прочность, твердость, плотность, гигроскопичность и др. Процесс прессования древесины позволяет объединить упрочнение древесины и ее декорирование. При этом прессование может являться как основной центральной операцией в технологическом процессе, так и одним из этапов в многоступенчатых процессах декоративной и упрочняющей обработки древесины.

Технологии тиснения древесины, где операции прессования предоставляется ведущая роль, нашли наиболее широкое применение [2]. Многоступенчатые процессы декорирования древесины на основе технологической операции прессования менее распространены и недостаточно изучены, поэтому требуют дальнейших исследований.

Постановка цели и задач исследования. Целью данного исследования является анализ способов декоративной обработки древесины с применением технологической операции прессования и выявление назначения особенностей технологической операции прессования в многоступенчатых процессах. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) провести обзор существующих способов декорирования древесины прессованием;

2) выявить преимущества и недостатки каждого способа;

3) установить функцию и значимость технологической операции прессования в многоступенчатых процессах.

Ведущий подход. В настоящем исследовании используются следующие общенаучные логические методы:

- анализ, в том числе классификация и сравнение – для выявления преимуществ и недостатков способов декорирования древесины;
- синтез – при проектировании инновационного способа декорирования;
- индукция – при определении роли технологической операции прессования в процессах обработки древесины;
- дедукция – при рассмотрении влияния технологической операции прессования на качество конечного продукта.

На первом этапе исследования формируется проблема, выдвигается гипотеза о рациональности применения технологической операции прессования в качестве составляющей единого технологического процесса декорирования и упрочнения древесины, выявляется присущая изучаемым процессам терминология. Далее гипотеза проверяется с помощью указанных общенаучных методов исследования.

Результаты исследований, их обсуждение. Исследование следует начать с освоения терминологии, используемой в нормативной и научно-технической литературе для точного и однозначного понимания и описания изучаемых процессов. ГОСТ 17743-2016 [3] устанавливает общепринятые термины и определения, применяемые во всех видах документации деревообрабатывающей отрасли промышленности.

Приступить к изучению процессов декорирования древесины с применением операции прессования логично с рассмотрения технологии горячего тиснения древесины. Здесь прессование является ключевой операцией технологического процесса. Данный способ позволяет имитировать весьма трудоемкий процесс ручной или механизированной резьбы по дереву. Преимущество технологии тиснения заключается в отсутствии перерезания волокон древесины. Под действием температуры и давления изменяется цвет древесины, на обработанной поверхности появляется глянец, увеличивается прочность поверхностного слоя. После обработки горячим тиснением древесина в меньшей степени подвержена гниению, воздействию грибков и микроорганизмов. Заключения о преимуществах и недостатках технологии внесены в табл.1.

Впервые применение технологии горячего тиснения в промышленном масштабе зафиксировано в 1870 г. в США. Установлено, что не все древесные материалы пригодны для декорирования методом тиснения. Нецелесообразно обрабатывать древесностружечные плиты, фанеру низкого качества, породы, подверженные растрескиванию и имеющие большое количество сучков [4].

При изучении многоступенчатых технологий декоративной обработки древесины на основе прессования отмечено, что прессование может являться начальной операцией, находиться в середине технологического процесса или же завершать его.

Применение прессования в качестве начальной операции технологии использовано в патенте № 2529385 [Ветошкин Ю.И., Запрудина А. В., с.1] на способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины. Прессование заготовки производится рельефным пу-

ансоном в холодном прессе. После обработки давлением, полученную деталь подвергают калиброванию по толщине, удаляя рельефный слой древесины до образования ровной поверхности. В результате на фрезерованной поверхности проявляются очертания пуансона. Завершающим этапом данного технологического процесса является восстановление деформированных волокон древесины после увлажнения обрабатываемой поверхности водой комнатной температуры, в результате чего формируется действительный рельеф.

Случай, когда прессование древесины применяют в середине многоступенчатой технологии декорирования древесины, указан в патенте № 2055743 [Короленко В.Г., Постнов В.И., Фадеев Е.А., с.1] на способ получения плоского изображения с эффектом объема на поверхности уплотненной древесины. В предварительно пропитанную газообразным аммиаком древесину вдавливается рельефный пуансон. Образовавшийся рельеф механически удаляется до получения ровной поверхности, которая впоследствии дополнительно шлифуется и полируется. В результате на плоской поверхности древесины наблюдается разнотонально окрашенный рисунок, который кажется объемным.

Прессование как завершающая операция рассматривается в новом исследуемом способе упрочняющей декоративной обработки деталей из древесины. Многоступенчатый процесс обработки начинается с обжига древесины огнем паяльной лампы или газовой горелки. Далее сгоревшие и менее плотные слои древесины удаляются механическим способом на различную глубину, выявляя рельефную поверхность с ярко выраженной текстурой древесины. Затем полученный рельеф выравнивается в процессе холодного прессования плоскими плитами пресса, в результате чего происходит упрочнение и уплотнение древесины по всему объему. При этом декоративные свойства поверхности после прессования не ухудшаются.

Проанализировав способы декорирования древесины с использованием операции прессования, выявили основные преимущества и недостатки каждого способа, которые тезисно представлены в табл. 1. Данный вопрос рассматривался с двух позиций:

1) с точки зрения получаемого результата (оценка декоративных, прочностных и гигиенических показателей конечного продукта);

2) с точки зрения экономической эффективности и безопасности технологии.

Таблица 1

Преимущества и недостатки способов декорирования древесины

Способ обработки	Преимущества	Недостатки
Горячее тиснение	1) Отсутствие перерезания волокон 2) Упрочнение поверхностного слоя 3) Эффект глянцевой поверхности 4) Наличие контрастного изображения 5) Быстрота технологии 6) Наличие рельефа (повышенные декоративные свойства) 7) Экологичность получаемых изделий	1) Дорогостоящие штампы и ролики 2) Наличие рельефа (пониженные гигиенические свойства)
Способ получения плоского декоративного рисунка, обладающего оптическим эффектом объемного изображения, на поверхности уплотненной древесины	1) Отсутствие перерезания волокон 2) Простота ухода за изделием. 3) Наличие контрастного изображения 4) Отсутствие рельефа (повышенные гигиенические свойства)	1) Низкая экологичность 2) Отсутствие упрочнения поверхности 3) Использование дорогостоящего оборудование 4) Длительный процесс обработки 5) Отсутствие рельефа (пониженные декоративные свойства)
Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины	1) Наличие рельефа (повышенные декоративные свойства) 2) Экологичность получаемых изделий	1) Отсутствие цветового контраста 2) Отсутствие упрочнения 3) Длительный процесс обработки
Способ упрочняющей декоративной обработки деталей из древесины	1) Отсутствие перерезания волокон 2) Наличие цветового контраста 3) Улучшение физико-механических характеристик материала 4) Наличие незначительного рельефа (повышенные декоративные свойства) 5) Экологичность получаемых изделий 6) Быстрота технологии	1) Пожароопасность технологии 2) Наличие незначительного рельефа (пониженные гигиенические свойства)

Проведенный анализ способов декорирования и заключения, внесённые в табл. 1, свидетельствуют о том, что рассмотренные технологии с применением технологической операции прессования являются близкими по достигаемому результату, но их нельзя назвать полностью взаимозаменяемыми. Выбор спосо-

ба декорирования, главным образом, определяется функциями, которые будет выполнять декорированные деталь или изделие, и условиями, в которых будет осуществляться использование. Поверхности с рельефными рисунками выглядят более выразительными, но являются достаточно хрупкими. В условиях действия нагрузок их применение недопустимо. В результате воздействия удара или приложения статической силы появляются сколы, вмятины, трещины. Безрельефные поверхности обладают меньшей декоративностью. Без дополнительного применения защитно-декоративного покрытия или упрочнения они также не способны выдерживать действие нагрузок, но в отличие от рельефных поверхностей требуют меньших усилий при очистке от загрязнений во время уборки.

Экологичность готовой продукции не менее важный показатель при оценке качества готовой продукции, чем декоративная выразительность. Пренебрежение показателем экологичности в технологиях декорирования древесины приводит к потере целесообразности использования древесины как безопасного природного материала.

Принципиально, чтобы не только в готовой продукции соблюдались требования безопасности, но и в технологическом процессе. Наличие технологических операций, выполняемых в условиях повышенной опасности, оценивается как неблагоприятный фактор.

Экономическая эффективность рассмотренных технологий декорирования древесины оценивается по затратам на оборудование и инструмент, а также по затратам времени на технологические операции с учетом необходимых выдержек. Расходы на организацию технологического процесса отражаются в первую очередь на стоимости конечного продукта и определяют целесообразность применения того или иного способа декорирования.

Выводы. Таким образом, в результате исследования проведен обзор способов декорирования древесины на основе процесса прессования. В основном, изученные технологии применимы только к массивной древесине.

Выявленные в ходе исследования преимущества и недостатки рассмотренных способов декоративной обработки древесины можно считать ограничивающими факторами применения той или иной технологии для изготовления деталей из древесины различного назначения.

Установлено, что значение и функция прессования заключается в создании рельефного изображения на поверхности древесины. В случае, когда рельефная поверхность образована не обработкой давлением, прессование необходимо для упрочнения древесины, изменения ее физико-механических свойств.

Список литературы

1. Рублева О.А. Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок // Пат. 2741614 Рос. Федерация. № 2011116271/13; заявл. 25.04.2011; опубл. 10.01.2013, приоритет 25.04.11.

2. Декоративное тиснение древесины. URL: http://c-a-m.narod.ru/techno/press-decor.html (дата обращения: 07.01.2018).

3. ГОСТ 17743-2016 Технология деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Термины и определения. Прин. 20.04.2016 ; действ. с 01.11.2017. М. : Стандартинформ, 2017. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200145607 (дата обращения 27.12.2017)

4. Горячее тиснение по дереву – технология. URL: http://dekordrev.by/stati/2015-03-18/novaya-zapis (дата обращения: 17.01.2018).

5. Ветошкин Ю.И., Запрудина А. В. Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины // Пат. 2529385 Рос.Федерация. № 2013116304/12; заявл. 09.04.13; опубл. 27.09.14, приоритет 09.04.13.

6. Короленко В.Г., Постнов В.И., Фадеев Е.А. Способ получения плоского декоративного рисунка, обладающего оптическим эффектом объемного изображения, на поверхности уплотненной древесины // Пат. 2055743 Рос. Федерация. №5032375/12; заявл. 16.03.92; опубл. 10.03.96, приоритет 16.03.92.

Влияние режимов упрочняющей декоративной обработки на эксплуатационные характеристики изделий из древесины сосны

Тарбеева Н.А.[a], Рублева О.А.[b]
магистрант кафедры «Машины и технология деревообработки»[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология деревообработки»[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: nataly.ntar534@yandex.ru[a], olga_ru@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В процессах декорирования массивной древесины создание рельефной поверхности приводит к снижению прочностных и эксплуатационных характеристик материала. Для обеспечения повышенной устойчивости деталей декора к воздействию разного рода нагрузок технологии декорирования древесины должны предусматривать упрочнение рельефной поверхности. Для этого могут быть применены технологические операции прессования и термической обработки древесины. В связи с этим целью исследования является установление закономерностей изменения физико-механических показателей древесины от режимов прессования и термообработки. На первом этапе исследования методом анализа определены диапазоны варьирования параметров изучаемых процессов. В ходе проведения поискового эксперимента путем измерений и расчетов установлены зависимости влияния температуры на влажность и гигроскопичность древесины, степени деформации на плотность материала и шероховатость декоративной поверхности. Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о целесообразности включения технологических операций прессования и термической обработки в технологии декорирования древесины.

Ключевые слова: прессование древесины, термическая обработка, физико-механические свойства.

Введение. Процессы декорирования массивной древесины часто предполагают создание на поверхности некого рельефа. Перерезание или удаление волокон древесины в ходе декоративной обработки является причиной хрупкости и низкой прочности рельефа. Поэтому при изготовлении деталей декора, подверженных в условиях эксплуатации действию нагрузок, технологии декорирования должны предусматривать упрочнение рельефной поверхности. Технологические операции прессования и термической обработки древесины, в свою очередь, направлены на улучшение прочностных и эксплуатационных характеристик материала [1-2] и могут быть включены в технологический процесс декорирования древесины.

Постановка цели и задач исследования. Целью данного исследования является установление влияния режимов технологических операций прессования и термической обработки древесины на физико-механические показатели материала в технологии упрочняющей декоративной обработки изделий из древесины сосны [3]. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) произвести выбор режимов прессования и термообработки древесины;

2) определить влияние исследуемых технологических операций на влажность, плотность и гигроскопичность;

3) определить оптимальный режим обработки исходя из полученных экспериментальных данных.

Методы исследования. Проводимое исследование основывается на использовании эмпирических методов. Начальным этапом исследования является выдвижение гипотезы о зависимости физико-механических свойств древесины от режимов механической и термической обработки. Далее гипотеза проверяется экспериментально. Проводится поисковый эксперимент, стратегия которого предполагает целенаправленный контроль параметров, установленных на стадии выдвижения гипотезы. Результаты эксперимента определены в ходе:

– наблюдения за изменением визуальных показателей опытных образцов – цвета и блеска древесины;

– измерения физических характеристик – габаритных размеров и массы образцов, влажности древесины;

– расчета зависимых показателей, таких как плотность.

Результаты исследований, их обсуждение. Технологические операции прессования и термической обработки заготовок нашли широкое распространение в различных технологиях обработки древесины. Применительно к ним установлены режимы обработки и оптимальные диапазоны варьирования параметров процесса. Так, прессование древесины поперек волокон целесообразно осуществлять до степени упрессовки 50 %. На практике прессование древесины

производят до 40 % упрессовки [4]. Термообработку древесины в зависимости от применяемой технологии проводят в интервале температур 150 – 220°С [5].

Для исследования зависимости физико-механических свойств от режимов упрочняющей обработки декорированных деталей из древесины проводился поисковый эксперимент. Рассмотрено 11 образцов из массива сосны начальной толщиной 12 мм, размерами 70х55 мм, влажностью 7,5 % с декоративной рельефной поверхностью, полученной в результате обжига и брашированния. Режимы упрочняющей обработки образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы упрочняющей обработки образцов

№ образца	Степень упрессовки	Режим термообработки	
		Температура, °С	Время выдержки, ч
1	0	25	1
2	0	90	1
3	0	180	1
4	16,7	90	1
5	33,3	90	1
6	41,6	90	1
7	58,3	90	1
8	16,7	180	1
9	33,3	180	1
10	41,6	180	1
11	58,3	180	1

Прессование заготовок осуществляли в гидравлическом прессе с плоскими плитами без нагрева. Требуемая величина деформации обеспечивалась путем установления вдоль кромок заготовок металлических упоров разной высоты, которые определяли конечную толщину прессованных образцов.

После обработки давлением образцы подверглись термической обработке в течение 1 часа при температуре 90 и 180°С. Древесина образцов, термообработанных при 90 °С, приобрела золотистый оттенок. Благодаря термической обработке при 180 °С, цвет древесины заготовок по всему объему изменился до золотисто-коричневого, на торцах заготовок проявились следы в виде пятен от вытопившейся смолы.

Качество декоративной поверхности после обработки прессованием оценивалось показателем шероховатости. Измерения проводились индикаторным глубиномером. В табл. 2 представлены данные об изменении шероховатости декоративной поверхности в зависимости от степени упрессовки.

Таблица 2

Высота неровностей декорированной поверхности после прессования

№ образца	Степень деформации, %	Высота неровностей, мм
1, 2, 3	0	1,3-1,5
4, 8	16,7	1,0-1,3
5, 9	33,3	0,8-1,0
6, 10	41,6	0,8-0,9
7, 11	58,3	0,3-0,5

Данные таблицы свидетельствуют о том, что даже при максимальной степени упрессовки образцов прессование не обеспечивает полного выравнивания рельефа, полученного в результате обжига и браширования.

Для определения зависимости влажности древесины от режимов обработки проводили замеры влажности образцов электронным влагомером после каждого этапа обработки. Установлено, что холодное прессование практически не оказывает влияния на влажность древесины. В процессе термической обработки влажность снижается в среднем на 2 %. Зависимость изменения влажности от стадий обработки представлена на рис. 1. Фазы упрочняющей обработки – прессование и термообработка – на рис. 1 обозначены соответственно П и ТО. Исходными данными для его построения являются средние арифметические значения замеров влажности всех образцов.

В процессе выдержки образцов после упрочняющей обработки происходит не только увеличения влажности, но и восстановление размеров. В течение месяца после термической обработки увеличение толщины исследуемых образцов за счет сил упругости в среднем составило 17,2 %.

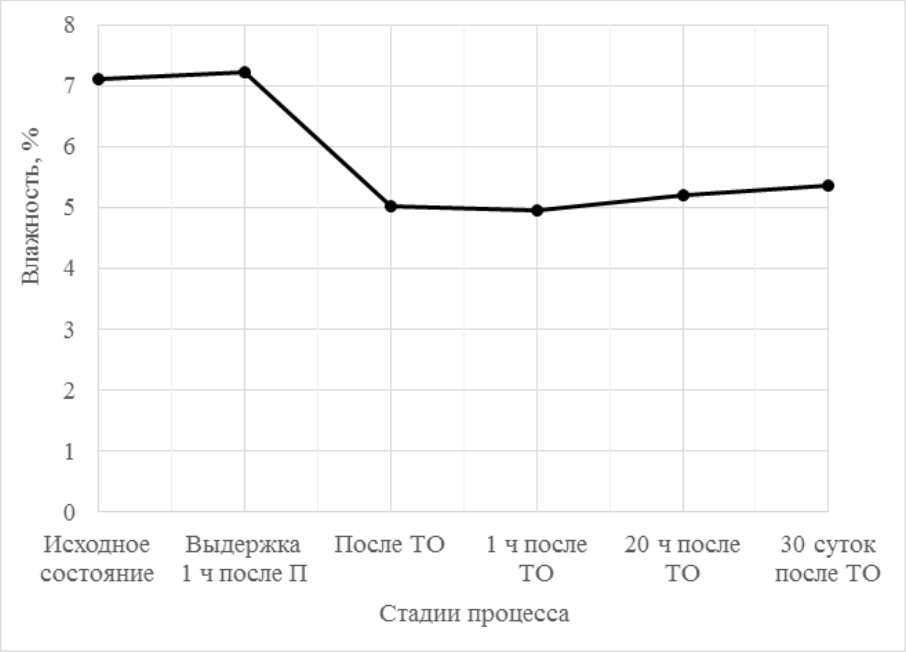


Рисунок 1. График изменения влажности

Сведения об изменении плотности материала в процессе упрочняющей обработки получены в ходе расчетов. Исходными данными служили результаты замеров массы с точностью до 1 г и габаритных размеров образцов с точностью до 0,05 мм. Зависимость плотности древесины от режимов упрочняющей обработки представлена на рис. 2.

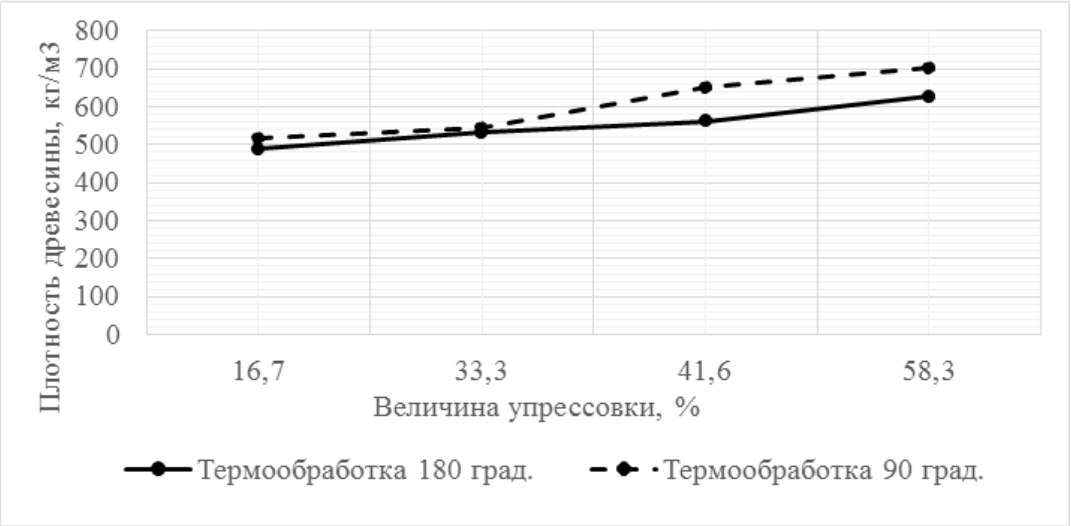


Рисунок 2. График зависимости плотности древесины от упрочняющей обработки

По данным справочной литературы, для древесины сосны при влажности 12 % плотность в среднем составляет 450-500 кг/м^3 [6]. Плотность древесины исследуемых образцов при влажности 8%, измеренная перед проведением технологических операций прессования и термообработки, равнялась 430 кг/м^3. После упрочняющей обработки расчеты показали, что при наименьшей степени упрессовки древесины 16,7% плотность составила 480-520 кг/м^3, а при максимальной 58,3% – 620-705 кг/м^3.

Для установления влияния технологических операций прессования и термообработки на гигроскопичность древесины проведено несколько опытов. На декорированную поверхность наносили капли воды и замеряли время впитывания жидкости поверхностью.

В первом опыте оценивалась гигроскопичность непрессованных образцов №1, 2 и 3 (нумерация согласно табл. 1). В табл. 3 представлены результаты данного опыта. Время впитывания определялось как среднее арифметическое трех замеров при нанесении капли жидкости на разные участки образцов.

Таблица 3

Оценка гигроскопичности непрессованных образцов

№ образца	Температура обработки, °С	Время впитывания, с
1	25	16
2	90	73
3	180	229

Данные таблицы свидетельствуют о существенном влиянии термической обработки древесины на гигроскопичность. Причем чем выше температура обработки, тем более устойчивой становится древесина к воздействию влаги.

Во втором опыте сравнивали образцы № 8, 9, 10, 11 с разной степенью упрессовки, термически обработанные при 180°С. Ожидалось, что при увеличении степени деформации заготовок время впитывания жидкости будет увеличиваться. Однако, в виду влияния большого числа случайных факторов на процесс не удалось зафиксировать однозначного влияния режимов технологи-

ческой операции прессования на гигроскопичность древесины, а значит требуются дальнейшие исследования.

В третьем опыте шло попарное сравнение образцов с одинаковой степенью деформации, обработанных термически на разных температурных режимах. Так, образец № 4 сравнивали с образцом № 8, № 5 с № 9 и далее соответственно. Результаты данного опыта в незначительной степени отличаются от результатов первого: определяющим фактором, оказывающим влиянием на гигроскопичность древесины, является температура обработки.

Выводы. Таким образом, в ходе проведённого исследования выявлены закономерности изменения физико-механических показателей материала от упрочняющих технологических операций прессования и термообработки в технологии изготовления декорированных деталей из древесины. Режимы обработки заготовок на этапе проведения поискового эксперимента выбраны на основе известных ранее данных и назначены аналогично режимам, используемым в технологиях изготовления прессованной древесины и термодревесины.

Установлено, что термическая обработка древесины приводит к изменению цвета, снижению влажности и гигроскопичности. Прессование древесины главным образом оказывает влияние на шероховатость декоративной поверхности, плотность и как следствие прочность древесины. Однозначного вывода о влиянии величины упрессовки на гигроскопичность древесины по результатам проведенного поискового эксперимента сделать нельзя по причинам недостаточного количества повторений эксперимента и значительных погрешностей в проведении опытов.

С целью выявления оптимальной совокупности режимов прессования и термообработки для упрочнения декорированных заготовок требуются дальнейшие исследования с проведением планируемого эксперимента.

Список литературы

1. Термическая обработка древесины. URL: http://www.lestermo.ru/statya-termoderevo/thermal-drevesina.html (дата обращения: 05.02.2018).

2. Прессованная древесина. Технология и свойства // URL: http://c-a-m.narod.ru/material/presswood.htm (дата обращения: 26.01.2018).

3. Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Исследование влияния факторов прессования и термической обработки на процесс упрочняющей декоративной обработки изделий из древесины // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LXI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(60). URL: https://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf (дата обращения: 12.02.2018)

4. Гончаров Н.А., Башинский В.Ю., Буглай Б.М. Технология изделий из древесины: Учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 528 с.

5. Технологии термообработки древесины. URL: http://www.termo-wood.ru/stat/detail.php?ID=304 (дата обращения: 28.01.2018).

6. Плотность дерева, древесины. URL: https://tree-forest.ru/classification/plotnost-dereva/ (дата обращения: 12.01.2018).

Оценка эффективности оптимизации режимов теплоснабжения г. Кирова от ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 при работе по тепловому графику путем перераспределения между ними тепловой нагрузки

Татаринова Н. В.[a], Суворов Д. М.[b], Сущих В. М.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики[a]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплотехники и гидравлики[b]
доцент кафедры теплотехники и гидравлики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: usr02103@vyatsu.ru[a], dmilar@mail.ru[b], vimis608@gmail.com[c]

Аннотация: После перехода энергетики России на рыночные отношения в практике коммунальной и промышленной энергетики крупных городов наблюдается процесс возврата от освоенных современных технологий теплоснабжения на основе крупных ТЭЦ к устаревшим способам теплоснабжения потребителей от котельных, прослеживается тенденция массового отключения потребителей от действующих ТЭЦ с переводом потребителей на вновь построенные квартальные котельные. В связи с этим изменяется гидравлический режим в централизованной системе теплоснабжения и возникает потребность в перераспределении тепловых мощностей на самих ТЭЦ, чтобы наиболее эффективно расходовать энергоресурсы. Объектом исследования стали теплофикационные турбоустановки Кировских ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5. Цель работы - оценить возможность и эффективность оптимизации перераспределения тепловых и электрических нагрузок между турбоустановками этих станций. В ходе работы проведен анализ фактического выполнения температурного графика теплосетей, запасов по пару, электрической мощности и сетевой воде на каждой турбоустановке и построены соответствующие графики. Произведена оценка эффективности передачи тепловой нагрузки от ТЭЦ-4 на ТЭЦ-5 путем перераспределения расходов сетевой воды между источниками с сохранением их температурных графиков, возможной экономии топлива и денежных средств в результате такого перераспределения на основе фактических данных.

Ключевые слова: теплоснабжение, повышение эффективности, математическое моделирование, ТЭЦ, экономическое обоснование.

Введение.

В практике работы энергетических систем часто возникает вопрос о необходимости перераспределения электрической и тепловой нагрузки не только между паровыми турбинами в рамках одной станции, но и между отдельными ТЭЦ, котельными. Вопрос перераспределения электрической и тепловой нагрузки различного качества, определения энергетического, технологического и экономического эффекта является чрезвычайно важным (поскольку в услови-

ях скрытого и явного перекрестного субсидирования потребителей электроэнергии за счет потребителей тепловой энергии, отсутствие принципов тарифообразования, адекватно отражающих технология производства энергии и монополизма на производство и транспорт электроэнергии конкурентоспособность ТЭЦ на рынке падает и централизованное теплоснабжение становится все менее эффективным) и чрезвычайно сложным (по причине многовариантности задачи, необходимостью анализа допустимых сочетаний тепловой и электрической нагрузок, режимных факторов, ограничений в поставке различных видов топлива). Несмотря на наличие огромного количества теоретических подходов к комплексному решению подобных задач, материалов для практических расчетов с учетом качества тепла, адекватных математических моделей, основанных на реальных характеристиках оборудования, практически нет [Клер, с. 4].

Постановка цели и задач исследования

Целью работы является поиск оптимального варианта распределения электрической и тепловой нагрузки между двумя источниками теплоснабжения (Кировских ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5) в широком диапазоне исходных данных. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) Разработка программы расчетного исследования по поиску оптимального варианта перераспределения нагрузок при совместной работе двух источников теплоснабжения и разных граничных условиях;

2) Оценка энергетических показателей функционирования теплофикационных паротурбинных установок;

3) Расчет и анализ экономических показателей функционирования теплофикационных турбоустановок при совместной работе двух источников теплоснабжения, в частности, оценки возможной экономии топлива и денежных средств в результате оптимизации.

Методы исследования.

Для проведения анализа и оптимизационных расчетов энергетической эффективности режимов работы теплофикационных турбин этих станций на основе фактических данных, в работе использовались математические модели

турбоустановок различных типов, разработанные в ВятГУ [Эфрос, с. 40]. Они основаны на базе реальных энергетически характеристик ступеней и отсеков турбин, что позволяет производить полный тепловой расчет во всем возможном диапазоне режимов их работы, дать количественную оценку наиболее эффективных способов эксплуатации турбоустановок, а также произвести оптимизацию режимных параметров [Татаринова 2014, с. 99].

Программа расчетных исследований предусматривала выполнение:

- анализа режимов работы теплофикационных турбоустановок по тепловому графику;

- оценки энергетической эффективности получения дополнительной выработки электроэнергии при заданном отпуске теплоты.

В качестве исходных данных была представлена диспетчерская ведомость работы основного оборудования ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 за 2016 год. В ней указаны значения основных параметров работы котло- и турбоагрегатов, таких как расход, температура и давление свежего пара, расход и температура прямой и обратной сетевой воды, электрическая мощность, температура питательной воды и другие. Данные параметры были отсортированы в зависимости от температуры наружного воздуха и скомпонованы по температурным интервалам от самого холодного дня в году к самому теплому. Дальнейшие расчеты производились по этим температурным интервалам. Были выбраны следующие интервалы температур: от -25 ºС до -20ºС, от -20 ºС до -15ºС, от -15 ºС до -10ºС, от -10 ºС до -5ºС.

Так как тепловая нагрузка зависит от различных внешних факторов, ее фактические значения возрастают нелинейно. Для упрощения дальнейших расчетов были использованы усредненные значения тепловых нагрузок и утвержденный график температур сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха. Кроме того, предварительно был проведен анализ по запасу мощности и расхода свежего пара на турбоустановки. Из него следует вывод, что на обеих станциях турбины имеют запас как по электрической мощности, так и по расходу свежего пара. Так, например, на ТЭЦ-4 турбина Тп-65-13/130

недогружена примерно на 10% как по мощности, так и по пару, Т-50-130 – на 20%, и Т-120-130 также имеет запас мощности и свежего пара примерно 30%. Также и на ТЭЦ-5 турбогенератор №2 недогружен примерно на 15%, и турбогенератор №3 – на 30% по обоим показателям. Аналогичная ситуация имеет место и по энергетическим котлам. Данные обстоятельства свидетельствуют о целесообразности рассмотрения вопросов, связанных с оптимизацией режимов работы турбоустановок с целью повышения эффективности совместной работы ТЭЦ. Это требует проведения специальных исследований переменных режимов работы турбоустановок в реальных условиях эксплуатации [Степанова, с. 160].

Результаты исследований, их обсуждение.

В ходе работы выполнено несколько подходов к проведению оптимизационных исследований. Рассмотрим один из них. В качестве исходных данных был задан состав турбинного оборудования и расход сетевой воды на обеих ТЭЦ, в том числе значения температур прямой τ_1 и обратной τ_2 сетевой воды. Базовый (исходный) режим работы ТЭЦ основывался на фактических значениях основных параметров, то есть был максимально приближен к действительным значениям нагрузок ТЭЦ за 2016 год. Дополнительно были заданы ограничения по суммарной электрической мощности. Расчеты проводились таким образом, чтобы суммарная электрическая мощность всех турбоустановок на ТЭЦ - 4 и ТЭЦ-5 оставалась постоянной до и после перераспределения.

В ходе перераспределения тепловой нагрузки между станциями часть расхода сетевой воды с ТЭЦ-4 передавалась на ТЭЦ-5 с сохранением неизменной суммарной электрической мощности. При перераспределении путем снижения расхода сетевой воды для ТЭЦ-4 на 30% расход сетевой воды на этой ТЭЦ снижался до такой степени, что появлялась возможность отключить одну из турбин, так как оставшиеся две турбины способны обеспечить необходимую тепловую нагрузку.

По полученным расчетным данным были построены диаграммы зависимостей основных параметров, таких как общий расход теплоты Q_o, электрическая мощность $N_э$ и теплофикационная нагрузки Q_m, от перераспределения рас-

хода сетевой воды (на Рис. 1–2 в качестве примера показаны эти значения для одного интервала температур наружного воздуха).

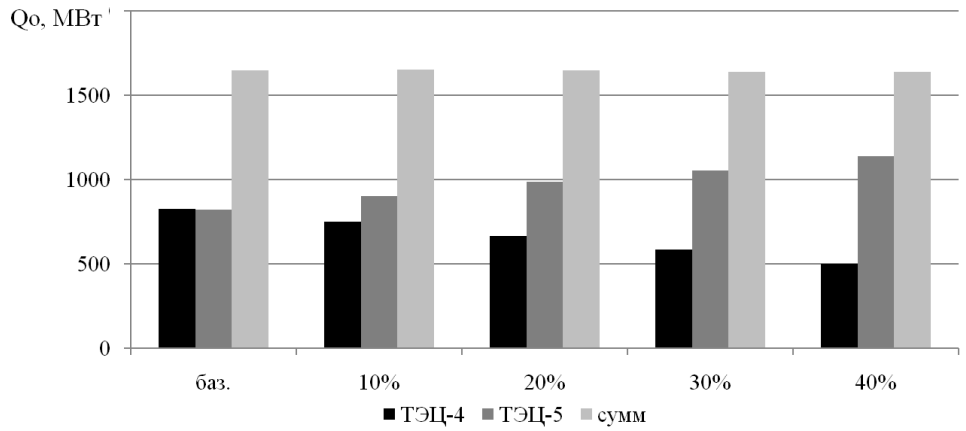


Рисунок 1. Общий расход теплоты на турбоустановки при перераспределении сетевой воды в фактическом режиме при температурном интервале от -25°С до -20°С. По оси абсцисс режимы соответствуют указанному проценту снижения расхода сетевой воды на ТЭЦ-4

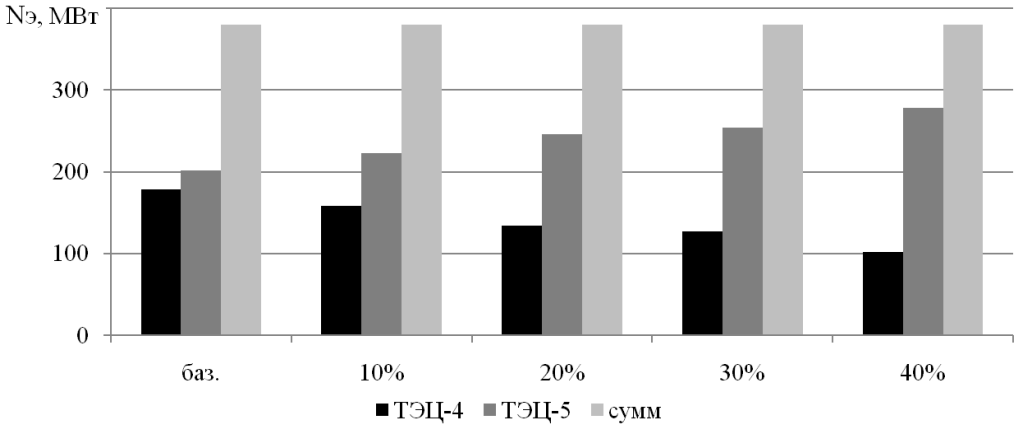


Рисунок 2. Электрическая мощность при перераспределении сетевой воды в фактическом режиме при температурном интервале от -25°С до -20°С. По оси абсцисс режимы соответствуют указанному проценту снижения расхода сетевой воды на ТЭЦ-4.

Из диаграмм видно, что общий расход теплоты на турбоустановку в зависимости от перераспределения сетевой воды между ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 изменяется в пределах 2%. Это связано с тем, что суммарная теплота ТЭЦ зависит от теплоты на турбоустановку и нагрузки на ПВК. Теплота на турбоустановку в свою очередь зависит от суммарных электрической и теплофикационной нагрузок, а также от потерь теплоты в конденсаторе. Так как расчет проводился по тепловому графику с закрытой регулирующей диафрагмой части низкого давления (РД ЧНД), то расход теплоты в конденсатор практически не изменялся. А так как по условиям расчета суммарная электрическая нагрузка оставалась неиз-

менной, то теплота на турбоустановку изменялась пропорционально отпуску теплоты на теплофикацию. Вследствие того, что на ТЭЦ-4 снижается расход сетевой воды, снижается и теплофикационная нагрузка. Также снижается нагрузка на ПВК. Очевидно, что при увеличении расхода сетевой воды на ТЭЦ - 5 также увеличивается ее суммарная тепловая нагрузка с учетом ПВК, т.е. $Q_{ТЭЦ} = Q_{\Sigma m} + Q_{\Sigma ПВК}$. Так как нагрузка на ТЭЦ-4 снижается, а на ТЭЦ-5 возрастает, то суммарная нагрузка по обеим ТЭЦ остается примерно постоянной. По результатам этих расчетов сделан вывод, что суммарный расход теплоты на обе ТЭЦ изменяется в пределах погрешности расчетов.

Второй вариант граничных условий при работе по тепловому графику соответствует работе с отключенными ПВК. В этом случае вся тепловая нагрузка ТЭЦ обеспечивается отборами работающих турбин. Этот вариант имеет существенно больший энергетический эффект, чем при работе с заданной электрической мощностью при включенных ПВК, и он связан с существенным увеличением выработки электроэнергии на ТЭЦ-5 и в целом по обеим ТЭЦ при оптимальном распределении между ними расхода сетевой воды и тепловых нагрузок. Приведем для данного варианта пример расчета энергетической эффективности на примере температурного интервала от -25°С до -20°С (расчет остальных температурных интервалов аналогичен). Расчет проводился на основе суммарных значений основных параметров по всем турбоагрегатам станций, приведенных в Табл. 1.

Таблица 1

Суммарные значения основных параметров в зависимости от перераспределения сетевой воды в интервале температур от -25 до -20°С

Наименование	базовый	10%	20%	30%	40%
Общий расход тепла, МВт	1696,35	1729,55	1741,21	1731,29	1739,84
Электрическая мощность, МВт	432,65	462,39	472,13	481,43	488,29
Теплофикационная нагрузка МВт	1094,44	1094,44	1094,44	1094,44	1094,44

На основании полученных данных, был построен график удельного изменения расхода теплоты $q_{доп}$, МВт/МВт [Татаринова 2017, с. 332] при изменении

выработки электроэнергии в зависимости от перераспределения расхода сетевой воды между ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, показанный на Рис.3. Так как критерием оптимизации являлась минимизация величины $q_{доп}$ при увеличении электрической мощности, то по Рис. 3 видно, что самым оптимальным вариантом перераспределения тепловой нагрузки между ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 является режим перераспределения путем уменьшения расхода сетевой воды на ТЭЦ-4 на 30%. Этот эффект достигается за счет отключения на ТЭЦ-4 одной из турбоустановок и максимальной загрузки оставшихся дух турбин. По полученным данным был построен график экономической эффективности переменных режимов работы, показанный на Рис. 4, для одного температурного интервала.

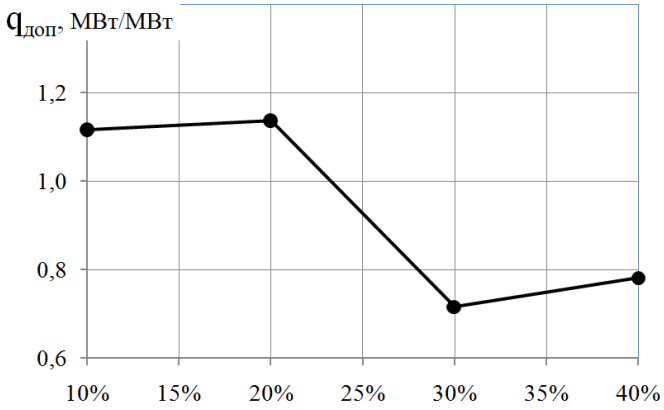


Рисунок 3. Удельное изменение расхода теплоты при изменении выработки электроэнергии в зависимости от перераспределения тепловой нагрузки в интервале температур от -25ºС до -20ºС

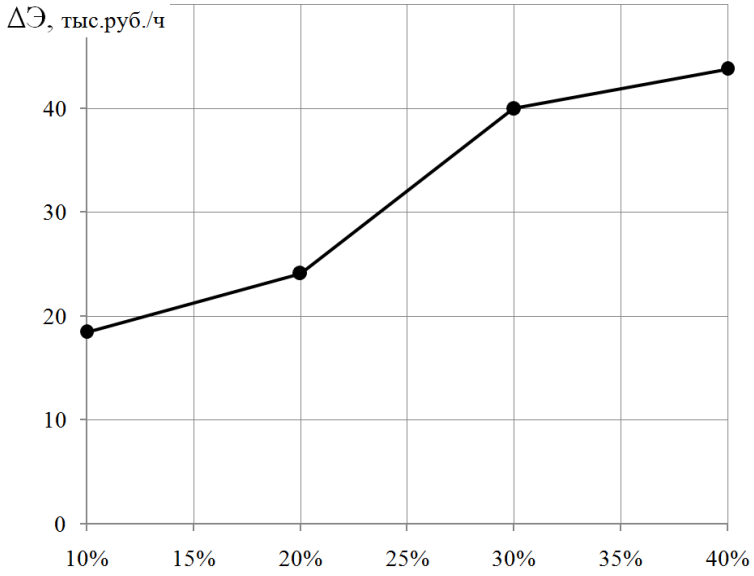


Рисунок 4. Экономическая эффективность переменных режимов работы в интервале температур от -25ºС до -20ºС.

Заключение.

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы: 1) программа расчета по поиску оптимального варианта перераспределения нагрузок при совместной работе двух источников теплоснабжения и разных граничных условиях позволяет находить наиболее эффективное решение; 2) оценка энергетических показателей функционирования теплофикационных паротурбинных установок свидетельствует о том, что в данном режиме возможна передача тепловой энергии от ТЭЦ-4 к ТЭЦ-5 без потери мощности; 3) перераспределение расходов сетевой воды между ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 приносит значительную прибыль (несколько десятков тысяч рублей в час) при сравнении с базовым режимом работы. При этом установлено, что экономическая эффективность снижается с повышением температуры наружного воздуха. Тем не менее, если учитывать продолжительность дней с той или иной температурой наружного воздуха, то прибыль в результате такого перераспределения может составить несколько миллиардов рублей в год.

Список литературы

1. Клер А.М., Максимов А.С., Чалбышев А.В., Степанова Е.Л. Оптимизация режимов работы ТЭЦ для максимизации прибыли в условиях балансирующего рынка электроэнергии // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2014. №2. С.2-6.

2. Эфрос Е.И., Гуторов В.Ф., Симою Л.Л., Калинин Б.Б., Баталова Н.В. Повышение эффективности теплофикационных турбоустановок // Электрические станции. 2003. №12. С. 39-46.

3. Татаринова Н.В., Эфрос Е.И., Сущих В.М. Результаты расчета на математических моделях переменных режимов работы теплофикационных паротурбинных установок в реальных условиях эксплуатации // Перспективы науки. 2014. №3. С. 98-103.

4. Степанова Е.Л., Сушко С.Н. Оптимизация состава основного оборудования ТЭЦ при нормальных режимах работы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5. С. 160-164.

5. Татаринова Н.В., Суворов Д.М., Сущих В.М. Математические модели теплофикационных паротурбинных установок на основе экспериментальных характеристик турбинных ступеней и отсеков // Надежность и безопасность энергетики. 2017. Т.10. №4. С. 330-339.

Реализация генераторов псевдослучайных чисел с заданным распределением в среде MATLAB и оценка их качества

Титова Н.А.[a], Ланских В.Г.[b], Ланских Ю.В.[c]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
Email: titova.nadejda.job@gmail.com[a], usr00222@vyatsu.ru[b], usr00223@vyatsu.ru[c]

Аннотация: В статье приводятся результаты реализации алгоритмов для генерации псевдослучайных чисел в среде MATLAB. Выполнено исследование качества генераторов чисел, встроенных в такое программное обеспечение для решения математических задач, как MATLAB. В начале статьи рассмотрены области использования генераторов псевдослучайных чисел. Произведен выбор законов распределения случайных величин и определены методы генерации псевдослучайных чисел. В качестве основного распределения выбрано равномерное, остальные распределения получаются путем математического преобразования выходных характеристик данного распределения. Затем были выявлены статистические параметры, которым должен соответствовать генератор псевдослучайных чисел. Результаты работы иллюстрируются в виде сравнительных графиков плотностей распределения для встроенного генератора MATLAB и для разработанного генератора псевдослучайных чисел, а также сделан вывод о возможности использования реализованного генератора.

Ключевые слова: статистические параметры, алгоритмы, закон распределения, плотность распределения, генераторы случайных чисел.

Псевдослучайные последовательности чисел в наше время находят широкое применение в различных областях: в моделировании, криптографии, экспертных системах, играх и др. При этом качество получаемых результатов напрямую зависит от качества используемых генераторов псевдослучайных чисел.

Одной из наиболее важных задач математической статистики является определение теоретического закона распределения случайной величины. Насколько бы качественно не был подобран теоретический закон распределения, расхождения между реализованными и теоретическими распределениями неизбежны [Иванов, с.108]. Поэтому необходим анализ свойств разработанных генераторов псевдослучайных чисел и сравнение их с эталонными значениями.

Для реализации в среде MATLAB и оценки статистических свойств были выбраны такие распределения как:

- равномерное,
- нормальное,
- треугольное,
- экспоненциальное.

Генерация псевдослучайных чисел рассмотрена на примере базового равномерного распределения. Остальные распределения получаются на основе равномерного, путем математических преобразований.

В качестве алгоритма для реализации равномерного распределения был выбран линейно-конгруэнтный метод. Для хорошей работы данного генератора необходимо подобрать коэффициенты: a – множитель, который будет равен 16807 и m – модуль, значение которого 2147483647 [Miller, с.1195]. Параметр m позволяет максимизировать длину периода.

Основными методами для моделирования нормального распределения считаются центральная предельная теорема и преобразование Бокса-Миллера. Выбор метода Бокса-Миллера обусловлен тем, что он обладает высокой точностью. Для реализации треугольного и экспоненциального распределения случайной величины были составлены уравнения на основе формул функции распределения и выполнены математические преобразования с ними. Разработаны алгоритмы для реализации выбранных ранее распределений.

Генератор псевдослучайных чисел должен обладать следующими, близкими к эталонным значениям, параметрами:

- m – математическое ожидание;
- D – дисперсия;
- σ – среднеквадратичное отклонение.

Сгенерирована последовательность псевдослучайных величин длиной в 100000 значений. Погрешность полученных статистических параметров не более 0.001, что полностью соответствует предполагаемым теоретическим значениям [Орлов, с.33].

Плотность равномерного распределения была проанализирована при помощи частотного теста. Для этого выбран интервал [$m - \sigma$; $m + \sigma$], подставим теоретические данные, интервал равен [0.5 – 0.2887; 0.5 + 0.2887]. В конченом итоге получаем [0.2113; 0.7887], при этом разница между границами интервала равна 0.5774. Из этого следует, что для качественного генератора псевдослучайных чисел в заданный интервал должно попадать примерно 57.7% сгенерированных случайных чисел. Результаты для разработанного генератора псевдослучайных чисел равны 57.8%.

Проверена гипотеза о том, что псевдослучайная сгенерированная последовательность имеет соответствующую заданному распределению функцию распределения. Сравнение качества графиков функции распределения произведено аналитическим способом.

Для оценки погрешности плотности распределений построены гистограммы (рис. 1-7).

Рисунок 1. Гистограмма плотности равномерного распределения разработанного генератора

Рисунок 2. Гистограмма плотности равномерного распределения встроенного генератора чисел rand

Рисунок 3. Гистограмма плотности нормального распределения на основе разработанного генератора

Рисунок 4. Гистограмма плотности нормального распределения встроенного генератора чисел

Рисунок 5. Гистограмма плотности экспоненциального распределения на основе разработанного генератора

Рисунок 6. Гистограмма плотности экспоненциального распределения встроенного генератора чисел rand

Рисунок 7. Гистограмма плотности треугольного распределения на основе разработанного генератора

Гистограммы плотности распределения, построенные по сгенерированным значениям при помощи реализованного алгоритма, мало отличаются от гистограмм, которые построены по встроенным функциям MATLAB. Гистограммы на основе разработанного генератора обладают более сглаженными переходами. В случае с треугольным распределением можно определить, что гистограмма визуально соответствует эталонным значениям. Анализ качества функции и плотности распределения, а также анализ статистических параметров показывают, что полученный генератор псевдослучайных чисел может применяться на практике.

Список литературы

1. Иванов М. А., Чугунков И. В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. 240 с.

2. Park S. K., Miller K. W. Random Number Generators: Good Ones Are Hard To Find.: Volume 31 Issue 10, 1988. С. 1192–1201.

3. Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие. – М.: МЗ-Пресс, 2004. 110 с.

Исследование влияния установки направляющих в пневмосепарирующем канале на показатели работы молотковой дробилки

Турубанов, Н.В.[a], Медведев, О.Ю.[b], Исупов, А.Ю.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[a, b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
кандидат технических наук, научный сотрудник ФАНЦ Северо-Востока[a, c]
ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Российская Федерация[a, c]
E-mail: usr04704@vyatsu[a], usr08307@vyatsu[b], usr10468@vyatsu[c]

Аннотация: Несмотря на большое количество разнообразных конструкций молотковых дробилок их рабочий процесс недостаточно изучен. Снижение удельных энергозатрат и повышение их производительности является на сегодняшний день актуальным. Целью исследований является повышение эффективности процесса измельчения материала в молотковой дробилке открытого типа за счет разделения готового продукта в пневмосепарирующем канале. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию установки направляющих и величины открытия заслонки для подачи воздуха на показатели работы молотковой дробилки с пневмосепарирующим каналом. Результаты экспериментальных исследований показывают, что наилучшими показателями молотковой дробилки являются: производительность дробилки Q = 0,965 т/ч, средний размер частиц измельченного материала $d_{ср}$ = 0,76 мм, наличие целых зерен *m* не более 0,3 % при удельных энергозатратах Э = 4,9 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.).

Ключевые слова: измельчение, воздушный поток, приготовление кормов, дробление материала.

Введение. Наиболее энергозатратным процессом при приготовлении кормов является измельчение. В процессе измельчения кормов получаются частицы с развитой поверхностью, что значительно увеличивает их усвояемость и повышает продуктивность животных [Алешкин, с.24]. Основными машинами для измельчения материалов являются дробилки. Несмотря на большое количество разнообразных конструкций молотковых дробилок их рабочий процесс недостаточно изучен. Снижение удельных энергозатрат и повышение производительности дробилок является на сегодняшний день актуальным [Савиных с. 115].

Целью исследований является повышение эффективности процесса измельчения материала в молотковой дробилке открытого типа за счет разделения готового продукта в пневмосепарирующем канале.

Задачами исследований являются получение наилучших показателей работы молотковой дробилки с пневмосепарирующим каналом и определение конструкционных параметров дробилки для достижения этих показателей.

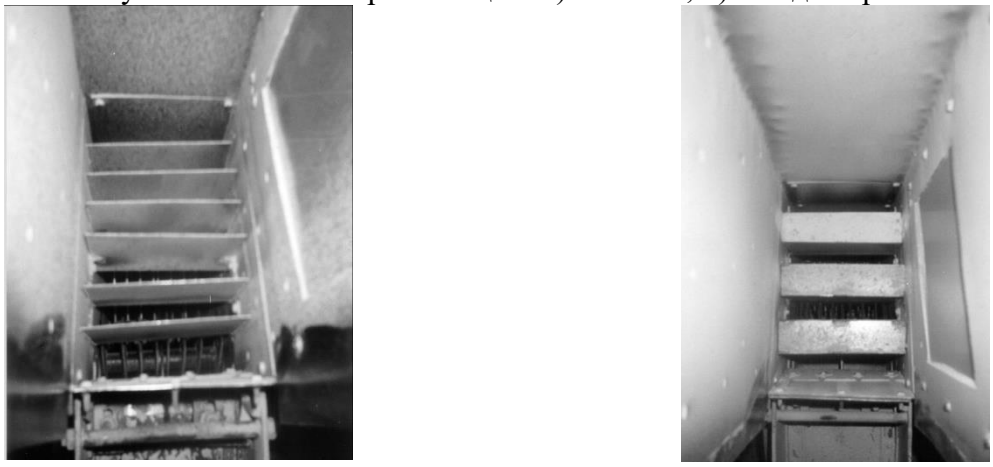
Методы исследования. Эксперименты проводили с зерном влажностью 14%, эквивалентный диаметр зерен составил 4,3 мм. Расстояние между концами молотков и декой составил 8 мм. Величина окружной скорости ротора по концам молотков выбрана 75 м/с. Пробы отбирали из приемника измельченного материала (смеситель) [Савиных, с.88].

Результаты исследований. Так как ротор дробилки является источником воздушного потока, то на входе в пневмосепарирующий канал создается вихревой поток. Для выравнивания воздушного потока устанавливаются направляющие (рис. 1).



а) б)

Рисунок 1. Схема направляющих: а) плоские; б) в виде коробов



а) б)

Рисунок 2. Общий вид направляющих: а) плоские; б) в виде коробов

Направляющие обеспечивают разбиение воздушно-продуктового потока по глубине канала, тем самым происходит выравнивание вихревого поля, создаваемого ротором молотковой дробилки. Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что установка плоских направляющих способствует выравниванию вихревого потока, но не снижает количества целых зерен в готовом продукте.

Для уменьшения количества целых зерен на входе в пневмосепарирующий канал установлены направляющие, имеющие форму виде коробов (рис. 3). Короба могут поворачиваться, изменяя тем самым направление воздушно-продуктового потока при выходе из дробильной камеры.

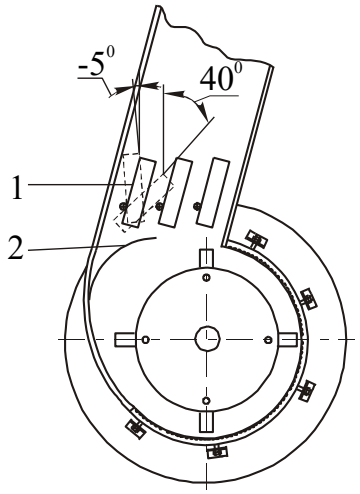


Рисунок 3. Схема угла установки направляющих: 1 - направляющие; 2 – решето

Проведены экспериментальные исследования по изменению угла α установки направляющих в виде коробов. Угол изменяли с промежутком 5 градусов в диапазоне от -5 до 40 градусов. Для определения величины влияния воздушного потока на результаты экспериментов опыты проведены при двух положениях воздушной заслонки (открытое и закрытое). Пробы отбирали из приемника измельченного материала (смеситель). Для визуализации происходящих процессов в канале, на его стенку установлено стекло (рис. 4).

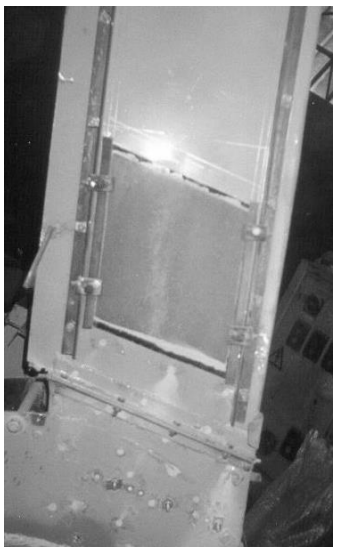


Рис. 4. Общий вид пневмосепарирующего канала

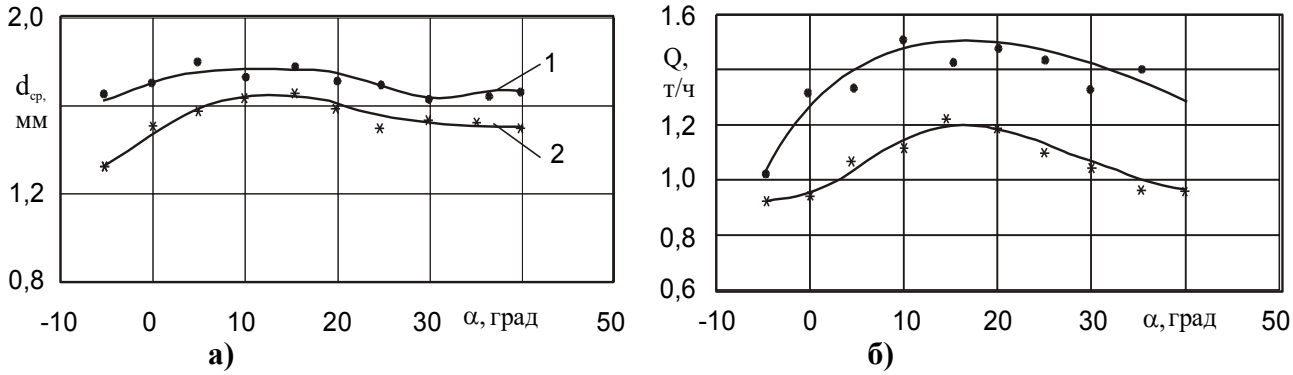


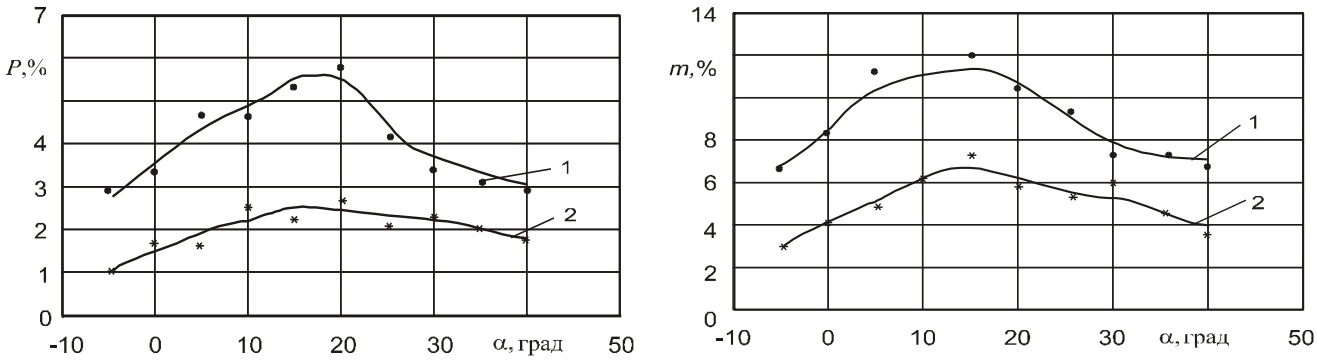
Рисунок 5. Зависимости от угла установки направляющих: а) среднего размера частиц; б) пропускной способности: 1 – при открытой воздушной заслонке; 2 - при закрытой воздушной заслонке

По результатам экспериментов построены зависимости от угла установки коробов: среднего размера частиц $d_{ср}$, производительности дробилки Q (рис. 5), остатка на сите диаметром 3 мм (рис. 6,*а*), наличия в измельченном материале целых зерен *m* (рис. 6,*б*).

Анализ рисунка 5 позволяет сделать вывод о том, что увеличение угла установки коробов приводит к возрастанию среднего размера частиц с 1,3 мм (при $\alpha = -5^0$ и 40^0) до 1,7 мм (при $\alpha = 17^0$) при полностью закрытой заслонке для подачи воздуха и с 1,6 мм (при $\alpha = -5^0$ и 40^0) до 1,8 мм (при $\alpha = 17^0$) при полностью открытой заслонке.

По результатам экспериментов установлено, что степень открытия заслонки для подачи воздуха не оказывает практического влияния на средний размер частиц готового продукта.

Производительность молотковой дробилки достигает наибольшего значения при расположении коробов на 17 град от вертикали и составляет 1,2 т/ч (при закрытой заслонке для подачи воздуха) и 1,5 т/ч (при открытой заслонке для подачи воздуха) (рис. 5,*б*). При открытой воздушной заслонке увеличивается величина воздушного потока в пневмосепарирующем канале, а, соответственно, и его транспортирующая способность.



а) б)

Рисунок 6. Зависимости от угла установки направляющих: а) остатка на сите ∅ 3 мм; б) содержания целых зерен в готовом продукте: 1 - при открытой воздушной заслонке; 2 – при закрытой воздушной заслонке

Открытие заслонки для подачи воздуха (рис. 6) увеличивает остаток на сите диаметром 3 мм с 2,5 % до 5,5 % и наличие целых зерен в измельченном материале с 6,9 % до 11,2 % при повороте коробов на угол 17 град. При установке коробов на угол $\alpha = -5^0$ производительность дробилки уменьшается до 1,0 т/ч (при $\alpha = 40^0$ до 1,3 т/ч), снижаются остаток на сите диаметром 3 мм до 2,9 % (при $\alpha = -5^0$ и 40^0) и наличие целых зерен в измельченном материале до 6,5 % (при $\alpha = -5^0$ и 40^0). Динамика изменения графиков на рисунках 5 и 6 зависит от положения коробов во входе в пневмосепарирующий канал и не зависит от величины открытия заслонки для подачи воздуха.

Результаты экспериментальных исследований отражены в виде помольных характеристик на рисунках 7 и 8.

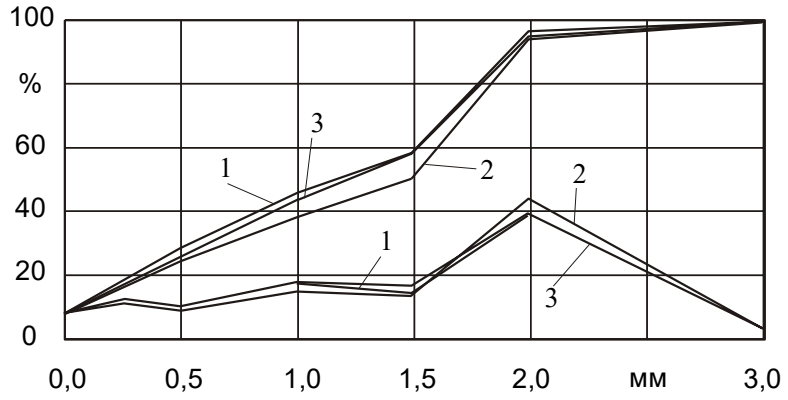


Рисунок 7. Помольные характеристики крупности в зависимости от угла наклона направляющих при закрытой воздушной заслонке: 1 – $\alpha = -5^0$; 2 - $\alpha = 15^0$; 3 - $\alpha = 40^0$

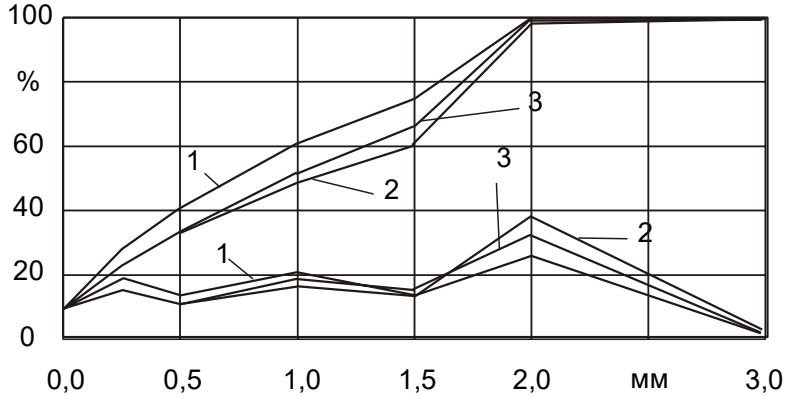


Рисунок 8. Помольные характеристики крупности в зависимости от угла наклона направляющих при открытой воздушной заслонке: 1 – $\alpha = -5^0$; 2 - $\alpha = 15^0$; 3 - $\alpha = 40^0$

Анализ графиков на рисунках 7 и 8 позволяет сделать вывод о том , что при открытой заслонке для подачи воздуха возрастает наличие в измельченном материале крупной фракции. При этом динамика изменения линий кривых практически не зависит от величины открытия заслонки для подачи воздуха.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований показывают, что наилучшими показателями молотковой дробилки являются: производительность дробилки Q = 0,965 т/ч, средний размер частиц измельченного материала $d_{ср}$ = 0,76 мм, наличие целых зерен *m* не более 0,3 % при удельных энергозатратах Э = 4,9 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.). Для достижения наилучших показателей молотковой дробилки требуются следующие конструкционные параметры: установленные на входе в пневмосепарирующий канал короба под углом 17 градусов; величина открытия заслонки для подачи воздуха 80х100

мм. при этом окружная скорость по концам молотков составляет 75 м/с, зазор между концами молотков и декой 8 мм.

Список литературы

1. Алешкин В.Р., Рощин П.М. Механизация животноводства / Под ред. С.В. Мельникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

2. Исследования молотковой дробилки открытого типа с пневмосепаратором // Научно-технические проблемы механизации и автоматизации животноводства: Сб. науч. тр. / Савиных П.А., Алешкин А.В., Турубанов Н.В., Медведев О.Ю. – Подольск, 2003. - Т. 12. – Ч. 2. – С. 115 - 122.

3. Савиных П.А., Алешкин А.В., Турубанов Н.В. Исследования молотковой дробилки открытого типа с пневмосепаратором // Аграрная наука Евро-Северо-Востока: Научный журнал Северо-Восточного научно-методического центра Россельхозакадемии. – Киров, 2003. - № 4. - С. 87 – 91.

Исследование и анализ потерь работы с интерфейсами программных продуктов различных разработчиков со схожим функционалом на примере Openproj и Microsoft Project

Тюрикова К. Н.[a]
студент кафедры Прикладной информатики[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: lisi4ka_kirov@mail.ru[a]

Аннотация: В данной статье рассмотрено исследование программных продуктов для управления проектами OpenProj и Microsoft Project на наличие потерь, сравнение и анализ эффективности работ. Данное исследование проводилось с применением философии бережливого производства, которая является одним из популярных направлений во всем мире.

При работе были использованы системы управления проектами OpenProj и Microsoft Project, для анализа траектории движения курсора была использована программа IOGraph.

В результате выполнения исследования были определены основные потери каждого продукта, предложены направления по совершенствованию программы Microsoft Project путем применения методологии 5S к ленте быстрого доступа. Внедрение данного инструмента позволило грамотно организовать рабочее место проектировщика, а именно сам процесс разработки проекта.

Ключевые слова: методология lean (бережливое производство), методология 5S, потери, система управления проектами, Microsoft Project, Openproj.

В современной экономике в жестких конкурентных условиях каждая компания стремится получать максимальную выручку при минимальных издержках, но не каждая компания знает о скрытых потерях, которые возникают при их деятельности. Методология Lean помогает выявить скрытые потери — процессы не добавляющие ценности и располагает инструментами, которые позволяют избавиться от этих процессов и связанных с ними затрат компании. Кроме применения в процессах производства, принципы бережливого производства и находят применения и в процессе проектирования. Использование методологии позволяет увеличить эффективность управления проектами, уменьшить затраты на избыточные действия, потери рабочего времени, ожидание и неопределенность в выполнении работ и результатах. А вспомогательными инструментами при этом могут быть системы управления проектами, например, OpenProj и Microsoft Project. Но и при работе с данными системами

могут возникать скрытые потери, которые следует исследовать и проанализировать с точки зрения бережливого производства.

Объектом исследования будут являться программные продукты OpenProj и Microsoft Project. Предмет — методология бережливого производства.

Целью данного исследования является формирование и закрепление навыков применения инструментов бережливого производства к программным продуктам OpenProj и Microsoft Project и процессам работы с ними.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи: изучить теоретические основы бережливого производства, исследовать возможности программных продуктов, определить процессы создания ценности, выявить основные проблемы объектов, потери согласно Lean, предложить направления по совершенствованию.

Определим ценность каждого программного продукта в отдельности.

OpenProj — кроссплатформенное программное обеспечение предназначена для управления проектами. [Aspera, 1] Интерфейс программы OpenProj состоит из нескольких окон, доступ к которым осуществляется через кнопки меню, которые расположены в левой части окна программы, или через меню в верхней части. Программа включает все необходимые функции для управления проектами, поддерживает экспорт отчетов в другие форматы, кроме того, поддерживает импорт/экспорт документов Microsoft Project и другие.

Новый проект является конечным продуктом (ценностью), который создается в результате использования программы OpenProj.



Рисунок 4. Карта потока создания ценности

Оценка проводилась при создании проекта, представленного на Рис. 5.

Название	Продолжи...	Начало	Окончание	Предшествующие	Название
⊟Создание курсовой раб	37,25 дней	06.11.17 8:00	27.12.17 10:00		
Начало создания работы	0 дней	06.11.17 8:00	06.11.17 8:00		
Выбор темы курсовой	7 дней	06.11.17 8:00	14.11.17 17:00	2	Преподаватель
Определение объекта ис	0,25 дней	15.11.17 8:00	15.11.17 10:00	3	
Написание пояснительно	30 дней	15.11.17 10:00	27.12.17 10:00	4	Пачка бумаги
Сдача на проверку	0 дней	27.12.17 10:00	27.12.17 10:00	5	Преподаватель

Рисунок 5. Проект, созданные с помощью OpenProj

Microsoft Project — система управления проектами и портфелями позволяет быстро приступить к работе и упрощает реализацию проектов. [Microsoft, с.1] Интерфейс программы Microsoft Project предоставляет доступ к различным командам через панель быстрого доступа, которая расположена в верхней части окна программы. Кроме этого, в программе используются такие элементы как строка состояния, контекстные меню и мини-панели. Программа предоставляет все необходимые функции для управления проектами, также включает в себя оптимизатор ресурсов, временную шкалу, встроенный генератор отчетов и другие.

Новый проект является конечным продуктом (ценностью), который создается в результате использования программы Microsoft Project. Полученный проект имеет вид, представленный на Рис. 5.



Рисунок 9. Карта потока создания ценности

После того как были определены потоки создания ценности для каждого программного продукта в отдельности, выявим основные проблемы объектов.

Создание любого вида проектов начинается с запуска системы управления проектами и непосредственно с ее установки. Самый дорогой ресурс при работе с программой — время, поэтому произведем подсчет времени на установку и наладку программ при новом расположении, результаты представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Результаты подсчета времени на установку и наладку программ

Характеристики	OpenProj	Microsoft Project
Время установки, *минут*	00:14	17:03
Время на первый запуск, *секунд*	04:50	06:00
Время на последующий запуск, *секунд*	01:08	01:01

Данные показатели утрированы, ведь время на установку и наладку напрямую зависит от мощности оборудования, но при этом можно проследить, что время установки и запуска лучше у OpenProj. Использование Microsoft Project создает небольшую потерю – *ожидание*, особенно при установке.

Следующим шагом после запуска программы является создание самого проекта, результаты подсчета времени, затраченного на данный процесс, представлено в Табл. 2. Подсчеты временных затрат на другие основные процессы были представлены на картах создания ценности (см. Рис. 4 и Рис. 9), приведем их к табличному виду (см. Табл. 2).

Таблица 2

Результаты подсчета времени на создание проекта

Операция	Затраченное время, *минут*	
	OpenProj	Microsoft Project
Создание и сохранение проекта	00:20	00:05
Разработка календарного плана проекта	01:35	01:15
Ресурсное планирование	01:30	00:35
Бюджетное планирование	00:30	00:17
Анализ проекта	00:20	00:40
Оптимизация проекта	-	00:10
Отслеживание отклонения	00:08	00:05
Завершение проекта	00:02	00:02
Итого	04:25	03:09

Что касается функциональных особенностей, программа Microsoft Project более удобна в использовании, это позволяет избежать временные потери на создание проекта.

Проведем исследование, какие потери, кроме временных, несут за собой выполнения данных операций, подсчитаем количество кликов и отследим тра-

екторию перемещения курсора. В Табл. 3 представлены результаты подсчета количества кликов мыши.

Таблица 3

Результаты подсчета количества кликов на определенные операции

Операция	Затрачено кликов, *штук*	
	OpenProj	Microsoft Project
Создание и сохранение проекта	5	3
Ресурсное планирование	14	12
Ресурсное планирование (с заменой ресурса преподаватель на ресурс преподаватель2)	13	2
Бюджетное планирование	6	5
Итого	38	22

Далее была исследована траектория движения при выполнении этих же операций в каждой из программ, пример ресурсного планирования с заменой представлено на Рис 10-11.

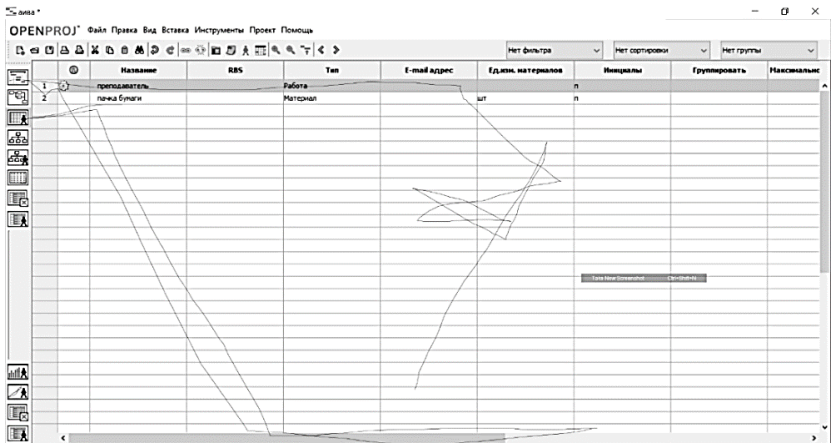


Рисунок 10. Траектория движения курсора в «OpenProj» при операции «Ресурсное планирование с заменой»

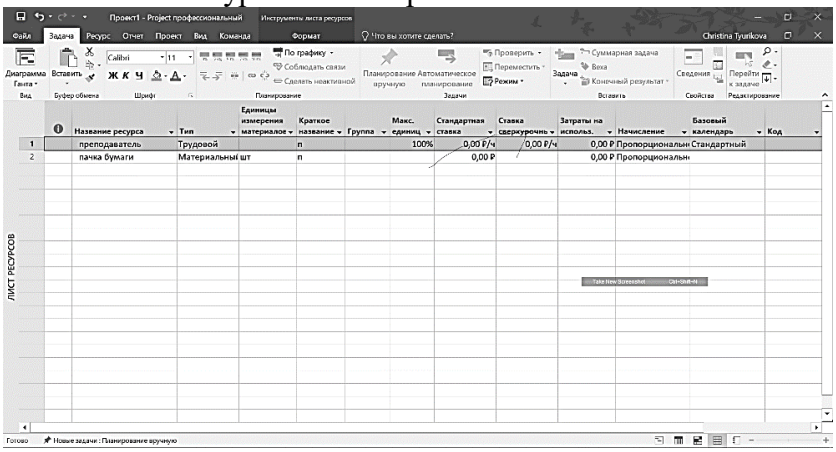


Рисунок 11. Траектория движения курсора в «Microsoft Project» при операции «Ресурсное планирование с заменой»

Большое количество кликов и *ненужных передвижений* в OpenProj объясняется неудобностью расположения элементов и поиском нужных вкладок

(вкладки не подписаны, а изображены иконками, надписи появляются только при наведении, что затрудняется обращение к ним). Здесь можно выделить потери транспортировки — *ненужные переключения между вкладками*.

Что касается ненужных инструментов, то в OpenProj используется максимально простой набор инструментов, в то время как, в Microsoft Project используется множество различных надстроек, для которых предусмотрена гибкая настройка расположения в ленте, так что все ненужные инструменты можно скрыть.

Также при оценке интерфейса программ, можно выделить критерий «необоснованные сложности в работе», например, устаревший дизайн системы. Ввиду того что в OpenProj используется несовременный дизайн и отсутствуют инструменты дополнительного анализа показателей, исключена *излишняя обработка* проекта, используются только стандартный функционал программ для управления проектами. Но в то же время отсутствие дополнительного анализа не позволяет создать качественный проект, что несет за собой потери из-за создания проекта с *дефектами*, которые в дальнейшем потребуют доработок, переработок, а также потерю *творческого потенциала*.

Следующий критерий, по которому будет производиться сравнение и поиск потерь, — использование инструмента Lean встроенное качество, которое предполагает за собой использование система оповещения о сбоях и использование методов предотвращения ошибок проектировщика. В OpenProj предусмотрена проверка действий по вводу даты, по присвоению последовательности, происходит автоматический пересчет различных показателей проекта. В Microsoft Project используется более гибкая проверка действий пользователя с советами и предложением возможных вариантов решения проблем. Итак, потерь по данному критерию не было найдено, введенные ограничения позволяют быстро реагировать на возникающие проблемы, внимание концентрируется на более важных процессах проектирования.

Существует множество инструментов и методов Бережливого производства, одной из популярных является методология 5S. 5S — это пять шагов:

сортировка; соблюдение порядка; содержание в чистоте; стандартизация; совершенствование. [Гарин, с.1]

Выявленные в результате анализа работы с программой Microsoft Project потери излишней обработки можно избежать, путем применения методологии 5S к ленте быстрого доступа. Внедрение данного инструмента позволит грамотно организовать рабочее место проектировщика, а именно сам процесс разработки проекта.

Исходный вид ленты на каждой вкладке со всеми инструментами, установленными по умолчанию, можно увидеть на Рис. 12 - 17.



Рисунок 12. Вкладка «Ресурс»

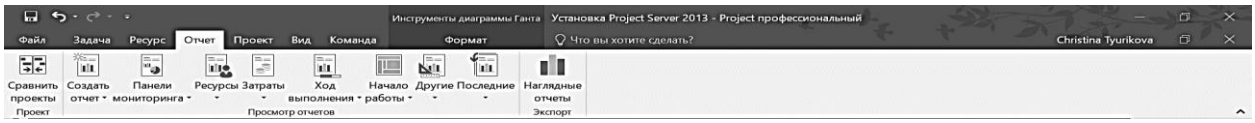


Рисунок 13. Вкладка «Отчет»

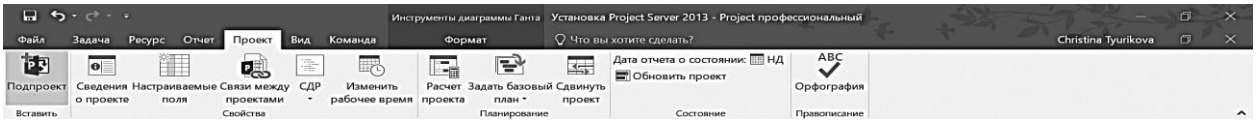


Рисунок 14. Вкладка «Проект»

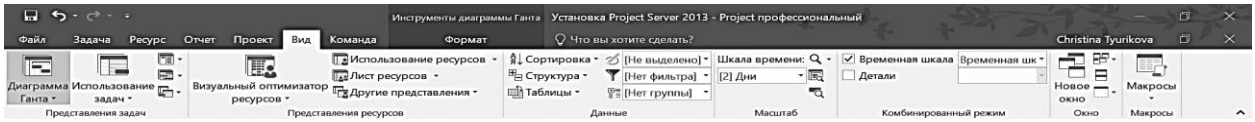


Рисунок 15. Вкладка «Вид»

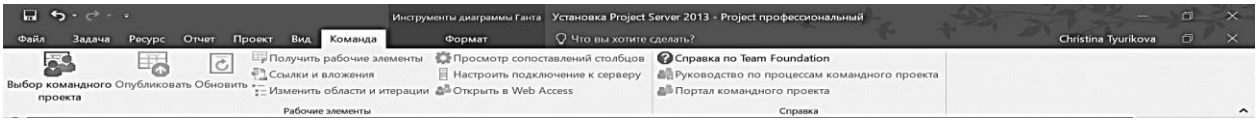


Рисунок 16. Вкладка «Команда»



Рисунок 17. Вкладка «Формат»

Для оптимизации пространства ленты быстрого доступа можно предложить следующие шаги:

1. Провести сортировку элементов ленты:

- удалить из ленты все ненужные инструменты;
- определить частоту использования оставшихся инструментов;

- отсортировать по частоте использования и разместить часто используемые инструменты на первой вкладке, остальные вкладки слева направо от часто используемых к неиспользуемым.

2. Составить схему размещения инструментов для визуального представления.

3. Если для определенного вида проектов потребуются инструменты, которые находятся в зоне редко используемых, следует переместить их в зону часто используемых, но после завершения проекта, привести все к виду, закрепленному в схеме. Схема размещения согласно сортировке будет иметь вид, изображенный на Рис. 18.

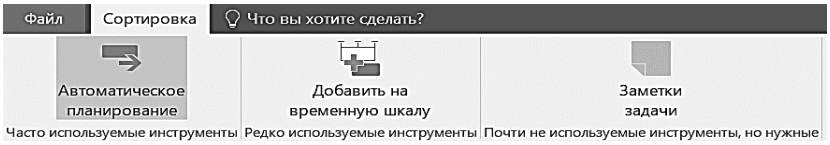


Рисунок 18. Схема размещения инструментов с сортировкой

Конечный вид ленты на каждой вкладке представлен на Рис. 19 - 23.

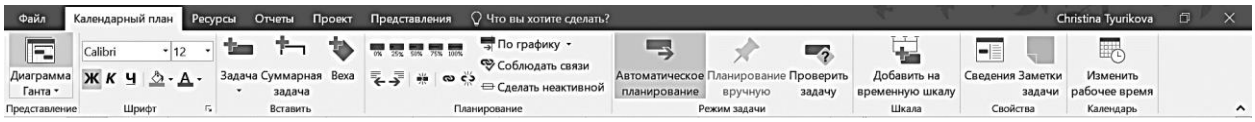


Рисунок 19. Вкладка «Календарный план»

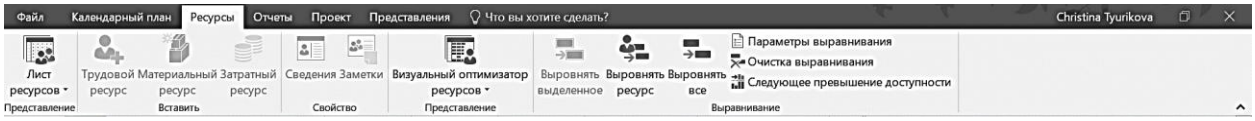


Рисунок 20. Вкладка «Ресурсы»

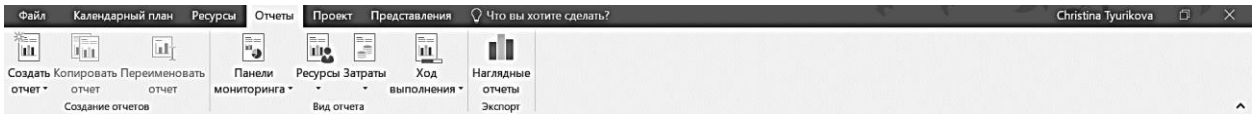


Рисунок 21. Вкладка «Отчеты»

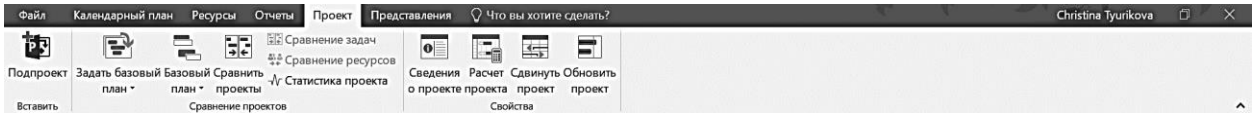


Рисунок 22. Вкладка «Проект»

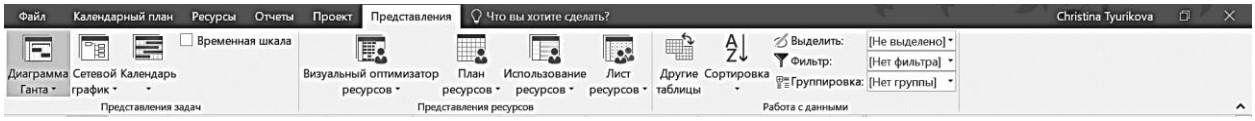


Рисунок 23. Вкладка «Представления»

Данное размещение инструментов также позволит сократить время на работу с проектами.

Исследование показало, что работа в системах управления проектами также содержит скрытые потери.

Было выявлено, что при работе с программой OpenProj могут существовать следующие потери: потери из-за ненужных передвижений, потери из-за ненужных переключений между вкладками, потери из-за создания проектов с дефектами (недоработками и тд), потери творческого потенциала (неполное использование возможностей проектировщика), а также большие временные затраты в целом на выполнение основных процессов создания ценности в сравнение с аналогом Microsoft Project.

В Microsoft Project возникает потеря ожидание при установке и, в сравнении с аналогом, существует небольшая потеря — ожидание при запуске, также возможна излишняя обработка ввиду того, что в системе доступно множество инструментов. Но потери излишней обработки можно избежать, путем применения методологии 5S к ленте быстрого доступа.

Список литературы

1. Википедия. OpenProj [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenProj свободный. (дата обращения 23.10.17)

2. Инструменты системы управления проектами от Майкрософт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://products.office.com/ru-ru/project/project-management свободный. (дата обращения 23.10.17)

3. Википедия. 5S [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/5S свободный. (дата обращения 1.11.17)

Анализ перспектив применения золы уноса в качестве геополимера

Фукс С.Л.[a], Мусихина Т.А.[b], Хитрин С.В.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной и прикладной кологии[a]
кандидат географических наук, заведующий кафедры промышленной
и прикладной экологии[b]
доктор химических наук, профессор кафедры промышленной и прикладной экологии[c]
E-mail: tzb_fuks@vyatsu.ru; usr04011@vyatsu.ru ; tzb_khitrin@vytsu.ru

Аннотация: Ежегодно при сжигании углей в котлах теплоэлектростанций (ТЭС) России образуется до 40 млн т. золошлаковых отходов, а накопления их на золоотвалах превышают 1,5 млрд т. Значительные массы твёрдых отходов в энергетической отрасли промышленности обусловлены существующим уровнем технологии переработки соответствующего сырья и недостаточностью его комплексного использования. Хранение отходов технологических циклов сжигания углей в котельных агрегатах теплоэлектростанций на обширных золоотвалах, прилегающих к предприятиям, является дорогим мероприятием. Химический состав золы уноса зависит от месторождения угля. Ввиду того, что зола уноса представляет ценный минеральный остаток от сжигания каменного угля в котельных агрегатах теплоэлектростанций, она может широко использоваться в различных строительных производствах. Однако на её применение влияет состав, зависящий от месторождения угля.

Многообразие видов зол и шлаков, значительное различие их состава существенно усложняют задачи их утилизации, вызывая в ряде конкретных случаев необходимость поиска новых путей их переработки. Различные технологии рекуперации этих твёрдых отходов базируется на методах, обеспечивающих возможность их утилизации или переработки в целевые продукты. Одним из реальных путей решения этой задачи является их применение в качестве геополимера с высокими вяжущими свойствами, характерными для низкокальциевых алюмосиликатных систем. При разработке состава геополимерного вяжущего требуется знание состава и свойств зол уноса, а также источников её образования.

Ключевые слова: геологические ресурсы, уголь, классификация, золошлаковые отходы, цемент, бетон.

Мировой рост производства цемента и других вяжущих материалов с каждым годом увеличивает потребность в использовании ископаемого сырья. Замена полезных ископаемых, полученных при добыче, обогащении и переработке, отходами теплоэнергетических установок позволит снизить потребность в геологических ресурсах и приведет к одновременному сокращению количества твёрдых отходов. В связи с этим необходимо разрабатывать более совер-

шенные методы получения вяжущих, реализуя технологии комплексного использования минеральных ресурсов и вторичных материальных ресурсов (ВМР).

При сжигании углей в котлах теплоэлектростанций (ТЭС) России ежегодно образуется до 40 млн т. золошлаковых отходов, а накопления их на золоотвалах превышают 1,5 млрд т. При переработке золоотвалов, при длительной эксплуатации которых возникают проблемы перегрузки, что представляет экологическую опасность для окружающих территорий. В России разработка технологий превращения в ВМР золошлаковых отходов развита очень слабо, несмотря на то, что плата за организацию полигонов и их эксплуатацию постоянно увеличивается.

Уровень оперативной утилизации зол и шлаков является низким. В хозяйственный оборот вовлекается только 10 – 12 % золошлаковых отходов.

Для ликвидации переполненных золоотвалов необходимо решить задачи переработки накопленных отходов в полезные материалы, пригодные для применения в различных отраслях производства, которые способны потреблять этот полезный продукт непрерывно и в соразмерных с образованием золы количествах.

Значительные массы твёрдых отходов в энергетической отрасли промышленности обусловлены существующим уровнем технологии переработки соответствующего сырья и недостаточностью его комплексного использования. Увеличение комплексности использования минерального сырья при одновременном решении задач защиты биосферы способствует сокращению потребления ряда его видов. Утилизация ВМР тем более актуальна, что организация производства продукции на их основе требует затрат в 2-3 раза меньше, чем для производств, основанных только на специально добываемом природном сырье.

Удаление отходов из технологических циклов и снижение объемов их хранения на золошлакоотвалах - актуальные задачи, одним из реальных путей решения которых является применение крупнотоннажного отхода теплоэлектростанций золы уноса, представляющей геополимер с высокими вяжущими

свойствами, характерными для низкокальциевых алюмосиликатных систем. При разработке состава геополимерного вяжущего требуется знание состава и свойств зол уноса, а также предварительного определения источников и причин образования твёрдых отходов.

По данным, приведенным в [1], рассчитаны средние значения концентраций компонентов, слагающих золу уноса в пересчете на оксиды.

В настоящее время отсутствует общая научная классификация твёрдых отходов промышленности, охватывающая все их многообразие по тем или иным принципам, это объясняется широтой их номенклатуры даже в рамках одного предприятия. Отсутствие классификации отходов производства в энергетической отрасли в многом связано с незавершённой работой по составлению кадастров этих отходов в топливной отрасли. Существующие классификации твёрдых отходов по энергетическим предприятиям многообразны и односторонни. В основном золошлаковые отходы классифицируются по виду сжигаемого угля, способа сжигания, температуры факела, способа золоудаления, сбора и хранения золы, тоннажности, степени использования, ценностным показателям, воздействию на окружающую среду, способности к возгоранию и тому подобное.

Важное значение для технологий переработки является фракционный и морфологический состав зол и шлаков, получаемых из различных мест накопления. Наибольший интерес при применении золы уноса в строительных материалах представляет классификация по способу её удаления из очистной аппаратуры [2].

Важнейшей характеристикой золы уноса являются вяжущие свойства, обусловленные наличием кальция в свободном или связанном виде. Основная тонкодисперсная зола уноса, состоящая из сфероидальных тел и содержащая более 25 % диоксида кремния является кислой, то есть не проявляющей вяжущих свойств в достаточной степени, в то время как зола, содержащая реакционноспособный оксид кальция в количестве более 10 % проявляет вяжущие

свойства и её можно использовать в качестве активной минеральной добавки к цементу и бетону [2].

Многотоннажные золошлаковые отходы, обладающие достаточно высокой химической стабильностью, тугоплавкостью и низкой дисперсностью, применяются в технологиях, связанных с созданием вяжущих материалов широко используемых в строительстве [1, 3-11].

Помимо цемента и бетона зола унос широко применяется для других строительных материалов. Например, из неё изготавливают стеновые керамические материалы. Для этого используют смесь включающую кремнеземистый компонент в виде пыли газоочистки производства ферросплавов и высококальциевую золу-унос от сжигания бурых углей

[12-13].

Также производят огнестойкие строительные теплоизоляционные материалы [14]. Гранулированный продукт для производства пеносиликата, минеральный порошок для приготовления горячей смеси пористого нижнего слоя асфальтобетона [15]. Композиционные материалы на основе термореактивных смол и золы уноса, применяемые для теплоизоляции трубопроводов [16 – 18].

Особый интерес представляют исследования по использованию золы уноса ТЭС для получения катализатора окисления метанола в формальдегид, а также для производства удобрений, мелиорации и создания почвенных субстратов [19 – 21].

Переработка фракций золошлаковых отходов позволяет получать широкий спектр наукоемких высокотехнологичных материалов, таких как ценосферы, являющиеся полыми стеклокристаллическими алюмосиликатными микросферами со специфическим микроэлементным составом и драгоценных металлов [22-23].

Таким образом, зола унос, представляющая продукт высокотемпературной переработки георесурсов, может выполнять роль вторичных материальных ресурсов и использоваться для получения разнообразных материалов.

Из анализа литературных данных следует также, что необходимо провести более глубокие исследования физических, физико-химических и химических свойств золы уноса для разработки новых и малоизученных направлений её применения.

Список литературы

1. Энтин З.Б., Нефедов Л.С., Стржалковская Н.В. Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона. Цемент и его применение. 2012. №2. С. 44-44.
2. Ватин Н.И. И др. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4. С.16 – 21.
3. Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Чамурлиев М.Ю. Принципы выбора сырьевых компонентов в технологии получения геополимеров на основе золы-уноса // Теория.Практика. Инновации. Международный научно-технический журнал. 2017. №5. С.1- 9.
4. Капустин Ф.Л., Фомина И.В. Малоцементные композиции на основе золы-уноса ТЭС // Система экологической безопасности: сб.трудов IX заоч. Междунар. Науч.-практ. конф. 30-31 мая 2015 г. Екатеринбург, 2015. С.112-116.
5. Патент РФ №2196749. Бецементное вяжущее. Опубл.:20.01.2003.
6. Носков А.С., Беляков В.А., Веселов В.В. Анализ возможности использования полистиролбетонов в конструкциях зданий при возведении их в районах с повышенной сейсмичностью // Технологии бетонов 2014. №11. С. 26 – 29.
7. Делицын Л.М., Носков А.Н., Власов А.С. Комплексное использование углей на ТЭС // Горная промышленность. 2001. №3.С.1-6.
8. Шевченко В.А. И др. Бесцементное вяжущее из зольно-кремнеземистых композиций // Строительные материалы. 2014. № 1. С.66-68.
9. Жерновский И.В. И др. Структурные преобразования кварцевого песка при механоактивации // Строительные материалы. 2012. №10. С.56-58.
10. Войтович Е.В. И др. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения // Строительные материалы. 2013. № 11. С.53 – 55.
11. Патент РФ №2519251. Способ получения вяжущего. Опубл.: 10.06.2014 Бюл. № 16.
12. Лохова Н.А., Цинделиани М.И. Фазообразование в золокремнеземистом керамическом материале // Системы. Методы. Технологии. Научный журнал Братского ГУ. 2013. №1. С.81-85.
13. Патент РФ №2524733. Сырьевая смесь для изготовления керамических изделий. Опубл.: 10.18.2014 Бюл. №22.
14. Бурдонов А.Е., Бархатенко В.В. Влияние золы уноса на физико-химические характеристики инновационного теплоизоляционного материала // Инновации в материаловедении и металлургии : материалы I междунар. интерактив. науч.-практ. конф. 13-19 декабря 2011 г. Екатеринбург, 2012. Ч.1. С. 155-159.

15.Урханова Л.А., Битуев А.В. // Вестник СибАДИ. Строительство. Строительные материалы и изделия. 2012. № 4 (26). С.60-65.

16. Бурдонов А.Е. Кинетические особенности вспенивания термореактивных полимеров при получении теплоизоляционных материалов в присутствии минерального наполнителя // Инженерно-строительный журнал. 2014. №3(47). С. 9-16.

17. Бурдонов А.Е. Экологическая оценка строительных композиционных материалов на основе термореактивных олигомеров и отходов ТЭС // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 3. С.65-90.

18. Бурдонов А.Е. и др. Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе отходов производства с различными рецептурами // Инженерно-строительный журнал. 2012. №9(35). С. 14-22.

19. Емельянова В.С. и др. Использование золы уноса ТЭС для получения катализатора окисления метанола в формальдегид // Химические науки. Фундаментальные исследования. 2014. №9. С.1230-1236.

20. Айтчанова К.М., Сарсенова А.А. Эффективность применения мелиоративных препаратов, золы уноса и технического углерода на обыкновенном черноземе лесостепной зоны Западной Сибири // Омский научный вестник. 2015. №1(136). С.134-145.

21. Ихсаков Х.А. И др. Зола теплоэлектростанций как основа для создания почвенного субстрата // Химические технологии. 2014. №5. С.118-121.

22. Верещагина Т.А. И др. Получение ценосфер из энергетических зол стабилизированного состава и их свойства // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. №9. С.379-391.

23. Черепанов А.А., Кардаш В.Т. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ // Геология и полезные ископаемые Мирового океана.2009. №2. С.98-115.

Разработка технологии получения композиционных сорбционных материалов с использованием отходов энергетических и химических производств

Фукс С.Л.[a], Хитрин С.В.[б], Мусихина Т.А.[c]
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной и прикладной экологии[a]
доктор химических наук, профессор кафедры промышленной и прикладной экологии[b]
кандидат географических наук, заведующий кафедры промышленной и прикладной экологии[c]
E-mail: tzb_fuks@vyatsu.ru; tzb_khitrin@vytsu.ru; usr04011@vyatsu.ru

Аннотация: Интенсивному развитию химических и энергетических технологий сопутствуют значительные по масштабам загрязнения атмосферного воздуха различными газами, а также образование огромного количества твердых отходов. Очистка воздуха от газов является большой экономической и экологической проблемой, связанной технологиями получения сорбентов и последующей утилизации. Твердые отходы также отрицательно влияют на окружающую среду. Для минимизации их влияния на экологию разработаны многие способы их применения. В большинстве случаев это связано со строительными материалами. Однако их можно применять также в качестве сорбентов различных промышленных газов, что снизит антропогенную нагрузку на территории и приведет как к экологическому, так и к экономическому эффекту. Наибольшую эффективность можно ожидать при использовании композиционных сорбентов, а также их применения непосредственно в производствах образования. Так, например, зола уноса от сжигания угля может быть применена для утилизации оксидов азота из дымового газа непосредственно на производстве энергии. Повышение эффективности сорбентов усиливается созданием композитных материалов, применяемых для очистки воздуха от широкого спектра газовых загрязнений.

Ключевые слова: сорбенты, оксиды азота, аммиак, бензол.

В настоящее время промышленность нуждается в современных сорбентах для поглощения газов и аэрозолей. Наибольшей эффективностью обладают сорбенты: силикагель, активные угли и другие вещества, требующие для производства значительные экономические затраты. Большинство из этих сорбентов используется однократно и поступают в отходы. В связи с этим представляется экономически и экологически более выгодным применять различные отходы химических и энергетических производств. Эффективность этих сорбентов должна быть не меньше, чем у сорбентов производственных. Они должны иметь тот же спектр действия, что и производственные сорбенты.

Целью данной работы явился поиск веществ и условий их переработки для создания композитных сорбционных материалов, поглощающих газы из атмосферного воздуха.

Получение из отходов производств новых продуктов, приготовленных на базе крупнотоннажных отходов химических и энергетических производств [1,2] дает возможность их совместного применения в виде новых сорбентов [3].

В качестве таких веществ могут быть использованы гидролизный лигнин биохимического производства, химические соединения, полученные путем термодеструкции политетрафторэтилена из отходов фторполимерных производств. Наиболее экологически безопасным и экономически эффективным является процесс синтеза ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) в результате исчерпывающего фторирования отходов производства фторопласта Ф-4. Кроме того, перспективны сорбционные материалы, обладающие специфическими характеристиками. Среди них большой интерес представляют сорбенты, изготовленные из отходов энергетических производств, например, золы уноса теплоэлектростанций [4].

Анализ научно – исследовательской литературы показал, что при использовании различных сорбентов, как индивидуальных веществ, так и их смесей (композитные сорбенты), могут появиться новые свойства, эффективно действующие при поглощении газов из воздуха.

Для данной работы в качестве компонентов сорбентов для утилизации органических и неорганических соединений из атмосферы были выбраны продукт переработки отходов фторполимерного производства – УПТФЭ, гидролизный лигнин и зола уноса. Для сравнения был применен промышленный сорбент – силикагель марки КСГ. В качестве загрязнителей воздуха использовались газы органического и неорганического происхождения (оксиды азота, аммиак, бензол). Кроме того, улавливание аммиака из воздуха проводилось с использованием композита золы уноса и гидролизного лигнина, а также золы уноса. Испытания проводили на лабораторной установке, представленной в [5].

Путем рассева на фракции определялся гранулометрический состав компонентов сорбентов. Эффективность очистки Э, %, определялась исходя из расчета по концентрации оксидов азота до и после очистки по уравнению $Э = [(C_0 – C_1) / C_0] \cdot 100$ %, где– концентрация оксидов азота до адсорбера, мг/м^3; C_1 – концентрация оксидов азота после адсорбции, мг/м^3. Гранулометрический состав летучей золы приведен в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав золы уноса

№ фракции	Размер частиц, мкм	Масса частиц, г	Доля фракции, %
1	> 1200	-	-
2	450 – 1200	2,23	2,23
3	315 – 450	2,08	2,08
4	125 – 315	52,69	52,69
5	90 – 125	36,06	36,06
6	< 90	6,94	6,94
	Итого	100,00	100,00

Оказалось, что подавляющее количество частиц золы (88,75 %) имеют размеры от 315 до 90 мкм.

Гранулометрический состав гидролизного лигнина приведен в таблице 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав гидролизного лигнина

№ фракции	Размер частиц, мкм	Масса частиц, г	Доля фракции, %
1	> 1200	25,23	36,04
2	450 – 1200	33,72	48,17
3	315 – 450	5,06	7,23
4	125 – 315	5,46	7,80
5	90 – 125	0,30	0,43
6	< 90	0,23	0,33
	Итого	70,00	100,00

Оказалось, что доля грубой фракции составляет 36 %, в то время как в золе уноса она полностью отсутствует. Следует ожидать, что физическая адсорбция газов на гранулах сорбента зависит от размера частиц. В связи с этим для проведения опытов в равных условиях по гранулометрическому составу были взяты фракции с размером частиц от 450 до 90 мкм.

Для экспериментов использовались сорбенты в количествах 35-70 г. Скорость поступления загрязненного воздуха в колонки, содержащие сорбент составляла 2 -3 л/мин.

Результаты утилизации оксидов азота и аммиака из воздуха рабочей зоны приведены на рисунках 1 – 3.

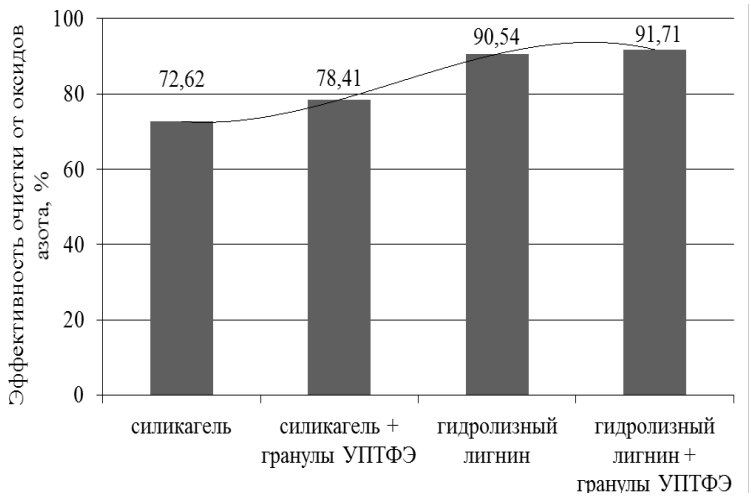


Рисунок 1. Эффективность адсорбции оксидов азота

Из рис.1 видно, что эффективность улавливания оксидов азота из воздуха сорбентами, полученными из смеси отходов фторполимерного производства – УПТФЭ и гидролизного лигнина составляет 90,5 – 91,7 %, в то время как известный сорбент силикагель и его смесь с УПТФЭ дают худшие результаты. Причем утилизация оксидов азота гидролизным лигнином или смесью гидролизного лигнина + УПТФЭ на 13 – 18 % более эффективна, чем адсорбция этих газов силикагелем даже в смеси с УПТФЭ.

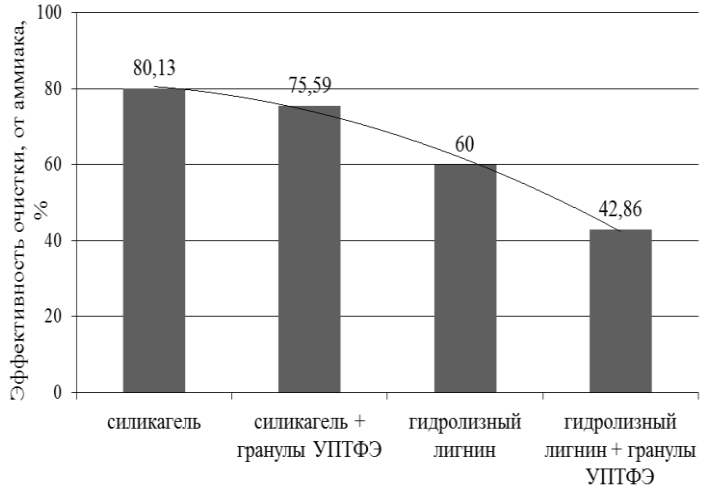


Рисунок 2. Эффективность адсорбции аммиака

Из рис.2 видно, что эффективность улавливания аммиака, максимальна при использовании силикагеля и на 20 % ниже при использовании гидролизного лигнина. Присутствие в силикагеле или лигнине УПТФЭ также не дает положительного эффекта.

Для увеличения степени очистки воздуха от аммиака была использована зола уноса, образующаяся при сжигании угля Кузнецкого бассейна. Сорбционные свойства золы уноса, по отношению к аммиаку изучались при продуве через колонку, заполненную сорбентом (масса 35г), 60 л воздуха, содержащего различное количество аммиака. Для сравнения использовался активированный уголь марки БАУ-А. Результаты приведены на рис. 3.

Оказалось, что при одинаковой массе сорбента и количестве воздуха, пропущенного через колонки эффективность золы уноса ниже приблизительно на 15 % при высоких концентрациях аммиака. При низких концентрациях аммиака эффективность очистки золой уносом на 10 % выше, чем при использовании угля. Следовательно, использование золы уноса для адсорбции аммиака концентрацией ниже 0,18 г/м^3 эффективно.

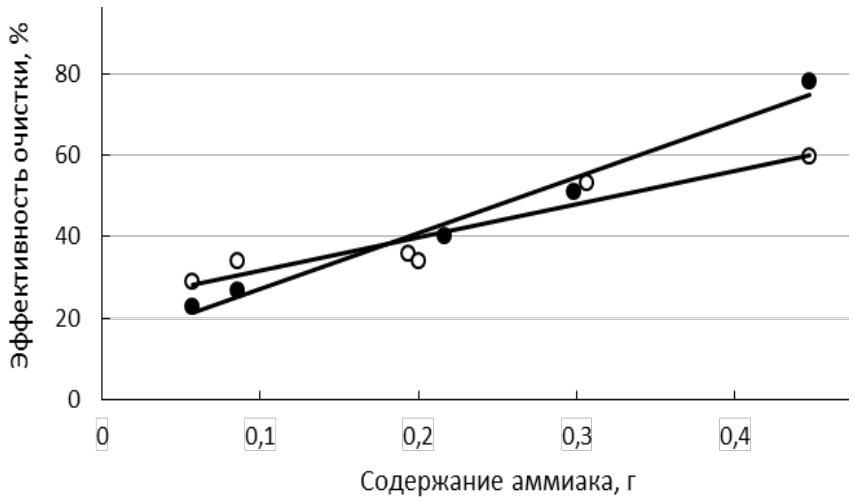


Рисунок 3. Эффективность адсорбции аммиака активированным углем (●) и золой уноса (○)

Адсорбционные свойства по отношению к бензолу определялись в системах силикагель + гранулы УПТФЭ или гидролизный лигнин + гранулы УПТФЭ

и сравнивались со свойствами силикагеля или гидролизного лигнина. Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Адсорбция бензола из воздуха

Сорбент	С (C_6H_6), мг/м^3		Эффективность очистки, %
	до очистки	после очистки	
силикагель	76	25	67,11
силикагель + гранулы УПТФЭ	164	43	73,78
гидролизный лигнин	164	19	88,41
гидролизный лигнин + гранулы УПТФЭ	164	17	95,63

Из таблицы видно, что адсорбционные свойства гидролизного лигнина на 20 % выше по отношению к бензолу по сравнению с силикагелем.

Присутствие в сорбентах УПТФЭ повышает сорбционные свойства сорбентов одинаково – на 6 - 7 %.

Выводы

1.Изучены свойства и области применения отходов различных производств: золы уноса, УПТФЭ, гидролизного лигнина, а также целевых продуктов: силикагеля и активированного угля.

2. Показано, что при смешивании силикагеля с порошком УПТФЭ степень очистки воздуха от диоксида азота и бензола возрастает, а аммиака, напротив, уменьшается на 5 %.

3. Следовательно, для достижения высокой эффективности очистки воздуха от аммиака требуется либо понизить концентрацию аммиака в воздухе, либо увеличить массу сорбента.

4. Установлено, что, наибольшая степень очистки воздуха достигается при адсорбции полярных молекул аммиака (80 %), наименьшая при адсорбции неполярных молекул бензола (67 %).

5. Исследования показали, что композитные сорбенты рекомендуется применять для очистки воздуха от промышленных газообразных загрязнений.

Список литературы

1 Изучение свойств УПТФЭ при получении смесей для сорбции газов / Фукс. С.Л. и др.// Общество, наука, инновации (НПК): материалы Всерос. ежегод. науч. практич. конф. 18 – 24 марта 2015 г. Киров, 2015. С.359-363.

2 Вологжанина Ю.В., Фукс С.Л., Чеглакова Е.В. Утилизация отходов производства фторполимеров в различных технологиях // В мире научных открытий. 2015. №11.С.1223-1234.

3 Казакова Е.В., Фукс С.Л. Получение новых сорбентов из отходов различных производств / //Успехи современной науки. 2016. Т.5. №9.С.320-325.

4 Казакова Е.В., Фукс С.Л., Хитрин С.В. Использование смесей отходов биохимического и энергетического производств для получения новых сорбентов // Наука. Инновации. Общество. 2017. №1. С.56-61.

5 Хитрин С.В. и др. Промышленная экология. Киров: 2009. 80 с.

Способы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ

Е. А. Хмелёва[a], Е. А. Земцова[b], С.А. Казиенков[c]
Старший преподаватель кафедры промышленной и прикладной экологии
Студент кафедры промышленной и прикладной экологии
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерацияа[a,b,c]
E-mail: ea_zemtsova@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Согласно федеральному классификатору, золошлаковые отходы относятся к пятому классу опасности, т.е. являются практически безопасными, поэтому они находят применение в строительной, дорожной, сельскохозяйственной отраслях и т.д. Несмотря на это, использование золошлаковых отходов, в том числе золы-уноса, на территории РФ очень низкое и не превышает 5-7 %. Актуальность переработки золошлаков очевидна. Занимая большие территории потенциально ценных сельскохозяйственных угодий, которые в дальнейшем выходят из эксплуатации, золоотвалы создают угрозу для окружающей среды и здоровья человека. Проникновение стоков из золоотвалов в грунт, может привести к поступлению загрязняющих веществ (тяжелые металлы, радиоактивные элементы и др.) в подземные воды, а с ними – в реки и водоемы и, в конечном счете, в пищу человека.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, зола-уноса, утилизация, ценные компоненты.

Золошлаковые отходы (ЗШО), являющиеся продуктами сгорания угля на тепловых станциях, состоят из двух частей – золы-уноса и шлака. Зола-уноса – это несгорающий остаток топлива, уносимый из топочного пространства вместе с дымовыми газами, с размером зерен, не превышающих 0,16 мм. Шлак представляет собой материал, который при сгорании угля скапливается в нижней части топочного пространства тепловых конструкций. Химический состав ЗШО зависит от состава сжигаемого угля. По химическому составу большая часть компонентов в составе ЗШО это оксиды Al и Si. Также в составе ЗШО могут находиться частицы несгоревшего топлива.

В основном, ЗШО являются сырьем для производства строительных материалов.

Достаточно высоких результатов по улучшению эксплуатационных свойств материалов удается достичь при введении в пенобетонную смесь при производстве ячеистых бетонов (пенобетонов) золы-уноса, что позволяет уве-

личить агрегативную устойчивость смеси в период от начала до конца схватывания цементного теста, тем самым способствуя большей равномерности структуры получаемых изделий [Вишневский, с.19]

Преимуществом использования золы является мелкодисперсный состав, благодаря которому создается плотная упаковка частиц в межпоровой перегородке пенобетона. Если же в процессе формования не будет соблюдено условие достаточной плотной упаковки, то в процессе сушки начнут развиваться усадочные явления, что приведет к резкому снижению прочностных характеристик пенобетона.

Для изготовления ячеистых золобетонов можно использовать и сухую, и влажную золу. Но ограничением использования золы в качестве наполнителя служит ее дисперсность и высокая пористость. Для того чтобы на выходе получить продукт нужного качества, требуется выверенная дозировка золы, строгое соблюдение температурных режимов.

При производстве изделий из керамзитобетонов (легких бетонов) обязательным условием является отсутствие в материале межзерновых пустот. Ввиду того, что керамзитовый песок зачастую имеет достаточно низкое качество, производители конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов заменяют его на обычный песок, что приводит к ухудшению свойств таких материалов: плотность возрастает в среднем до 1500 кг/м^3, а термическое сопротивление резко падает. В качестве альтернативы мелкодисперсного заполнителя в легких бетонах может служить зола-унос ТЭЦ, которая может частично или полностью заменить мелкий заполнитель других видов. [Адеева, с. 142]

Зольный вяжущий материал широко используют для изготовления конструкций влажно-воздушного и гидротермального твердения. Зольный материал можно использовать вместо цемента при производстве строительных растворов.

Еще одним направлением использования ЗШО ТЭЦ является дорожная сфера. Золы ТЭЦ вводят в состав шлакосиликатных бетонов, которые могут быть использованы для ремонта и организации дорожных покрытий и мостов, а

также при устройстве полов в производствах, где осуществляются работы с агрессивными средами. Зола ТЭЦ применяется как заполнитель или минеральный порошок при производстве асфальтобетонов [Вишневский, с.24].

Установлена возможность применения золы в сельском хозяйстве для удобрения почвы с целью введения в нее цинка, калия, молибдена и бора, находящихся в золе. При использовании золы не рекомендуется смешивать ее с органическими удобрениями (это приведет к потере азота), а также удобрениями, содержащими водорастворимые фосфаты (зола снижает их усвояемость) [Зырянов, с. 243-244].

3.1.1 По экспериментальным данным можно утверждать, что зола на 98-99% состоит из кремния, алюминия, железа, кислорода, кальция, магния, серы, калия, натрия и других полезных элементов, а также их оксидов. Практически все остальные химические элементы присутствуют в золе на уровне 0,1 % и меньше, это микроэлементы, часть которых при сгорании угля скапливается в шлаке, а остальные при высоких температурах конденсируются в электрофильтрах.

Также к компонентам золы, которые обладают полезными технологическими свойствами, относят алюмосиликатные и магнитные микросферы и несгоревшие частички угля.

Для того чтобы выделить из золы микроэлементы с основными или амфотерными свойствами, применяют растворы кислот, таких как серная, соляная и азотная. Способом выщелачивания можно выделять редкоземельные элементы, а также уран и торий из золы непосредственно перед ее использованием в строительстве жилых домов. Минусом такого метода является то, что большая масса золы остается неиспользованной и требует переработки в дальнейшем.

Для того чтобы выделить микроэлементы с кислотными и амфотерными свойствами, применяют различные щелочные растворы.

Опять-таки минусом, как и в предыдущем пункте, является то, что данный метод приводит к образованию неразложившегося остатка золы, а его стоит использовать в строительстве [Адеева, с. 145-147].

Применение ЗШО напрямую зависит от дисперсного состава отхода. По данным исследования дисперсности золы-уноса Кировских ТЭЦ установлено, что наибольшая доля частиц в объеме золы-уноса имеет размер порядка 0,125 мм, что отображено на рисунке 1.

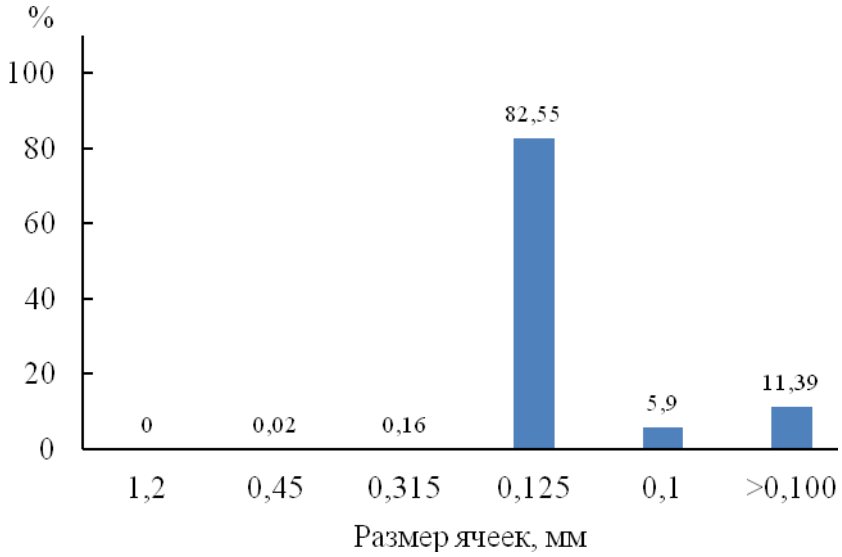


Рисунок 1. Дисперсность золы-уноса

Размер частиц шлаковой части отхода варьируется достаточно в широком диапазоне (от 0,3 до 20 мм).

Разделять ЗШО стоит только в том случае, если для промышленности нужен материал мелкодисперсного состава (зола-унос), в остальных случаях разделять ЗШО нецелесообразно.

Методом энергодисперсионного анализа было установлено, что в золе-уноса большую часть элементов составляют C, O, Si, Fe и Al. Также в составе исследуемой золы обнаруживаются Ca, K P и Mn, некоторые редкоземельные элементы и благородные металлы в небольших количествах.

В составе золы-уноса Кировских ТЭЦ содержание магнитных частиц не превышает 1,5-1,6 % мас, что отличается от среднестатистического уровня (от 3 до 16 % мас.).

Изученные характеристики позволяют предположить, что наиболее перспективным способом утилизации золы-уноса является извлечение из нее ценных компонентов (микросфер, драгоценных и редкоземельных металлов) с по-

следующим их использованием в различных сферах промышленности и народного хозяйства. Оставшийся после извлечения ценных компонентов осадок, может использоваться в строительстве и дорожном хозяйстве в качестве вяжущего и др.

Список литературы

1. Вся правда о золе Вишневский А.А. [Текст]/ А.А. Вишневский и др.// Применение изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения: сб. докладов IV научно-практического семинара, 5 декабря 2012 г. Екатеринбург, 2012. С. 17-28.

2 Адеева Л. Н., Борбат В.Ф. Зола ТЭС – перспективное сырье для промышленности// Вестник Омского университета, 2009. № 2. С. 141-152.

3 Зырянов В. В., Зырянов Д. В. Зола-уноса – техногенное сырье: учеб. М.: ИИЦ «Маска», 2009. 319 с.

Применение PLC-технологии для автоматизации жилого дома

Цвяк В.В.[a], Вахрушев В.Ю.[b]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
email: tvvrsk@mail.ru[a], vahrushev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Анализируется возможность передачи данных и сигналов через силовую сеть в жилом многоквартирном доме: телевидение, телефония, охранная сигнализация, управление и другие информационные направления. За основу приняты существующие информационные системы с использованием PLC-технологий, применяемые в энергетике. Предложена модель устройства, осуществляющего гальваническую развязку, защищающую аппаратную часть от силовых линий, и передающего модулированный сигнал. Использование результатов исследования позволяет получить экономический эффект, так как в этом случае не потребуется прокладывать дорогостоящие информационные каналы с применением витой пары или оптического волокна. Рассмотрены варианты высокочастотных заградителей.

Ключевые слова: информационный канал, линия электропередач, гальваническая развязка, модулированный сигнал.

Передача данных по силовым сетям – достаточно новое направление в области создания информационных каналов для автоматики и телемеханики. Еще на раннем этапе развития высоковольтных электрических сетей появилась необходимость обмена данными между энергетическими узлами. Прокладывание информационных каналов для управления и мониторинга параллельно силовым сетям зачастую связано с большими финансовыми затратами.

Идея передачи данных и сигналов по силовым электрическим сетям зародилась в начале двадцатого века [Наинг Лин Зо, с.13]. До этого в 1838 году англичанин Эдуард Дэви предложил концепцию, позволяющую дистанционно измерять уровень батарей, находящихся в большом расстоянии от телеграфной системы между Лондоном и Ливерпулем. В 30-х годах в СССР и Германии проводились исследования и эксперименты по использованию силовых каналов для передачи сигналов. В 1950 году были апробированы первые PLC системы, используемые в средне-и низковольтных электрических сетях.

В энергетике широко применяется передача диспетчерской информации по кабелям линий электропередач. Основной особенностью технологии является частотное разделение сигнала, где высокоскоростной поток делится на несколько низкоскоростных потоков данных, имеющих свою поднесущую частоту для каждого из них с последующим слиянием в один поток сигнала. Аналоговый сигнал накладывается поверх переменного тока стандартной частоты, которая составляет 50 - 60 гц.

Актуальность реализации данной задачи была обусловлена изучением передачи сигнала через силовые сети и провода. В технологии отсутствует необходимость прокладки дополнительных кабелей. Это очень удобно в отдаленных районах нашей страны, где присутствует только электричество. Простота монтажа в различных помещениях, имеющих только электропроводку, выводит данный способ передачи данных и сигналов в один ряд с аналогичными системами. Построение системы так называемого «Умного дома» тоже возможно с помощью домашней силовой линии. Данная технология достаточно новая в мире автоматизации и управления. До этого она применялась только в энергетике.

Планируемая реализация подразумевает построение автоматизированной системы мониторинга и управления многоквартирным домом с использованием силовой сети здания в качестве коммуникационной среды.

Целью работы является исследование и разработка методов передачи данных по силовым электрическим сетям для использования этой технологии при построении информационно-управляющей системы «Умного дома» и АСУТП.

Основные задачи:

- автоматизация процессов жизнедеятельности в здании;
- мониторинг всех технологических параметров;
- контроль всех инженерных систем «Умного дома»;
- отправка данных в соответствующие службы;
- мониторинг технологического оборудования;

- управление технологическими объектами.

Главные экономические предпосылки построения данной системы - экономия финансовых средств на прокладке коммуникационных линий и создание оборудования, способного передавать сигналы и данные по электрическим силовым сетям.

Научная составляющая заключается в исследовании передачи сигналов через силовые электрические сети, которые являются агрессивной средой, содержащие помехи и шумы. Предложена модель устройства, осуществляющего гальваническую развязку, защищающую аппаратную часть от силовых линий, и передающего модулированный сигнал, рис.1.

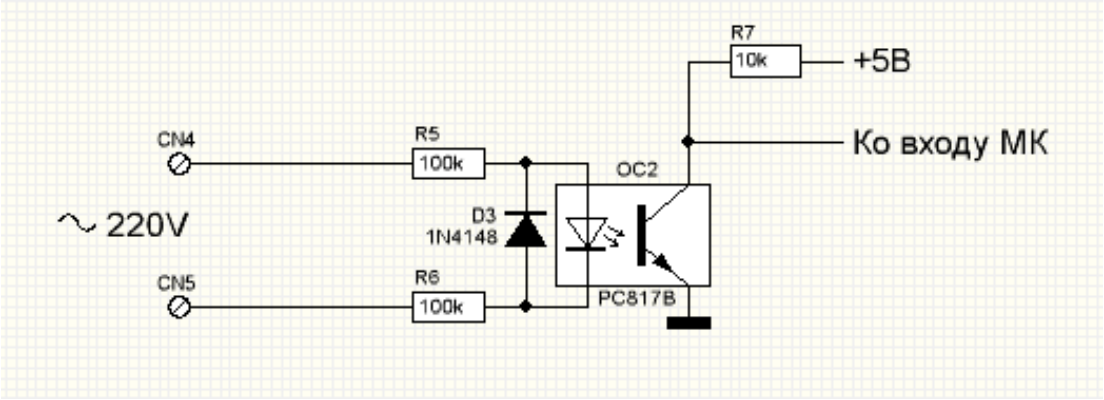


Рисунок 1. Гальваническая развязка с силовой частью

Использование уже существующих коммуникационных структур позволит сэкономить финансовые средства, так как в этом случае не потребуется прокладывать дорогостоящие информационные каналы с применением витой пары или оптического волокна.

Силовые электрические линии используются в электроэнергетике для передачи данных и сигналов телемеханики и ВЧ-связи отдаленным районам Российской Федерации, до которых осуществлять прокладку других видов связи довольно дорого. Приемники и передатчики устанавливаются по концам линии электропередач на территориях подстанций. По обоим концам ЛЭП устанавливается высокочастотные заградители, которые представляют собой электротехнические устройства, устанавливаемые в разрыв фазного провода линии, и обладающие высоким сопротивлением на частоте канала связи и низким сопротивлением на промышленной частоте 50 Герц.

Высокочастотный заградитель - это высокочастотный фильтр, ослабляющий или исключающий шунтирующее действиешин подстанции на линейный тракт канала связи. Он состоит из силовой катушки индуктивности с сердечником, с подключенным параллельно катушке элементом настройки и защитного устройства.

ВЧ-заградители предотвращают потери высокочастотного сигнала на шинах подстанций и блокируют ВЧ-сигналы от других источников, работающих с близкими частотами на соседних линиях. Их можно использовать для создания высокочастотных каналов по высоковольтным линиям электропередач в целях передачи сигналов телефонной связи, противоаварийной автоматики, телемеханики, организации работ АСКУЭ, релейной защиты, промодулированных высокой частотой по фазовому проводу.

PLC-технология используется для нужд подстанций и электростанций, а также используется оперативными выездными бригадами для определения места повреждения высоковольтных трасс и для анализа ледообразования на линиях электропередач.

Система управления многоквартирным зданием, реализованная с помощью использования силовых сетей, позволяет снизить затраты на монтажные работы по прокладке коммуникационных структур.

Для управления инженерными подсистемами в современном многоквартирном доме используются информационно-управляющие системы, которые получили название «Умный дом». К основным инженерным подсистемам «Умного дома» относятся:

- водоснабжение;
- отопление;
- электроснабжение;
- вентиляция;
- климатические системы;
- системы учёта;
- слаботочные сети;

- лифтовое оборудование;
- газоснабжение.

Главной проблемой в современном жилом многоквартирном доме является отсутствие средств контроля и учета параметров жизненно важных ресурсов.

Контроль параметров и управление системами позволит осуществлять регулирование, мониторинг и учет потребления инженерными системами здания.

Существует необходимость подобрать подходящий метод передачи в качестве надежного средства коммуникации. Целый ряд схем модуляции может использоваться при передаче в силовых электрических линиях, чаще всего в таких линиях используются мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Цифровая схема модуляции использует большое количество расположенных рядом ортогональных поднесущих частот, где любая из них проходит модуляцию по обычной схеме формирования сигнала на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных. Сигналы формируются с применением обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). Преимуществом этого вида модуляции является способность уменьшить влияние некоторых негативных факторов, присущих рассматриваемым каналам связи, на пример: затухание в длинных линиях, узкополосные помехи, частотно избирательное затухание и другие.

Основные схемы модуляции - это мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), двоичная фазовая манипуляция (BPSK), частотная манипуляция (FSK), распространение-FSK (S-FSK) и собственные схемы (на пример дифференциально-кодовая модуляция (DCSK) от Yitran). Как и в аналоговых схемах, всё сводится к изменению трёх параметров: частоты, фазы и амплитуды, за исключением того, что параметры меняются скачками. Такого рода модуляцию называют «манипуляцией» (англ. shiftkey). Схемы амплитудной (ASK), частотной (FSK) и фазовой (PSK) манипуляций

Как и в аналоговых схемах, всё сводится к изменению трёх параметров: частоты, фазы и амплитуды, за исключением того, что параметры меняются скачками. Такого рода модуляцию называют «манипуляцией» (англ. shiftkey).

Схемы амплитудной (ASK), частотной (FSK) и фазовой (PSK) манипуляций представлены на рис. 2.

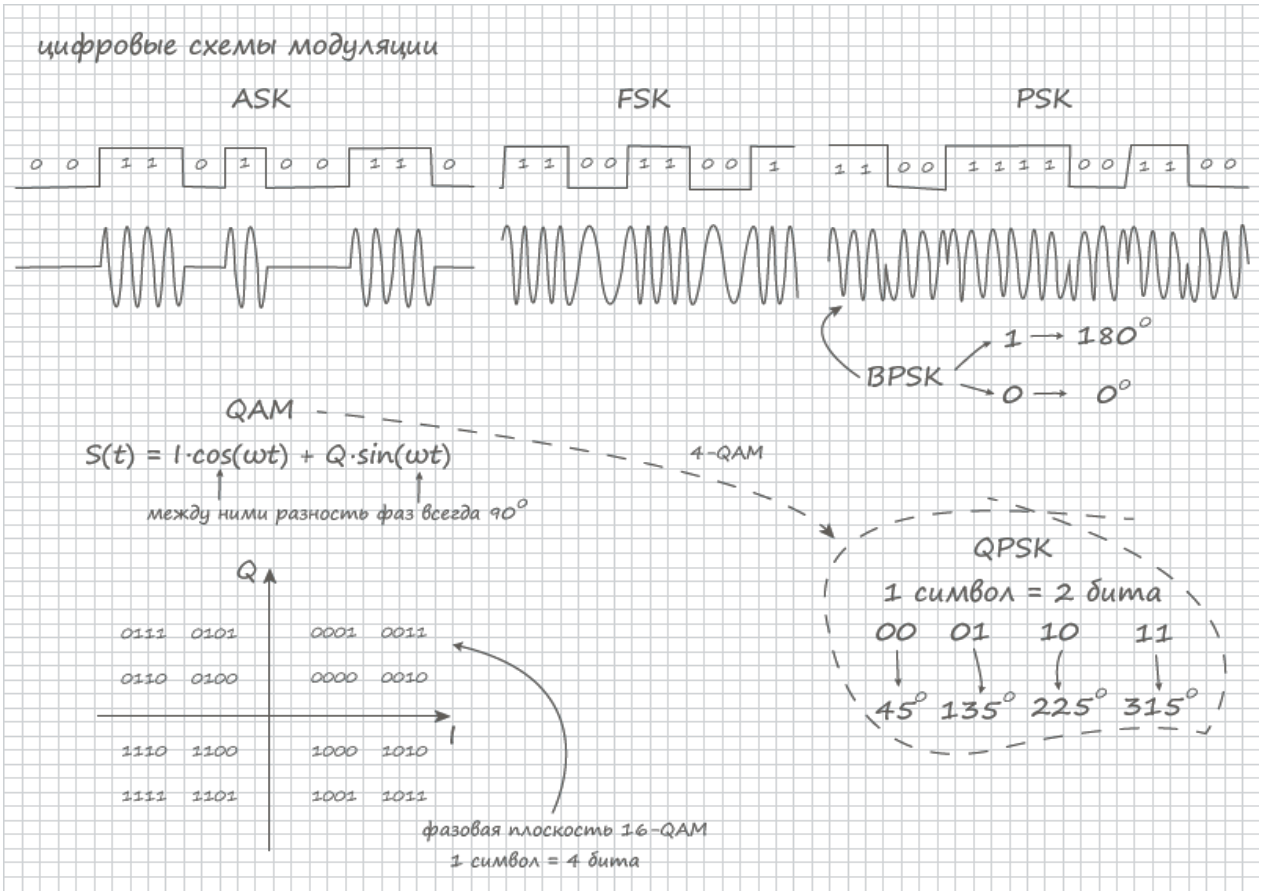


Рисунок 2. Цифровые схемы модуляции

В табл. 1 приведено сравнение основных схем модуляции BPSK, FSK, SFSK и OFDM по двум параметрам: эффективность использования полосы частот и сложности (стоимость).

Таблица 1

Сравнение схем модуляции

Схемы модуляции	Эффективность использования полосы частот	Сложность
BPSK	средняя	низкая
FSK	средняя	низкая
SFSK	низкая	средняя
OFDM	высокая	высокая

OFDM- цифровая схема модуляции, использующая большое количество расположенных рядом ортогональных поднесущих, где любая из поднесущих проходит модуляцию по обычной схеме моделирования на низкой символьной скорости, при этом сохраняя общую скорость передачи данных. Сигналы полу-

чаются с применением обратного быстрого преобразования Фурье. Преимуществом данного вида модуляции является способность противостоять сложным условиям в канале связи, к примеру, бороться с затуханием в длинных проводниках, узкополосными помехами и частотно избирательные затуханием.

В табл. 2 приведён сравнительный анализ узкополосных и широкополосных каналов передачи информации.

Таблица 2

Сравнение узкополосных и широкополосных каналов

Параметр	Узкополосный	Широкополосный
Скорость передачи данных	До 200 КБ/с	Более 1 Мбит/с
Частота	До 500 кГц	Более 2 МГц
Модуляция	FSK, S-FSK, BPSK, SS, OFDM	OFDM
Применения	АСУТП, АСКУЭ, СКУД, ОПС (Охранно-пожарная система), умный дом, различные виды диспетчеризации.	Построение локальных сетей, телефонии, видеонаблюдения, доступа в интернет, комплексных систем безопасности.

Сигнал OFDM – сумма нескольких ортогональных поднесущих, на каждой из которых передаваемые на основной частоте данные независимо модулируются с помощью одного из типов модуляции (BPSK, QPSK, 8-PSK, QAM). Далее этим суммарным сигналом модулируется радиочастота.Основным преимуществом OFDM по сравнению со схемой с одной несущей является её способность противостоять сложным условиям в канале.

Разрабатываемое устройство должно осуществлять безопасную гальваническую развязку, защищающую сигналы от силового напряжения, производить фильтрацию низких частот в пределах от 50 Гц, усиливать и модулировать по определенной схеме сигнал перед отправлением в сеть. Это может быть плата расширения для промышленного контроллера или модема.

Для обхода автоматических выключателей в жилом доме может быть использован высокочастотный конденсатор, или оптрон, пропускающий сигнал в обе стороны.

Список сокращений

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

АСКУЭ – автоматизированная система контроля учета электроэнергии

СКУД – система контроля управления доступом

ОПС – охранно-пожарная сигнализация

OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing

BPSK – Binary Phase Shift Keying

FSK – Frequency Shift Keying

SFSK – SpreadFrequency Shift Keying

МКД – многоквартирныйдом

МК – микроконтроллер

PLC – Power line communication

ВЧ – высокочастотная

Главным неоспоримым преимуществом данной технологии является экономия финансовых средств на прокладке коммуникационных структур, которая для многих зданий и сооружений может являться опасной ввиду их большого срока эксплуатации. При реализации данного проекта подразумевается использование только электросиловой части здания, с установкой оконечных устройств. Технико-монтажные работы будут выполнены по минимуму, что позволит сохранить стены объекта от перфорирования и разрушения.

Список литературы

1. Наинг Лин Зо. Исследование и разработка методов передачи данных в системах управления технологическими процессами с использованием PLCсети: диссертация на соискание ученой степени кандидата техн наук: 05.13.06. Москва, 2015. 132с.

Программные продукты Нанософт в BIM проектировании

Чаганов А.Б.[a], Куклина М.Г.[b]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства[a]
магистрант кафедры строительного производства[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: chabpilot@yandex.ru[a], mariya.kukluna.95@mail.ru[b]

Аннотация: BIM (Building Information Modeling) – это способ проектирования, применяемый к новому строительству или реконструкции. Он предполагает разработку единой трехмерной параметрической модели со всем оборудованием и сетями, содержащей всю информацию о строящемся объекте – стоимость используемых материалов, точное их строительство, их поставщики, сроки по этапам и т. д. Инженерные сети и подключаемое оборудование соединены в одну модель, что допускает устранить недочеты при прокладке сетей и достигнуть точности еще на начальном этапе проектирования.

Популярность BIM-проектирования увеличивается с каждым годом. На сегодняшний день уже никто из профессионалов строительной отрасли не сможет отрицать необходимость технологий информационного моделирования, колоссально увеличивающих производительность и обеспечивающих правильную координацию рабочего процесса. Обмен данными на уровне моделей увеличивает взаимодействие всех разделов проектирования на существенно новом уровне. Подход Open BIM допускает архитекторам и инженерам выбирать программные продукты, приемлемые для решения поставленных задач, и не ограничивать себя возможностями одного приложения.

Ключевые слова: трехмерная модель, информационное моделирование, модель.

Компания «Нанософт», созданная в 2008 году, ориентируется на инновационные методы разработки и распространения программного обеспечения. Многие из команды «Нанософт» – это люди, стоявшие у истоков формирования САПР в России. Их идеи успешно реализованы во многих проектах.

«Нанософт» – это не просто сообщество разработчиков программного обеспечения, это попытка сделать САПР:

- массово-модульным, то есть рассчитанным на широкий круг узкопрофильных специалистов;
- полностью российским и специально разработанным под требования отечественных стандартов;
- максимально приемлемым по стоимости использования и внедрения;

• простым и удобным в использовании, требующим минимальных аппаратных ресурсов.

Разработки «Нанософт» основываются на открытых и доступных технологиях, не только позволяющих работать максимально широкому кругу специалистов, но и предоставляющих возможность адаптировать решения, написанные на открытом коде, в соответствии с требованиями предприятий. Технологии не замыкаются на одной платформе – они полностью совместимы с самыми распространенными САПР-решениями, представленными на российском рынке. Основной принцип развития модулей – ориентация на практические задачи пользователя.

АО «СиСофт» является авторизованным дилером ЗАО «Нанософт» по информационно-поисковой системе NormaCS. Имеет право распространять программный продукт, оказывать услуги по его установке, внедрению и сопровождению, включая консультационные услуги на территории Российской Федерации.

Обзор популярных в нашей стране западных BIM-решений и «что можно предложить из BIM для каждой специальности».

ArchiCAD – BIM-решение от компании GRAPHISOFT

Начнем с одного из самых популярных BIM-решений среди архитекторов – ArchiCAD. Даже из названия понятно, что основная область применения продукта – архитектура. Чертежи раздела – «АР» (архитектурные решения) и «АИ» (интерьеры). В ArchiCAD есть и универсальные инструменты моделирования, и инструменты оформления-выпуска рабочей документации, и развитые средства импорта-экспорта данных, и визуализация, и много-много всего, что необходимо архитектору для каждодневной работы. В рамках организации существует ряд работ, связанных с согласованиями, оформлением записок, работой с нормативно-технической документацией, вряд ли эффективность всех этих работ достижима на 100%. Но 60-90% – достаточно реалистичный процент. При этом, если архитектор сконцентрирован на чистой архитектуре (частная практика), показатель будет приближаться к 90%, а если занимается архитектурой в рам-

ках отдела в проектной организации, то данные могут несколько снижаться из-за более широкого круга решаемых задач: специализация по визуализации, проведение дополнительных расчетов, макетирование, оформление таблиц и т.п.

В ArchiCAD можно выполнять другие разделы, но слишком трудозатратно: несмотря на то что инструменты трехмерного моделирования и оформления рабочей документации продукта достаточно универсальны, выполнять другие разделы с помощью ArchiCAD – это минимум автоматизации – максимум ручного труда. Лучше поискать более специализированные под раздел решения.

Tekla Structures – BIM-решение для конструкторов

Одно из самых мощных (и дорогих) строительных решений – это Tekla Structures. Он превосходно решает задачи, связанные с металлоконструкциями, несколько хуже – с железобетонными конструкциями (данный раздел находится в активной разработке) и вообще не предназначен для проектирования деревянных конструкций. Отличает продукт возможность работать с проектами больших размеров (детализированный проект металлической градирни в одном файле – стандартные объемы для Tekla), великолепная база типовых узлов и инструменты создания собственных типовых решений, средства компоновки и выпуска документации, интеграция со станками с ЧПУ и огромное число автоматизированных функций, «заточенных» под задачи конструкторов. Но Tekla Structures не занимается прочностными расчетами, сконцентрировавшись на построении физической модели проекта, поэтому сократим способность решать задачи проектировщика до 20%. И, конечно же, продукт не претендует на смежные отрасли, например, архитектурную часть в нем выполнять не имеет смысла: по аналогии с ArchiCAD – «минимум автоматизации, максимум ручного труда».

MagiCAD – инженерное решение

Еще одно популярное решение на российском рынке – это инструмент для инженеров MagiCAD. Он позволяет строить трехмерную модель, производить инженерные расчеты, собирать спецификации и получать отличные ре-

зультаты в кратчайшие сроки. Продукт состоит из модулей, которые закрывают многие инженерные разделы, но наибольшей популярностью у инженеров пользуются модули, связанные с отоплением, вентиляцией и кондиционированием – в этих разделах степень удовлетворения может достигать 90%. Кроме того, данным решением можно закрыть проектирование наружных сетей (тепло-, газ-), водоснабжение (в меньшей степени). К сожалению, на сегодняшний момент проводная часть (электрика, телефония, Интернет, системы доступа и т.п.) реализована в разы хуже, поэтому на графике ограничается применение продукта лишь соответствующими разделами.

Минусы MagiCAD заключаются в высокой цене, невысокой привязкой к российским стандартам оформления и необходимостью создания полноценной трехмерной модели на самых ранних этапах проектирования (это зачастую требует существенного переобучения инженеров, которые привыкли начинать с проработки принципиальных схем инженерной системы). Но самое главное: MagiCAD базируется на сторонних платформах (AutoCAD и Revit), из-за чего некоторые аналитики исключают MagiCAD из состава BIM-решений. Этот фактор понижает степень удовлетворения решения на 10-20% – вся оформительская часть будет выполняться инструментами AutoCAD; MagiCAD предоставит выверенные автоматически обновляемые заготовки видов.

Revit – BIM-решение от компании Autodesk

Начнем эту часть анализа с семейства Revit от компании Autodesk, которая и ввела в наш лексикон маркетинговый термин «BIM». Появился Revit в 2004 году и некоторое время поставлялся в трех отдельных вариантах (Architecture, Structure, MEP). Сейчас это одно решение с различными настройками в составе комплекта Building Design Suite. Оно конкурирует с перечисленными выше BIM-решениями, позиционируясь как единое решение от одного поставщика. Но в анализе мы уйдем от умелого маркетингового хода компании Autodesk («Revit – BIM-инструмент для всех») и проанализируем его с точки зрения привязки к разделам проекта.

Самая сильная сторона Revit на данный момент – это строительные конструкции. В продукте применяется ряд интересных технологий, которые позволяют построить аналитическую модель, совмещенную с физической. Кроме того, реализованы инструменты как для проектирования металлоконструкций (КМ), так и для железобетонных изделий (армирование, сборный ЖБ). Но, к сожалению, так же, как и в Tekla Structures, в Revit нельзя закрыть расчетную задачу. И хотя из года в год производятся разной степени успешности попытки интегрировать Revit с расчетными программами (SCAD, Лира, Robot, SOFiSTiK), стабильно работающего решения «из коробки» до сих пор нет. Поэтому процент удовлетворения продуктом понижается на 20%.

Главная особенность Revit заключается в том, что в нем практически нет 2D-редактора: подразумевается, что вся документация автоматически строится из 3D-модели. К сожалению, на практике необходимость проработки 2D-видов остается (оформление рабочей документации, узлов, типовых решений, немоделируемых участков и т.д.), а наличие качественного 2D-редактора для BIM-систем по-прежнему необходимо. Эта задача перекладывается на AutoCAD, поставляющийся в комплекте с Revit, то есть к базовому BIM-решению добавляется еще один программный продукт. Это понижает степень удовлетворения от Revit по всем разделам процентов на 10-20% (как и в случае с MagiCAD). Таким образом Revit оценивается в 30-50%.

Следующий по функциональности раздел Revit – это архитектурная часть. Очень интересно реализован механизм построения концептуальных моделей, моделирования свободных форм и параметрического моделирования. Это очень важный инструмент построения семейств, который теоретически позволяет не зависеть от библиотек объектов. Но в то же время в Revit все еще нет многих элементарных вещей типа четверти у проемов, мансардных, полувальмовых кровель, режима редактирования модели в перспективном виде, размещения одного вида на нескольких листах, возможности использовать определенный вид как подложку на листе для компоновки чертежа, что делает Revit менее удобным инструментом для архитекторов, чем, ArchiCAD. Степень

удовлетворения продуктом в 30-50%, учитывая слабый 2D-редактор и несовершеннный инструментарий по архитектуре.

Самый неразвитый раздел Revit – инженерная часть (MEP). Хотя этот инструмент и заявляется как решение для всех видов инженерных специальностей, собственно специализированные средства для инженеров Revit практически предлагает очень слабые. Да, функционал позволяет создать трехмерную модель какого-либо инженерного раздела, используя Revit как моделирующий инструмент, но эта модель совершенно не зависит от расчетов, влияние одних объектов на другие – минимально, а библиотека объектов достаточно слаба. Revit до сих пор не строит аксонометрические схемы (как все западные продукты он предлагает изометрию), принципиальные схемы, спецификации, формируемые по российским стандартам. Но самая принципиальная проблема, как ни удивительно, – точное соответствие трехмерной модели и представленных 2D-видов, что важно для архитектуры, но совершенно бесполезно для инженерии. Продемонстрируем на примере: посмотрев на батарею отопления – в реальности, к батарее подходят трубы, расположенные друг над другом. На плане, автоматически построенном BIM-системой, такие трубы сольются, а в действительности трубные системы должны вычерчиваться на плане двумя линиями, расположенными рядом. Налицо несоответствие трехмерной модели и чертежа. И таких моментов множество: розетки, щитки, кабеленесущие системы, задвижки и прочие объекты в плане и трехмерном пространстве располагаются в разных точках пространства. В AutoCAD MEP в свое время для этих целей использовались многовидовые блоки, но и они не решали проблему принципиально – большинство BIM-решений до сих пор с такими ситуациями справляется очень плохо.

Поэтому оценив степень удовлетворения от Revit в инженерной части не выше 10-20%: да, с помощью универсального моделирования Revit можно построить визуализационную трехмерную инженерную модель любого раздела и даже соединить ее с архитектурно-строительной моделью, но ценность этой модели примерно такая же, как для конструктора модель в 3ds Max или в

SketchUp. Скорее такую модель строят для того, чтобы проверить разработанный «классическим» способом проект, чем изначально проектировать инженерную часть в полном объеме в среде Revit.

Последнее является основным преимуществом платформы Revit: благодаря тому, что между архитектурной, конструкторской и инженерной моделью используется общий формат данных (формат RVT), появляется возможность без особых усилий собрать единую BIM-модель проекта и визуализировать ее с высокой степенью детализации. Часто этим пользуются для финальной проверки и согласования проекта. Нередко данную возможность Revit применяют для контроля проекта: на определенных этапах у подрядной организации можно заказать воссоздание трехмерной BIM-модели по текущей документации проекта и проверить на ней ошибки, допущенные при использовании классического проектирования. Эта услуга пользуется все большей популярностью на рынке. Наличие единой модели повышает доверие к проекту (с высокой долей вероятности проект проработан более точно), позволяет создавать огромное количество красивых презентационных материалов (которые активно используют, например, маркетологи Autodesk при продаже Revit).

Allplan – BIM-решение от компании Nemetschek

Следующим решением, уже давно представленным на российском рынке, является комплекс Allplan, который охватывает многие разделы и разрабатывается строительным концерном Nemetschek. Изначально это программное обеспечение было предназначено для проектирования несущих конструкций (скорее, для собственных нужд), но постепенно (путем поглощения смежных решений) расширилось на всю линейку AEC (архитектура, строительство, инженерия), объединившись в модульную структуру. Наибольший эффект от внедрения комплекса наблюдается при полном переходе на него организации, что требует существенных финансовых и организационных затрат: даже чертежников лучше переводить на двумерное черчение в рамках модулей Allplan, что на практике трудноисполнимо. Именно поэтому (а также по ряду иных факторов) широкого распространения программный продукт так и не получил. Тем не ме-

нее, в России есть организации, которые достигают неплохих результатов автоматизации, выстраивая в Allplan трехмерные интеллектуальные модели. Особенно впечатляющие результаты получаются в конструкторской части КЖ и КЖИ.

Сложно оценить Allplan по степени удовлетворения продукта в архитектуре или инженерии, но инженеры-конструкторы оценивают Allplan в 40-70% – так же как и Tekla, но со смещением в область проектирования железобетонных конструкций.

Перечислены все западные BIM-решения, популярные в России. Теперь зафиксируем результат анализа на графике (Рис. 1).

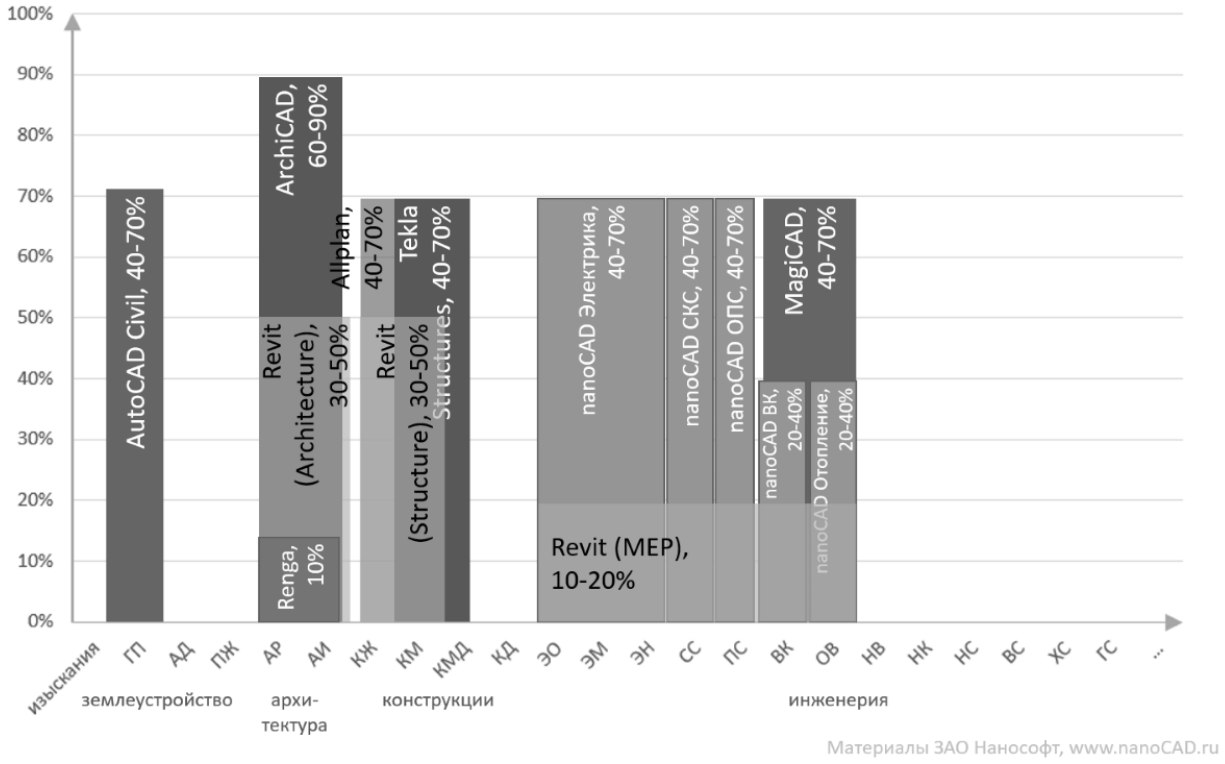


Рисунок 1. Западные BIM-решения, распространенные в РФ
и распределенные по разделам проекта

Список литературы

1. http://www.csoft.ru/about/vendors/nanosoft.html группа компаний CSoft
2. https://habrahabr.ru/company/nanosoft/blog/276587/ компания Нанософт

Анализ возможности улучшения физико-химических свойств смеси дизельного топлива с рапсовым маслом

Черемисинов П.Н.
преподаватель кафедры технологии машиностроения,
аспирант кафедры машин и технологии деревообработки
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: Pavlon-ch@mail.ru

Аннотация: В настоящей статье рассмотрены вязкостные отличия рапсового масла (РМ) и дизельного топлива (ДТ). Проведены расчеты показывающие, что содержание РМ в суммарном топливе не должно превышать 40%.

Для снижения кинематической вязкости смесей рапсового масла с дизельным топливом, в общем случае, возможна добавка депрессорных присадок на основе сополимеров этилена с полярными мономерами. Известно также, что хороший результат может быть получен при введении сложных виниловых эфиров, ненасыщенных кетонов, эфиров или амидов ненасыщенных кислот.

Целью настоящей работы являлось изучение свойств рапсового масла в сравнении с маслами нефтяного происхождения, выявление эффективности присадок различного функционального назначения для оценки возможности улучшения и расширения использования рапсового масла. Выведение формулы зависимости вязкости топлива от температуры. Подбор присадки, которая наиболее эффективно снижает вязкость смеси топлив.

Доказано, что применение депрессорных присадок значительно снижает кинематическую вязкость топлива на основе рапсового масла.

Выведена формула и получены данные зависимости вязкости ДТ, смеси ДТ с РМ от температуры.

Ключевые слова: Рапсовое масло, Дизельное топливо, Смесевое топливо, Кинематическая вязкость топлив, Дизель.

При применении рапсового масла необходимо гарантировать безотказную работу системы топливоподачи дизеля, как в теплое, так и в холодное время года.

Наибольшее влияние на процесс топливоподачи топлив с добавками рапсового масла может оказать его повышенная в сравнении с дизельным топливом кинематическая вязкость – свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Кинематическая вязкость является удельным коэффициентом внутреннего трения. Значение кинематической вязкости ДТ при 20 °С должно находиться в пределах 1,5…6,0

сСт [ГОСТ 305–2013, с. 4]. Вязкость рапсового масла на порядок выше этого показателя и при 40 °С составляет 34 сСт (при 20 ºС составляет 78 сСт).

К основным факторам, определяющим работоспособность системы топливоподачи, следует отнести:

- разрежение, создаваемое топливоподкачивающим насосом;

- наибольшее гидравлическое сопротивление системы.

Оценку работоспособности системы следует производить с учетом следующих условий:

- участок от бака до топливоподкачивающего насоса (всасывающая линия) работает в режиме разрежения и наиболее подвержен влиянию температуры окружающей среды;

- участок от топливоподкачивающего насоса до ТНВД работает в режиме избыточного давления и наибольшее влияние на работоспособность оказывает гидравлическое сопротивление тракта.

Согласно [Фомин Ю.Я., с.114], разрежение, создаваемое топливоподкачивающим насосом, равное 0,1 МПа, может быть определено по выражению:

$$H_{н} = \frac{128 \cdot \nu \cdot C_{ср} \cdot l \cdot 10^{-6}}{d \cdot 2g}, \quad (1)$$

где: ν – кинематическая вязкость, сСт:

$C_{ср}$ – средняя скорость топлива в системе, м/с;

l=2,5 м – длина топливопровода;

d=0,08 м – диаметр топливопровода;

g=9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Средняя скорость топлива в системе может быть определена, как:

$$C_{ср} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

где: Q = 0,005 м^3/с, расход топлива.

Подставляя выражение для скорости топлива в выражение (1), получим окончательно значение вязкости:

$$\nu = \frac{H_{н} \cdot \pi \cdot g \cdot d^3}{256 \times 10^{-6} \cdot Q \cdot l}. \quad (3)$$

Расчет по выражению (3) показал, что для дизеля 4ЧН 11,0/12,5 предельное значение вязкости составит ν = 49,2 сСт. Такую вязкость при t = 20 ºС имеет смесь из 65% рапсового масла и 35% дизельного топлива. Смеси с более высокой концентрацией рапсового масла не будут прокачиваться по всасывающей линии. Понижение температуры окружающего воздуха до t = 0 ºС вызовет рост вязкости суммарного топлива. Расчеты показывают, что в этом случае содержание рапсового масла в суммарном топливе не должно превышать 40%. Таким образом, из условий работоспособности всасывающей линии, без применения специальных средств, содержание рапсового масла в смесевом топливе следует ограничить на уровне 40…45% масс. На Рис. 1 показана зависимость вязкости от температуры.

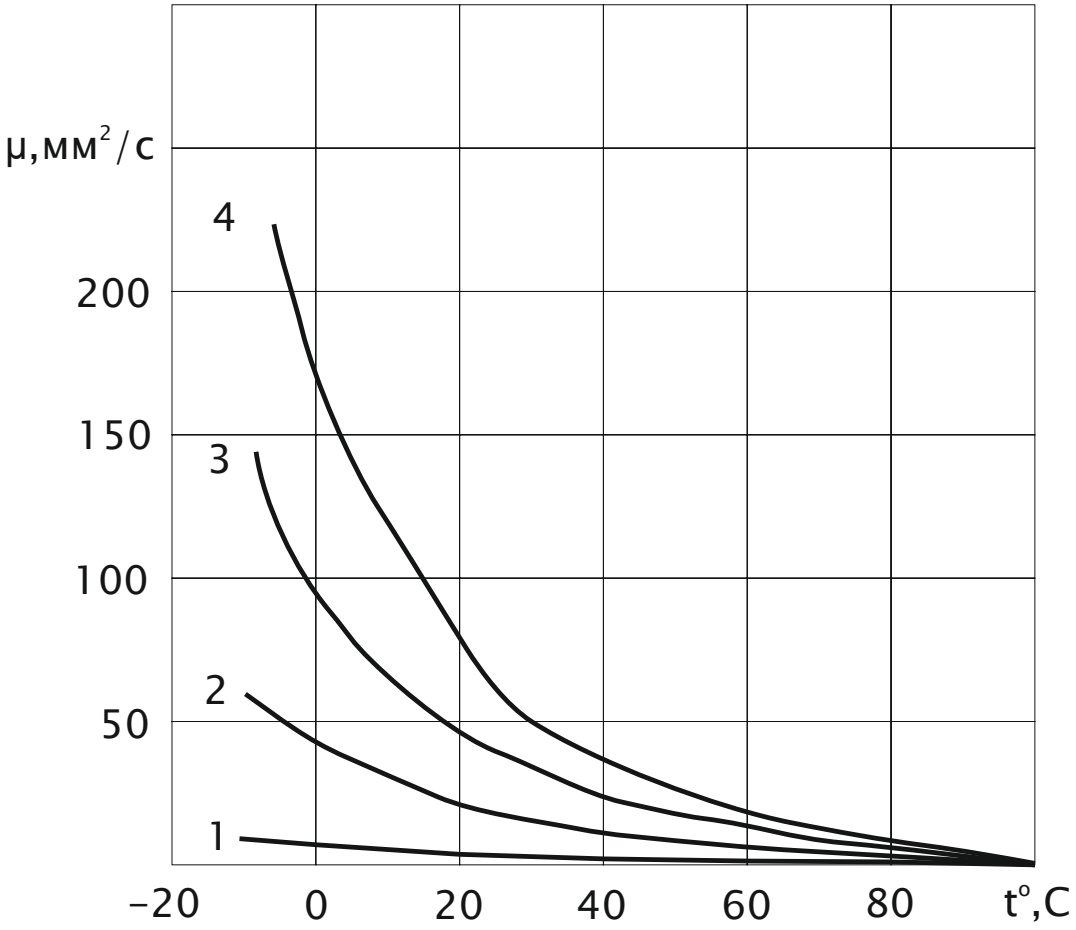


Рисунок 1. Зависимости вязкости от температуры:
1 – ДТ; 2 – 50%РМ+50%ДТ; 3 – 75%РМ+25%ДТ; 4 – РМ

Жидкие топлива нефтяного происхождения представляют собой смеси различных углеводородов и не могут быть выражены простыми химическими

формулами. Для таких топлив содержание в них отдельных элементов определяют путём химического анализа и обычно дают в массовых долях. Дизельные топлива содержат следующие группы углеводородов: парафиновые, нафтеновые, олефиновые, диеновые и ароматические. Рапсовое же масло по своему химическому строению представляет собой смесь триглицеринов с повышенной молекулярной массой и увеличенной длиной углеводородной цепи по сравнению с ДТ. От группового состава углеводородов и жирных кислот в этих видах топлива зависят все их свойства, а от свойств топлива, показатели работы дизеля [Семёнов В.Г, с. 29 – 34; Тютюнников Б.Н., с.448; M. Ziejewski, с.1 – 28].

Таблица 1

Состав рапсового масла

Наименование и обозначение жирной кислоты		Массовая доля в рапсовом масле, %	
		С массовой долей эруков кислоты до 5%	С массовой долей эруков кислоты более 5%
Тетрадекановая (миристиновая) $C_{14}H_{28}O_2$	$C_{14:0}$	До 0,3	-
Гексадекановая (пальмитиновая) $C_{16}H_{32}O_2$	$C_{16:0}$	2,5–6,5	1,0–6,5
Гексадеценовая (пальмитолеиновая) $C_{16}H_{30}O_2$	$C_{16:1}$	До 0,6	До 2,5
Октадекановая (стеариновая) $C_{18}H_{36}O_2$	$C_{18:1}$	0,8–2,5	До 2,5
Октадеценовая (олеиновая) $C_{18}H_{34}O_2$	$C_{18:1}$	50,0–65,0	7,5–60,0
Октадекадиеновая (линолевая) $C_{18}H_{32}O_2$	$C_{18:2}$	15,0–25,0	11,0–23,0
Октадекатриеновая (линоленовая) $C_{18}H_{30}O_2$	$C_{18:3}$	7,0–15,0	5,0–12,5
Эйкозановая (арахиновая) $C_{20}H_{40}O_2$	$C_{20:0}$	0,1–2,5	До 3,0
Эйкозеновая (гондолеиновая) $C_{20}H_{35}O_2$	$C_{20:1}$	0,1–4,0	3,5–6,0
Эйкозадиеновая $C_{20}H_{38}O_2$	$C_{20:2}$	До 1,0	0,5–1,0
Докозановая (бегеновая) $C_{22}H_{44}O_2$	$C_{22:0}$	До 1,0	0,6–2,5
Докозеновая (эруковая) $C_{22}H_{42}O_2$	$C_{22:1}$	До 5,0	Св. 5,0–до 60,0
Докозадиеновая $C_{22}H_{34}O_2$	$C_{22:2}$	До 0,5	0,6-2,5
Тетракозановая (лигноцериновая) $C_{24}H_{48}O_2$	$C_{24:0}$	До 0,2	До 2,0
Тетракозеновая (селахолевая) $C_{24}H_{46}O_2$	$C_{24:1}$	До 0,5	До 3,5

Положительным эффектом от повышения вязкости является улучшение смазывания плунжерных пар, увеличение их долговечности и снижение утечек через неплотности прецизионных пар, что способствует обеспечению давления впрыска топлива 17,5…20 МПа и выше. Но при этом увеличиваются нагрузки на детали ТНВД, ухудшается пропускная способность фильтров и возрастает гидродинамическое сопротивление трубопроводов. Существует ряд эмпириче-

ских формул для выражения зависимости вязкости от температуры [Марков В.А., с. 120]:

$$lg\frac{v_t}{v_{20}} = \frac{C}{t-20}, \quad (5)$$

$$v_t = \frac{1}{A+B\cdot t+C\cdot t^2}, \quad (6)$$

$$lgv_t = \frac{A}{t+92,8} + B, \quad (7)$$

где v_{20} – кинематическая вязкость топлива при 20 °С, мм^2 /с;

А, В, С – эмпирические коэффициенты;

t – температура топлива, °С.

Однако, используемые в формулах эмпирические коэффициенты А, В, С для различных топлив различны, что является их существенным недостатком.

В.Я. Колупаевым была предложена для расчёта зависимости вязкости от температуры формула без эмпирических коэффициентов [Грехов Л.В., с. 135; Марков В.А., с. 120]:

$$v_{t1} = v_{20} + (1,1\cdot v_{20} - 0,3)\cdot(1,3 - lgt) \quad (8)$$

Формула является наиболее универсальной и может быть использована для широкого диапазона топлив. Для дизельных топлив с v_t ≤4 мм^2/с в диапазоне температур 0…100°С погрешность расчёта не превышает 6%. Однако при добавлении в топливо высоковязких компонентов (например, 45% рапсового масла) формула даёт погрешность свыше 24%, что является недопустимым. На основании анализа проведенных исследований нами предложена формула для расчёта вязкости высоковязких смесевых топлив:

$$v_{t2} = v_{20} + (1,1\cdot v_{20} - 0,3)\cdot(1,3 - lgt) - (0,1172\cdot v_{20} - 0,5101)\cdot\sqrt[3]{\ln\left(\frac{t}{20}\right)} \quad (9)$$

Максимальная погрешность расчёта по формуле (9) составляет 9%, при этом температура смесевого топлива может находиться в пределах t=0…80°С, а концентрация РМ в топливе может составлять $К_{рм}$ =0...45%. Результаты расчёта по формулам (8 и 9) представлены в Табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения вязкости смесевых топлив на основе рапсового масла при различных температурах

Температура, °С	Дизельное топливо (ДТ)					55%ДТ+45%РМ				
	Опытное значение	Расчётный метод				Опытное значение	Расчётный метод			
		ν_{t1}	погрешность, %	ν_{t2}	погрешность,%		ν_{t1}	погрешность,%	ν_{t2}	погрешность,%
10	5,25	5,16	1,71	5,11	2,64	20,76	19,46	6,26	20,42	1,64
20	3,88	3,88	0	3,88	0	14,63	14,62	0,07	14,62	0,07
30	3,03	3,12	3,10	3,17	4,46	10,97	11,78	6,88	10,93	0,37
40	2,48	2,59	4,47	2,64	6,44	8,61	9,77	11,87	8,79	2,05
50	2,17	2,18	0,33	2,23	2,81	6,70	8,21	18,39	7,16	6,43
60	1,74	1,84	5,70	1,90	8,99	5,29	6,94	23,78	5,83	9,26
70	1,52	1,55	2,21	1,61	6,13	4,94	5,86	15,70	4,72	4,45
80	1,31	1,31	0,30	1,37	4,41	4,01	4,93	18,66	3,76	6,23

Результаты расчётов, приведенных в Табл. 2, свидетельствуют о том, что формула (8) может быть применима для расчёта вязкости ДТ, при этом максимальная погрешность составляет 5,7%, однако при расчёте смесевого топлива с концентрацией РМ 45% максимальная погрешность увеличивается до 24%. Предложенная формула (9) позволяет рассчитывать вязкость смесевых топлив с погрешностью до 10% в температурном диапазоне от 0…80°С.

Проведенный теоретический анализ показывает, что применение топлив с добавками рапсового масла без применения специальных мероприятий создает определенный риск с точки зрения повышенной кинематической вязкости. Снижение кинематической вязкости может быть достигнуто различными способами, такими как подогрев или получение метилового эфира растительного масла (МЭРМ) [Марков В.А., с. 296]. Минусом подогревания РМ является необходимость модернизации ТПА – установка подогревателя. Способ получения МЭРМ достаточно эффективен, но невыгоден с экономической точки зрения.

На мой взгляд, наиболее целесообразно снижение вязкости химическим путем – введением специальных присадок и добавок. В настоящее время в Рос-

сии и за рубежом применяется широкий спектр присадок к маслам и топливам, классифицируемых по основному свойству, как:

- атиокислительные;
- моюще-диспергирующие;
- депрессорные;
- вязкостно-температурные;
- противопенные;
- многофункциональные;
- другие.

В состав топлива входят низко и высокомолекулярные парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды представляя собой связнодисперсную систему. Большое влияние на вязкость оказывает кристаллообразование парафина при различных температурных и динамических условиях. Депрессорная присадка- жидкий реагент, который предназначен для улучшения реологических свойств нефтяных топлив. Молекулы присадки имеют длинные алкильные радикалы, которые встраиваются в парафиновые кристаллы углеводородов с самых ранних стадий образования зародышей. При этом полярные функциональные группы присадки тормозят объединение парафиновых углеводородов в структурную решетку. В процессе объемного действия молекулы депрессорной присадки формируют ассоциаты и мицеллы при температурах выше температуры ассоциатооразования молекул нормальных парафинов. Данные мицеллы содержат в своем составе полярные группы внутри ассоциата, а алифатические радикалы направлены в дисперсную среду. Это обстоятельство приводит к сольватации мицелл молекулами парафиновых углеводородов и способствует образованию аморфизированных структур [Ислямов И.Ш., с. 127].

Таким образом наиболее эффективными являются депрессорные присадки.

В настоящее время существует многообразие присадок отмеченного выше класса. Для проведения экспериментальных исследований был выбран ряд

присадок различных марок: «антигель ASTROhim» (№1), «супер антигель HG3427» (№2), «антигель Sapfire» (№3), «Diesel antigel YUKO» (№4).

Проведенный расчет вязкости смесевых топлив с добавками 25% и 45% рапсового масла и введением 5% выбранных присадок по формуле (9) показал следующее (Табл. 3).

Таблица 3

Расчетные значения вязкости смесевых топлив с депрессорными присадками

Температура, °С	Вязкость, мм^2/с							
	72,5%ДТ+22,5%РМ+5%ПР				52,5%ДТ+42,5%РМ+5%ПР			
	№1	№2	№3	№4	№1	№2	№3	№4
10	11,33	10,75	11,70	12,52	26,17	24,49	27,00	31,60
20	8,28	7,87	8,54	9,11	18,63	17,46	19,21	22,42
30	6,38	6,09	6,57	6,98	13,82	12,98	14,23	16,54
40	5,21	4,98	5,36	5,68	11,05	10,39	11,38	13,19
50	4,32	4,14	4,44	4,69	8,95	8,43	9,21	10,64
60	3,59	3,45	3,69	3,89	7,25	6,84	7,45	8,59
70	2,98	2,87	3,05	3,21	5,82	5,50	5,98	6,86
80	2,46	2,37	2,51	2,63	4,59	4,35	4,71	5,37

Таким образом, анализируя данные Табл. 3, видим, присадка «супер антигель HG3427» в объеме 5% дает наибольший результат по снижению вязкости и может быть выбрана для дальнейших исследований.

Тем не менее, результаты теоретических расчетов нуждаются в экспериментальной проверке.

Список литературы

1. ГОСТ 305–2013. Топливо дизельное. Технические условия. М., 2015. 4 с.
2. Фомин Ю.Я. Гидродинамический расчет топливных систем судовых дизелей. //Морской транспорт. М., 1959. 114 с.
3. Семёнов В.Г., Зинченко А.А. Альтернативные топлива растительного происхождения //Химия и технология топлив и масел. 2005. №1. С. 29–34.
4. Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.И., Гладкий Ф.Ф. и др. Химия жиров //Пищевая промышленность, М. 1974. 448 с.
5. Vegetable oils as a potential alternate fuel in direct injection diesel engines / M. Ziejewski, K.R. Kaufman // SAE Technical paper series. 1983. № 831359. P. 1–28.
6. Марков В.А., Козлов С.И. Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. М.: МГТУ, 2000. 296 с.

7. Грехов Л.В., Иващенко В.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов 2-е изд. М., 2005. 344 с.
8. Ислямов И.Ш. Использование полимерных присадок. // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2012. №2. 127 с.

Проблема раздельного сбора ТКО на примере города Кирова

Четверикова Е.Д.[a], Девятерикова С.В.[b], Земцова Е.А.[c]
студент группы РСПб-4501-01-00[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной и прикладной экологии[b]
старший преподаватель кафедры промышленной и прикладной экологии[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: lizachetverikova@mail.ru[a], usr01730@vyatsu.ru[b], ea_zemtsova@vyatsu.ru

Аннотация: Проблема утилизации отходов, в том числе твердых коммунальных, является для России серьезнейшей. С внесением изменений в федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 29.12.2014 №458-ФЗ ответственность за деятельность с отходами легла на субъекты Российской Федерации. Принятая в Кировской области территориальная схема обращения с отходами имеет ряд недостатков, в частности, не предусматривает раздельный сбор мусора в местах их образования, а также обращение с отходами high-tech. Тем не менее, население города Кирова в большинстве своем готово к раздельному сбору твердых коммунальных отходов и признает необходимость обучения правилам мусоросортировки. Авторами разработано интерактивное пособие, позволяющее в игровой форме обучиться правилам мусоросортировки. Проводится обучение жителей города Кирова.

Ключевые слова: Твердые коммунальные отходы, раздельный сбор.

В настоящее время актуальной проблемой России является высокая загрязненность территорий, находящихся вблизи городов, твердыми коммунальными отходами (ТКО) Они образуются в результате накоплений органических и неорганических материалов за счет деятельности организаций, промышленных предприятий, а также населения области.

Доля каждого объекта в создании ТКО различна. Например, население производит около ¼ объема отходов. В Кировской области на долю городского населения приходится 75-80 %, образующихся ТКО, которые не подвергаются переработке в полезные материальные ресурсы.

По состоянию на 01.11.2017 объектов по обработке, утилизации и обезвреживанию ТКО в Кировской области не имеется.

Морфологический состав ТКО по Кировской области специфичен вследствие невысокого уровня жизни населения (таблица 1).

Таблица 1

Морфологический состав ТКО по Кировской области (2000-2015)

Компонент ТБО	ТКО жилищного фонда, %	Среднее значение, %	ТКО общий, %	Среднее значение, %
Пищевые отходы	35-45	40	13-16	15
Бумага, картон	32 – 35	33	45-52	48
Дерево	1-2	2	3-5	3
Черный металл	3-4	4	3-4	4
Цветной металл	0,5-1,5	1	1-4	3
Текстиль	3-5	4	3-5	3
Кости	1-2	1	1-2	1
Стекло	2-3	3	1-2	2
Камни, штукатурка	0,5-1	1	2-3	2
Кожа, резина	0,5-1	1	1-2	2
Пластмасса	3-4	4	8-12	10
Прочее	1-2	1	2-3	2
Отсев (менее 15 мм)	5-7	5	5-7	5
		100		100

Как видно, в таблице не представлен крупногабаритный мусор, который можно классифицировать следующим образом.

1. КГМ-М: мебель бытовая, офисная, специальная (учебные заведения, спортивно-зрелищные учреждения, мебель производственного назначения и т.п.);

2. КГМ-Т: крупногабаритная техника потребительского и производственного назначения (холодильники, кондиционеры, стиральные машины, посудомоечные машины, кухонные комбайны, микроволновые печи, садовая мини-техника, насосные агрегаты, дачные мотор-генераторы, радиаторы отопительные, части авто- и мототранспортной техники);

3. КГМ-Э: электронный и технический (компьютеры, телевизоры, телефоны и телефонное оборудование, элементы автономного электропитания и т.п.).

На рисунке 1 представлена территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами на территории Кировской области.

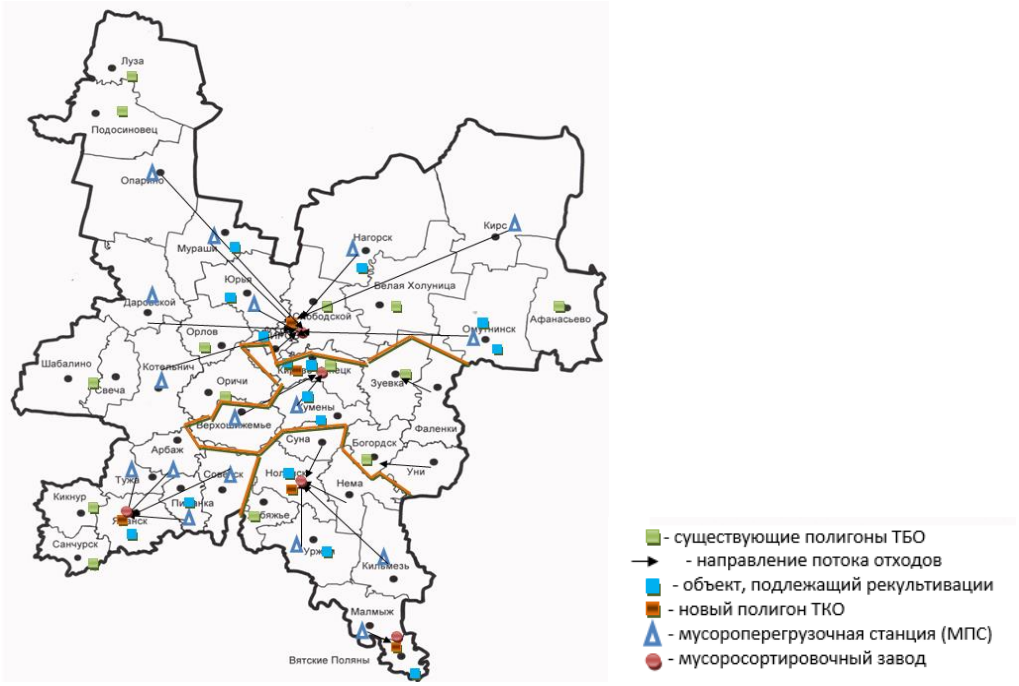


Рисунок 1. План территориальной схемы обращения с отходами,
в т.ч. с твердыми коммунальными отходами, на территории Кировской области до 2027 года

К концу 2027 года планируется создание:

- 5 мусоросортировочных заводов и полигонов ТКО (в Слободском, Яранском, Нолинском, Вятскополянском и Кирово-Чепецком районах);
- 17 мусороперегрузочных станций;
- ряда объектов по переработке отсортированных фракций ТКО.

В соответствии с федеральным законом №458-ФЗ от 29 декабря 2014 года отходы, образующиеся в ходе жизнедеятельности потребителей, должны скапливаться в контейнерах ТКО. Вблизи места проживания многоквартирных домов, на прилегающих территориях различных учреждений и организаций, а также в местах общественного пользования должны быть расположены контейнеры для накапливания отходов. Размещать отходы за пределами контейнеров запрещено. Площадка для сбора отходов должна быть открытой, с водонепроницаемым покрытием и, желательно, огражденной зелеными насаждениями.

Количество контейнеров выбирается, исходя из числа жителей и иных потребителей, пользующегося мусоросборниками, нормы накопления отходов, сроков хранения отходов.

Расчетный объем контейнеров для сбора отходов должен быть равен фактическому накоплению отходов в периоды, когда образование их наибольшее. Площадки для установки контейнеров должны быть удалены от жилых домов, детских учреждений, спортивных площадок и от мест отдыха населения на расстоянии не менее 20, но не более 100 м. Размер площадок должен быть рассчитан на установку необходимого числа контейнеров, но не более 5.

Необходимым условием хранения отходов в контейнерах является исключение возможности загнивания и разложения. В связи этим срок хранения в холодное время года (при температуре -5 °С и ниже) должен быть не более 3 суток, в теплое время (при плюсовой температуре – свыше +5 °С) –не более 1 суток (ежедневный вывоз). В каждом населенном пункте периодичность удаления ТКО согласовывается с местными учреждениями санитарно-эпидемиологической службы.

Наиболее перспективным вариантом, повышающим степень извлечения, а также последующее использование вторичных материальных ресурсов (ВМР) является раздельный сбор ТКО, который подразумевает предварительную сортировку в зависимости от его вида или происхождения. Разделение на фракции производится непосредственно потребителями, размещение производят в определенные контейнеры.

По данным Гринпис, лишь 2-3 % вторичного сырья удается извлечь из общей массы ТКО, если население их не сортирует, и до 30 % - если сортирует. В связи с этим, внедрение 17 мусороперегрузочных станций, как следует из плана территориальной схемы обращения с отходами на территории Кировской области до 2027 года, не решит проблему.

Основная концепция сортировки отходов достаточно проста: все отходы, которые подлежат утилизации, необходимо разделять ДО контейнера по видам, происхождению и используемым материалам. Далее их следует поместить в мусорные баки, которые для удобства населения окрашены в разные цвета. Цвет баков зависит от регионального оператора по обращению с отходами.

Например, в Кировской области синий контейнер предназначен для сбора бумаги, газет, книг, картона без полиэтиленовой пленки на поверхности, бумажной упаковки, листовок, буклетов, за исключением салфеток, подложек от яиц, бумажных полотенец, кассовых чеков, одноразовой посуды из бумаги, грязной, замасленной бумаги, пачек от сигарет.

В желтый контейнер помещают стеклянные отходы (за исключением тары, которая содержала масла), а также пластик с маркировкой 1, 2, 4, 6.

В зеленый контейнер необходимо выбрасывать пищевые отходы.

Нами составлен и проведен опрос жителей города Кирова и Кировской области на предмет их готовности к раздельному сбору твердых коммунальных отходов.

В опросе, проведенном с помощью соцсетей, приняло участие 120 респондентов разного пола, возраста, места проживания. Респонденты отвечали на вопросы о готовности сортировать ТКО, целесообразности сортировки ТКО, необходимости получения дополнительных знаний о правильной сортировке ТКО.

93,3 % респондентов составила возрастная категория до 35 лет. Это важно, т.к., по сути, это – будущее города и страны. ¾ - это женщины, что также является хорошим признаком, т.к. именно женщины в большинстве своем ведут домашнее хозяйство и ориентируют свою семью на те или иные действия по дому. 77,7 % респондентов проживают в городе, что также важно, т.к. программа раздельного сбора ТКО рассчитана, прежде всего, на город (в сельских поселениях действия населения с ТКО должны быть другими).

64,2 % респондентов (рис.2) оказались готовы к сортировке ТКО. Это неплохой показатель, т.к., когда процесс будет запущен в полную силу, остальная часть населения также, по примеру других, подключится. Не следует забывать и о Федеральном законе от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 28.12.2016) "Об отходах производства и потребления", согласно которому “9. Расходы на плату за негативное воздействие на окружающую среду при размещении твердых коммунальных отходов учитываются при установлении тарифов…”, т.е. большая и

меньшая сумма в квитанциях у населения будет зависеть от того, сортирует семья ТКО или нет.

На данный момент времени тариф складывается из количества поездок мусоровоза. После введения в действие системы раздельного сбора ТКО отсортированная их часть, в худшем случае, будет вывозиться региональным оператором по обращению с отходами бесплатно, в лучшем же – жители получат за них деньги, о чем свидетельствует опыт некоторых регионов России, когда на полученные от продажи вторсырья деньги жители обустроили детские площадки. Кроме того, общее количество отходов, вывозимое платно, уменьшится.



Рисунок 2. О готовности населения сортировать ТКО

Большая часть опрошенных сортируют ТКО более 1 года.

Следует отметить факт, что практически все опрошенные (95 %) признают необходимость сортировки ТКО (рис.3).

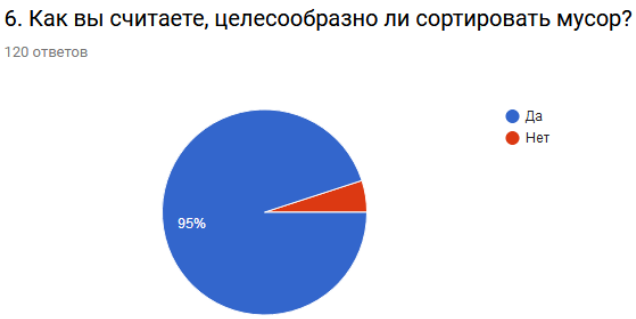


Рисунок 3. Отзывы о целесообразности сортировки ТКО

Тем не менее, баки для раздельного сбора ТКО наличествуют только в областном центре, причем не в каждом районе города.

5 % респондентов считают, что ТКО сортировать нецелесообразно, т.к. это сложно и, кроме того, переработкой никто не занимается (рис.4). Население видит, что отсортированные в разные баки ТКО мусоровоз вывозит вместе.

Опрос показал также понимание жителями необходимости получения дополнительных знаний о правилах сортировки ТКО.

В связи с этим нами разработано интерактивное пособие в форме игры, обучающее население правилам сортировки ТКО.

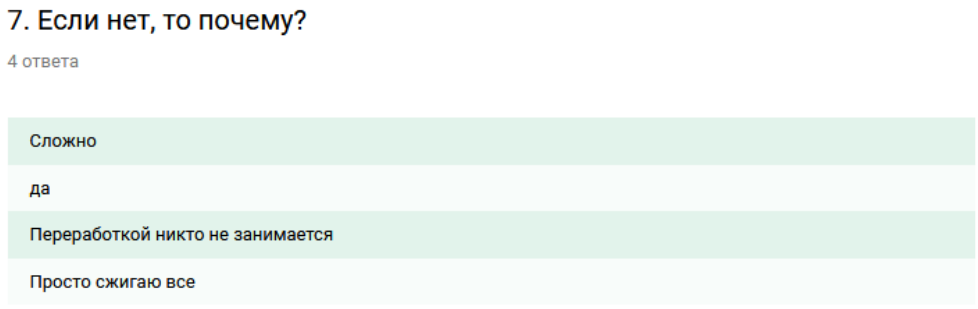


Рисунок 4. Причины отсутствия сортировки ТКО жителями

С помощью данного пособия регулярно проводится обучение жителей города Кирова и области.

Моделирование системы с кодовым разделением каналов в среде LabVIEW

Чупраков Д.В. [a], Трубин И.С [b]. Прозоров Д.Е. [c]
магистрант кафедры радиоэлектронных средств [a]
доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных средств [b]
доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных средств [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: chuprakovden@yndex.ru [a], i_trubin@mail.ru [b], prozorov.de@gmail.com [c]

Аннотация: Цель работы: смоделировать работу цифровой системы связи с кодовым разделением каналов (CDMA) в среде LabVIEW и проверить работоспособность построенной модели при приеме реального сигнала. Для достижения поставленной цели с использованием библиотеки Modulation Toolkit среды LabVIEW реализованы модели передатчика и приемника CDMA стандартов IS-95 и WCDMA. Модели реализуют все основные операции, выполняемые над сигналом, в соответствие с функциональной моделью передачи данных с кодовым разделением канала. При разработке отдельных модулей моделей основное внимание уделялось быстродействию и совместимостью с физическим интерфейсом платформы SDR (Soft Defined Radio, программно- определяемого радио) NI USRP. Проверка работоспособности разработанных моделей осуществлялась с использованием программно-конфигурируемых приемопередатчиков USRP-2920. Сетевой уровень системы заменен источником случайных битов, формирующих аналог речевых кадров. Для управления моделью приемника в LabVIEW был разработан виртуальный прибор с программным интерфейсом. С помощью моделирования в LabVIEW получена зависимость вероятности появления искаженных информационных кадров на выходе декодера Витерби FER (Frame Error Ratio) от отношения сигнал/ шум (SNR) на входе декодера. Модель приемника WCDMA позволяет выделить каналы CPICH и CCPCH в реальном сигнале, принятом со спутника.

Ключевые слова: CDMA, моделирование, канальный и физический уровни, SDR, LabVIEW.

Введение

Технология передачи информации с кодовым разделением каналов CDMA (Code Division Multiple Access) активно развивается и используется с 50-х годов двадцатого века время в системах военной и гражданской связи. К настоящему времени существует несколько стандартов CDMA, реализуемых в системах радиосвязи: IS-95 (CDMAOne); WCDMA; CDMA2000. Широкое развитие систем связи с кодовым разделением каналов длительное время сдерживала сложность программной и аппаратной реализации необходимых матема-

тических алгоритмов обработки сигналов. Появление технологии SDR (Software-defined radio) существенно упростило реализацию и внедрения новых технологий цифровой обработки сигнала. В SDR появилась возможность создавать различные радиотехнические системы с помощью программно-конфигурируемых приемопередатчиков. Это позволяет разработчикам использовать достаточно сложные алгоритмы цифровой обработки сигналов. При этом на системном уровне программно реализуют основные математические действия над сигналом, не задумываясь об их схемотехнической реализации [Кехтарнаваз, 2007]. Для снижения трудоёмкости разработки сложных систем цифровой обработки сигналов в SDR используются специализированные программные продукты, например, LabVIEW, MATLAB(Simulink), GNU Radio и другие. При этом даже в коммерческих системах отдельные блоки, моделирующие те или иные операции цифровой обработки сигналов, не всегда удовлетворяют разработчиков с точки зрения быстродействия и точности реализации отдельных функциональных операций современных стандартов связи. Для CDMA, например, существуют модели, соответствующие стандарту IS-95, и практически отсутствуют модели для более современных версий стандарта [Забродский, 2012, Чупраков, 2016]. Соответственно, создание моделей приемника и передатчика для системы, реализующей CDMA, совместимых с SDR является актуальной задачей.

Целью данной работы было разработать модель цифровой системы связи с кодовым разделением каналов (CDMA) в среде LabVIEW совместимую с SDR системой NI USRP и проверить работоспособность построенной модели при приеме реального сигнала. На Рис. 1 представлена структурно-функциональная схема передатчика, а на Рис.2 соответственно – приемника.

Модель передатчика.

Пусть (l+1)-й кадр сетевого уровня в i-м канале трафика задан многочленом

$$u_{l+1}^{(i)}(D) = \sum_{j=0}^{171(79)} u_{j+172(80)l}^{(i)} D^j . \qquad (1)$$

Непрерывный поток битов в i-м канале зададим многочленом

$$u^{(i)}(D) = \sum_{l=0}^{\infty} (u_l^{(i)} D^{12(8)} + r_l^{(i)}(D)) D^{8+192(96)l}. \qquad (2)$$

Остаток $r_l^{(i)}(D)$ задается выражением

$$r_l^{(i)}(D) = u_l^{(i)} D^{12(8)} \ mod \ g_{12(8)}(D). \qquad (3)$$

Формула (2) описывает процесс добавления циклического префикса к кадру сетевого уровня с целью контроля правильности декодирования на приемной стороне. Данная операция осуществляется блоком CRC-12 (Рис. 1).

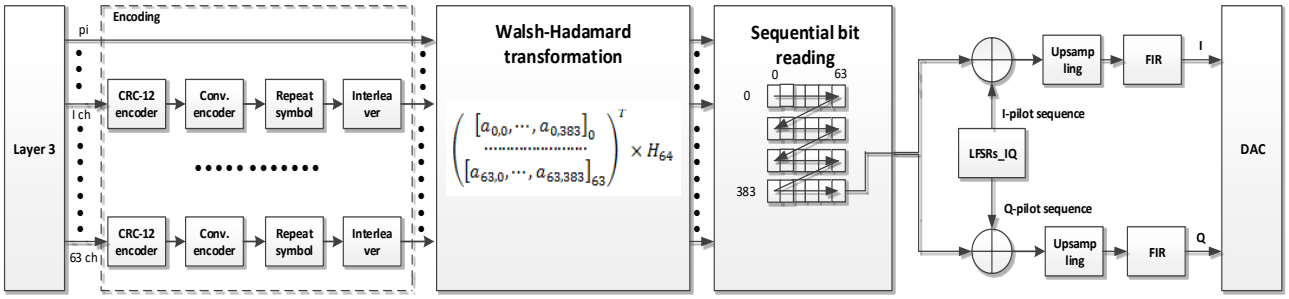


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема передатчика

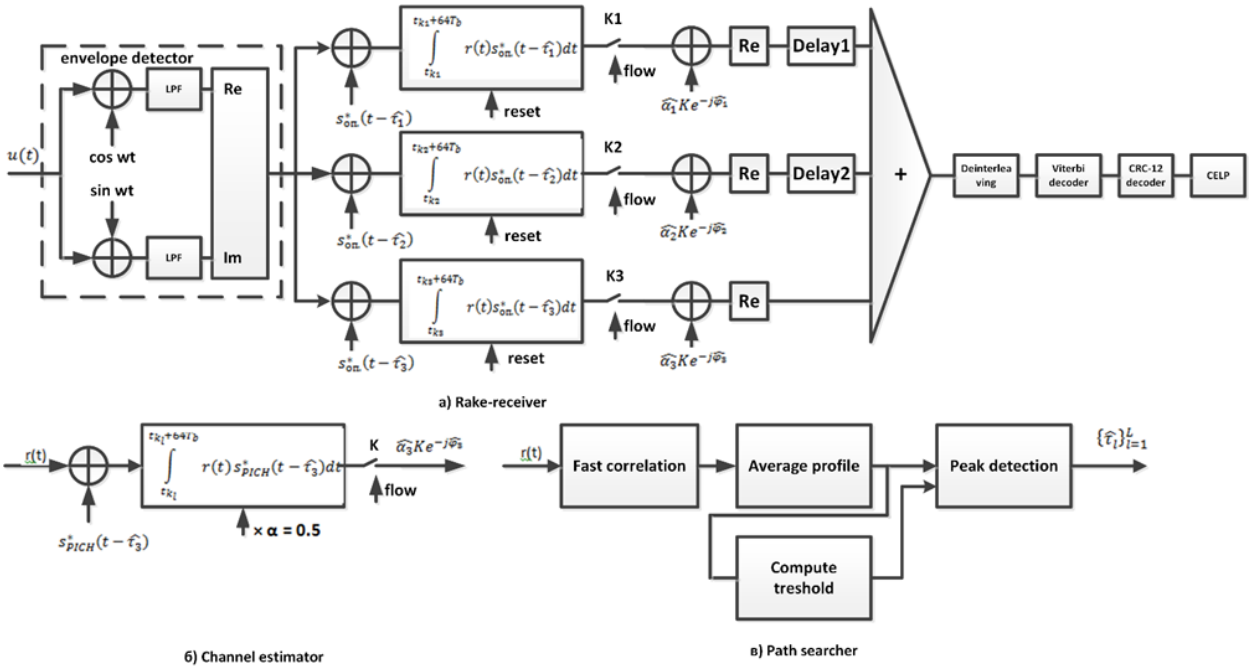


Рисунок 2. Структурно-функциональная схема приемника

Сверточный кодер образует поток битов, заданный многочленом

$$v(D) = \sum_{j=0}^{\infty} v_{f^{-1}(j)}^{r(i)} = \sum_{j=1}^{2} \sum_{l=0}^{\infty} g_j(D^2) D^{j-1} u^{(i)}(D^2). \qquad (4)$$

Правая часть выражения (4) осуществляется блоком Convolution encoder (Рис. 1). В формуле (4) $f(k)$ задает перестановку блочного перемежителя

$$f(k) = (k \bmod 24) * 16 + k \ \ div\ 24. \qquad (5)$$

Процесс формирования комплексной огибающей на выходе передатчика отражает формула (6)

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\sum_{i=0}^{\infty} a_i I_{i \bmod 2^{16}} \delta(\tau - iT_b) \right) h(t-\tau) d\tau. \qquad (6)$$

На Рис. 3 показаны эпюры, отображающие работу передатчика.

Эпюры а, б, в показывают сопоставление битов векторам Уолша. Эпюра г показывает результат выполнения преобразования Уолша – Адамара (блок Walsh-Hadamard transformation на Рис. 1,). Огибающая представляет собой ряд выборок и на Рис 3 (эпюра з) показана только синфазная компонента.

Далее производится скремблирование сигнала (перемножители и блок LFSRs, Рис. 1, Рис. 3 – эпюра г). Импульсный отклик формирующего фильтра задается выражением (7) (сигнал типа root raised cosine)

$$h(t) = \begin{cases} 1 - \alpha + \dfrac{4\alpha}{\pi}, \alpha = 0{,}22 \\ \dfrac{\alpha}{\sqrt{2}} \left[\left(1 + \dfrac{2}{\pi}\right) sin\left(\dfrac{\pi}{4\alpha}\right) + \left(1 - \dfrac{2}{\pi}\right) cos\left(\dfrac{\pi}{4\alpha}\right) \right], t = \pm \dfrac{T_c}{4\alpha} \\ \dfrac{sin\left(\pi \dfrac{t}{T_c}(1-\alpha) + \alpha \dfrac{t}{T_c} cos\left(\pi \dfrac{t}{T_c}(1+\alpha)\right)\right)}{\pi \dfrac{t}{T_c}\left(1 - \left(\dfrac{4\alpha t}{T_c}\right)^2\right)}. \end{cases} \qquad (7)$$

Поскольку LabVIEW оперирует лишь дискретными величинами далее подразумевается, что все указанные формулы реализуются в дискретном виде.

Импульс вида (7) определяет полосовой сигнал без межсимвольной интерференции с быстрой асимптотикой затухания пропорциональной $\frac{1}{t^2}$. Спектр мощности сигнала на выходе передатчика показан на Рис. 4 а.

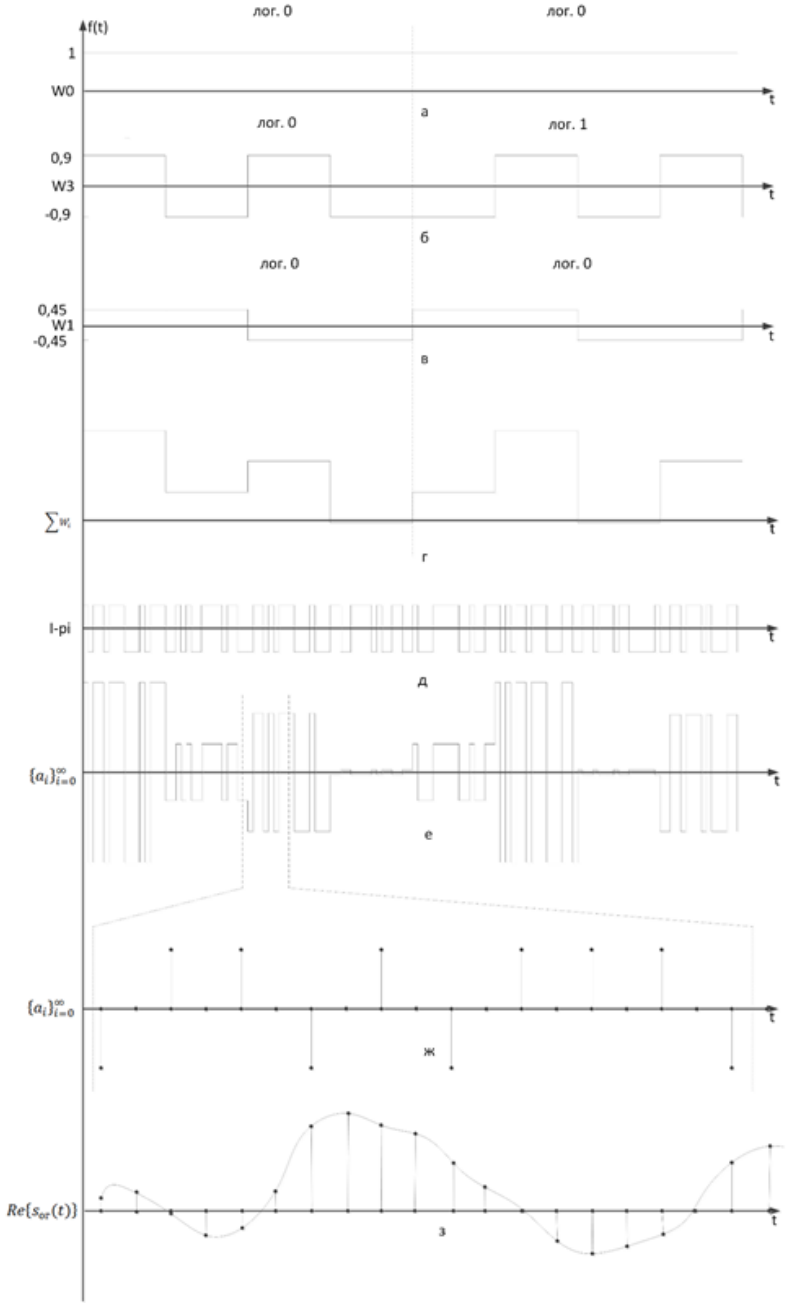


Рисунок 3. Эпюры, характеризующие работу передатчика

Для скорости 9600 бит/с коэффициент a_j (Рис. 3 эпюра е) задается выражением

$$\{a_j\}_{j=0}^{\infty} = \bigcup_{j=0}^{\infty}\left(\sum_{i=0}^{63}\left(2v_j^{r(i)} - 1\right)A_i H_{ij}^{64}\right). \qquad (8)$$

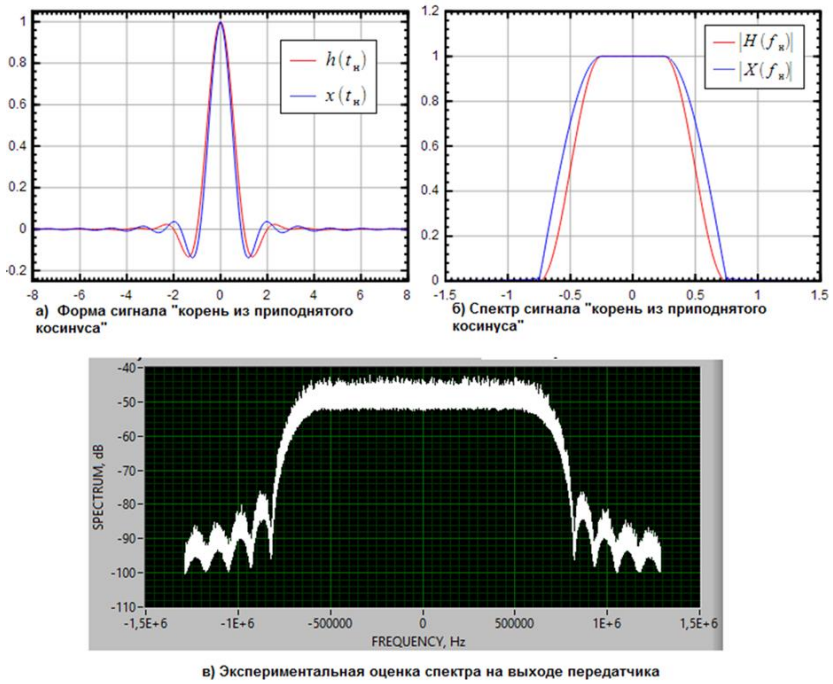


Рисунок 4. Спектр мощности сигнала на выходе передатчика

Дискретная свертка (6) выполняется с помощью блоков Upsampling и FIR (Рис. 1, Рис. 3, эпюры ж, з).

Из Рис. 3 (эпюра ж) видно, что при выполнении дискретной свертки некоторые выборки будут заведомо нулевыми, что позволяет уменьшить число выполняемых операций. Описанная реализация передатчика способна работать в режиме реального времени.

Модель приемника IS-95.

В данной работе мы усовершенствовали модель приемника, представленную в работе [Чупраков, 2016].

Зададим импульсную характеристика канала связи выражением

$$h_{CH}(t) = \sum_{l=1}^{L} \alpha_l e^{j\varphi_l}\delta(t - \tau_l). \qquad (9)$$

Формула (9) учитывает наличие отраженных сигналов на приемной стороне. Нами реализована модель Rake-приемника (Рис. 2 а), который состоит из синхронного детектора огибающей (envelope detector), «гребенки» коррелято-

ров и комбинационного устройства. На выходе получаем т. н. «мягкое» решение

$$2 * \hat{v}_{f(k)} - 1 = c * Re\left\{\sum_{l=1}^{L} \hat{\alpha}_l \, e^{j\hat{\varphi}_l} \int_{\hat{\tau}_k}^{\hat{\tau}_k + 64T_b} r(t) s^{*(i)} (t - \hat{\tau}_l) dt\right\}. \qquad (10)$$

Для повышения быстродействия при дискретизации огибающей на выходе USRP-приемника используются также две выборки на битовый интервал T_b, что приводит к смазыванию эффекта ортогональности. Максимальная временная неопределенность может составить $\frac{T_b}{4}$.

Оценка веса луча реализуется в блоке оценки луча (channel estimator, Рис.2 б) с точностью до размерного множителя K, который представляет коррелятор, настроенный на пилот-сигнал, а вместо сброса в ноль накопленного значения производится его умножение на безразмерный коэффициент $\alpha < 1$.

Реализация блока поиска лучей (Рис. 2 в) упрощена и не учитывает возможность наличия сигналов от нескольких базовых станций, а все обнаруженные лучи подаются на Rake-приемник, хотя некоторые лучи должны быть отброшены ввиду их малой энергии.

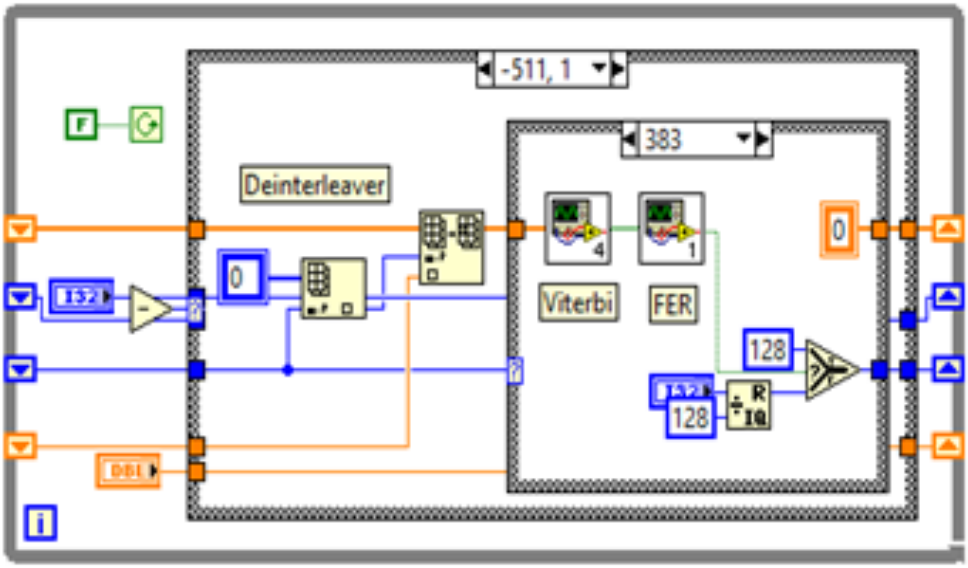


Рисунок 6. Реализация элементов приемника в LabVIEW.

Реализация деперемежителя (блок Deinterleaving) в LabVIEW представлена на Рис. 6.

Деперемежитель совместно с блоком FER (Рис. 6) обеспечивают достижение и контроль состояния кадрового синхронизма.

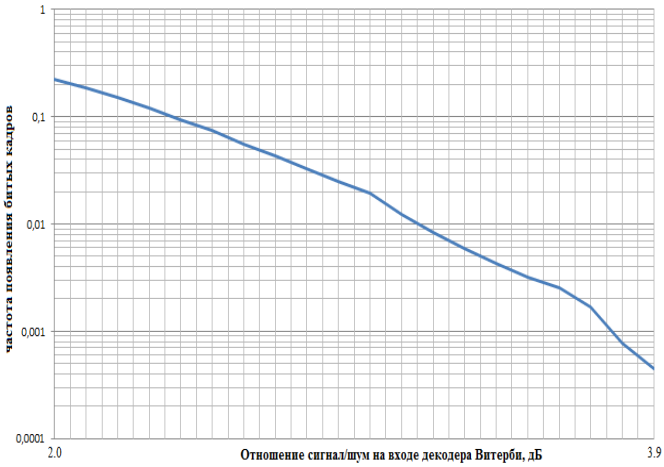


Рисунок 7. Реализация элементов приемника в LabVIEW

На Рис. 7 показана зависимость частоты FER (Frame Error Ratio) появления искаженных информационных кадров на выходе декодера Витерби от отношения сигнал/шум (SNR) на входе декодера, полученная моделированием в LabVIEW.

Как видно из Рис. 7 доля искаженных кадров быстро снижается от неприемлемого уровня (~0.1) до пренебрежимо малого ((~0.001) на небольшом интервале 2-3.9 дБ. При моделировании максимальная помехоустойчивость была получена для сверточного кода с длиной кодового ограничения $K_c = 8$ и скоростью кода $R_c = \frac{1}{2}$).

Модель приемника WCDMA.

На Рис. 8 показана структурно-функциональная схема приемника стандарта WCDMA

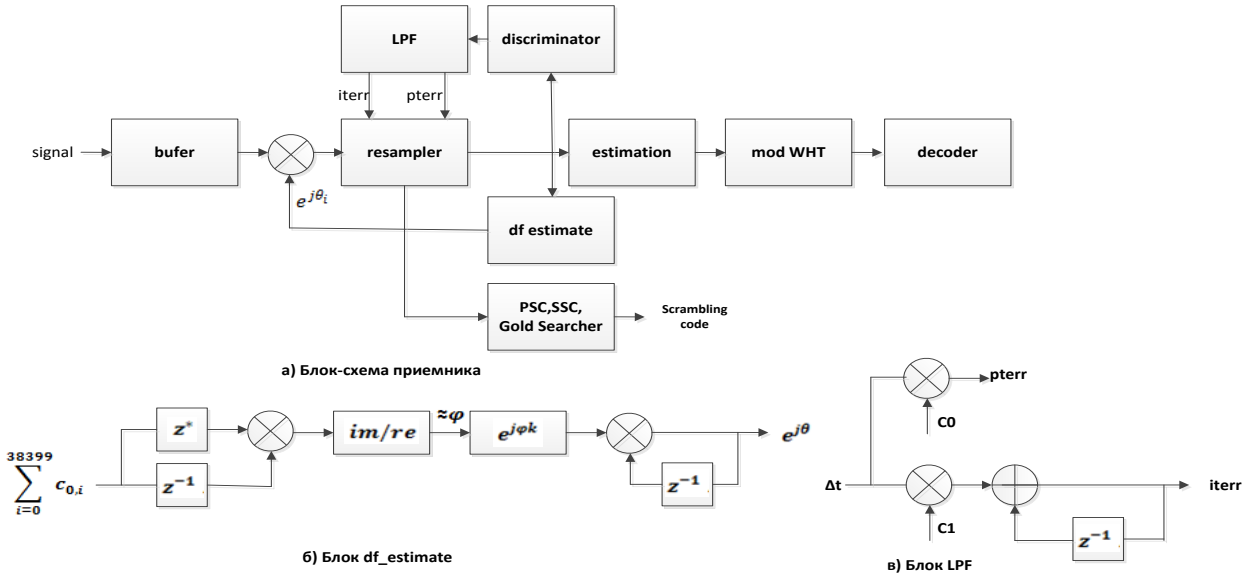


Рисунок 8. Структурно-функциональная схема приемника WCDMA.

Для реализации в LabVIEW представим работу приемника как некоторого конечного автомата $def\ df \xrightarrow{only} start \xrightarrow{only} work \xrightarrow{!test\_work()} def\ df$.

В начальном состоянии $def\ df$ дается грубая оценка частотного смещения Δf сигнала (с шагом 10 Гц), определяется скремблирующий код. Состояние $start$ инициализирует ресэмплер, в состоянии $work$ осуществляется декодирование сигнала. При обнаружении срыва синхронизма функцией $test\_work()$ происходит переход в $def\ df$.

На основе блоков, реализующих основные операции обработки сигнала в соответствии со схемой, представленной на Рис. 8 а, в среде LabVIEW нами реализована модель на системном уровне (Рис.9).

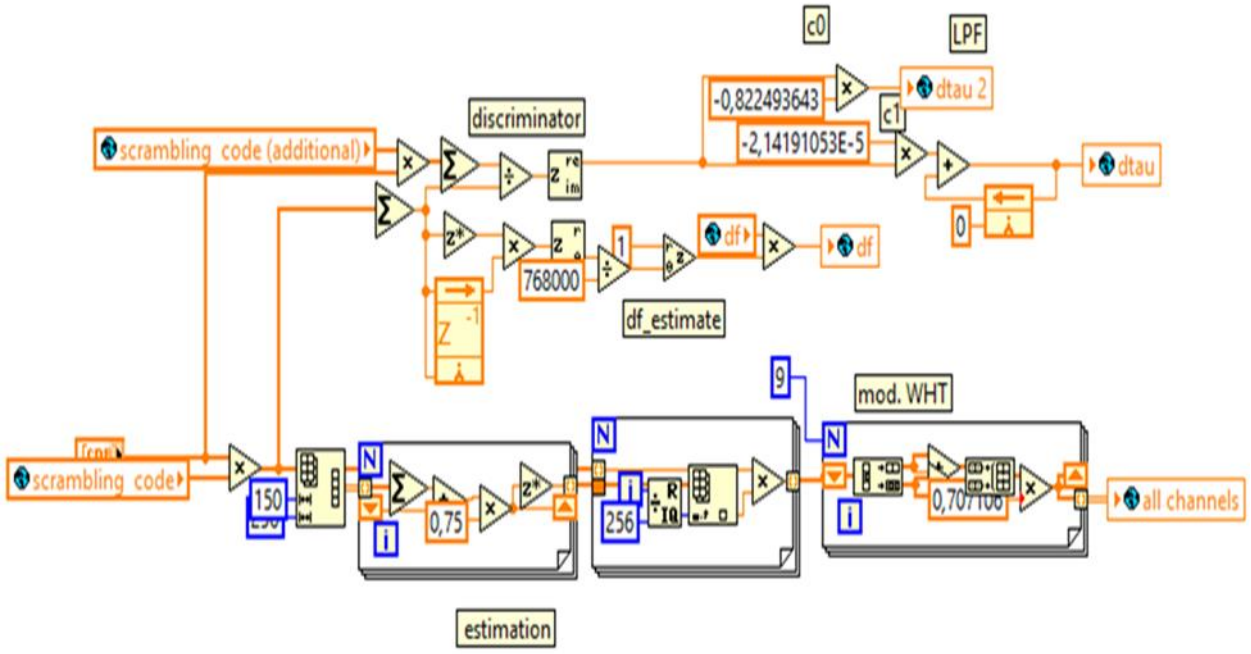


Рисунок 9. Модель приемника WCDMA в LabVIEW

Описание экспериментов.

Для экспериментальной проверки представленных моделей мы использовали два USRP-2920. Взаимодействие программных моделей и USRP показано на Рис. 10.

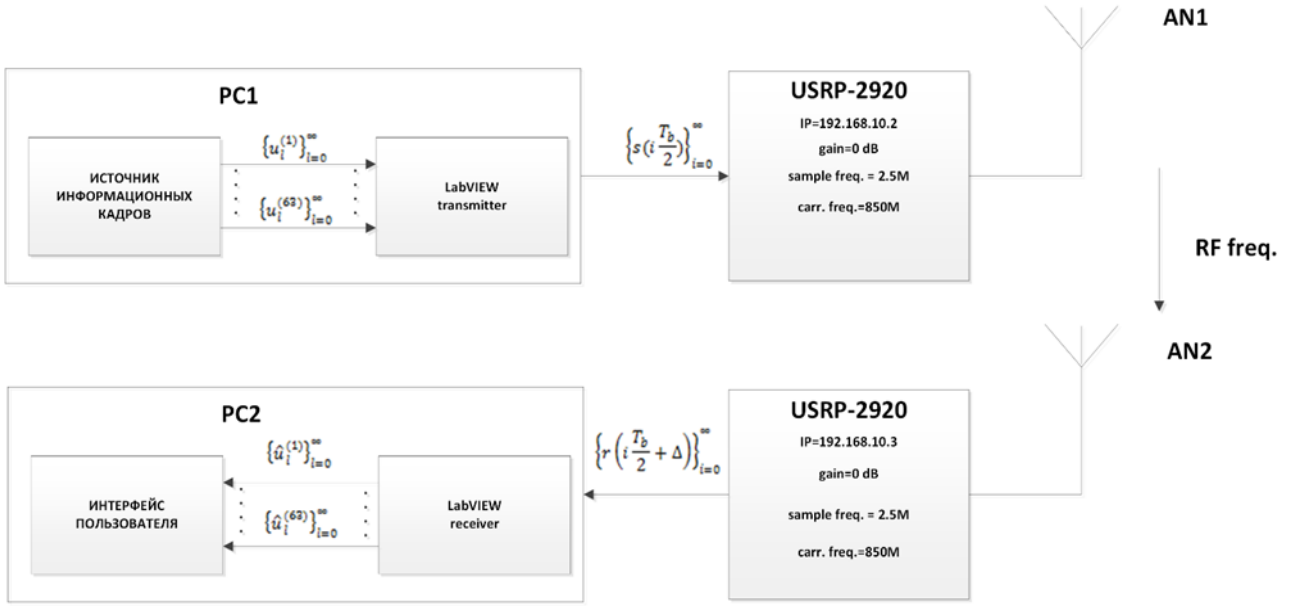


Рисунок 10. Взаимодействие программной модели и USRP

Для управления моделью были разработаны подприборы приемника и передатчика с программным интерфейсом (Рис. 11).

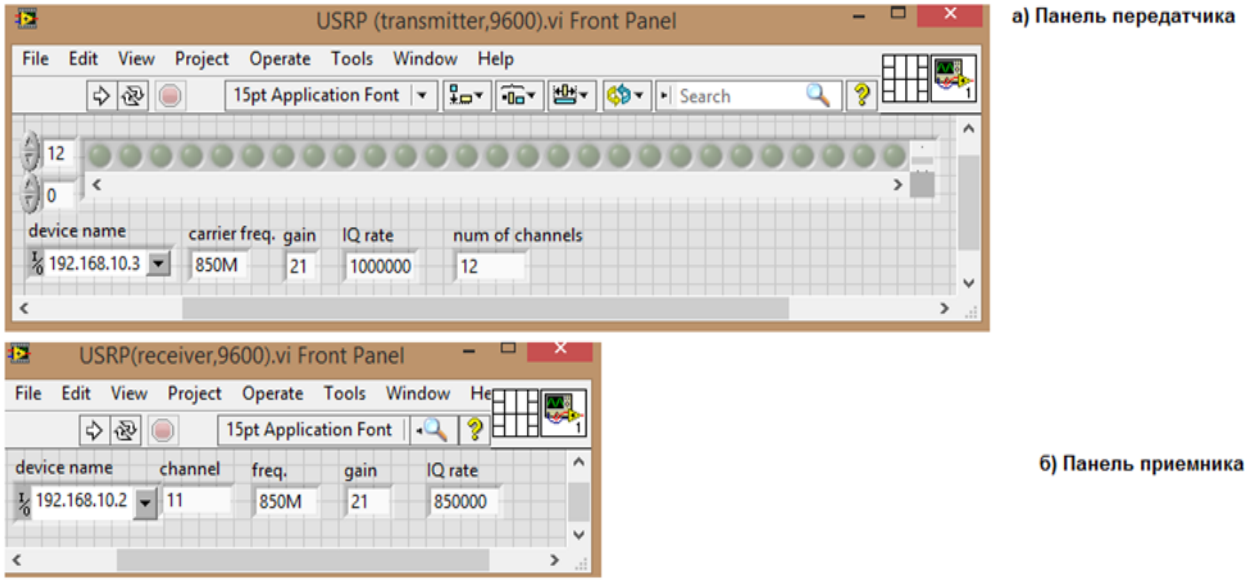


Рисунок 11. Взаимодействие программной модели и USRP

В разработанных программных моделях используется значительное число массивов-констант: перестановка перемежителя, опорные сигналы корреляторов, коэффициенты формирующих фильтров Найквиста, сформированных с использованием вспомогательных виртуальных приборов из библиотеки Modulation toolkit.

Сетевой уровень системы был заменен источником случайных битов, формирующих аналог речевых кадров («Источник информационных кадров» на Рис. 10). Выход приемника отображался на панели подприбора показанного на Рис.12. Это позволило визуально контролировать корректности работы. Также на панели отображались вычисленные значения частоты появления искаженных кадров и скорости обработки кадров («rate»).

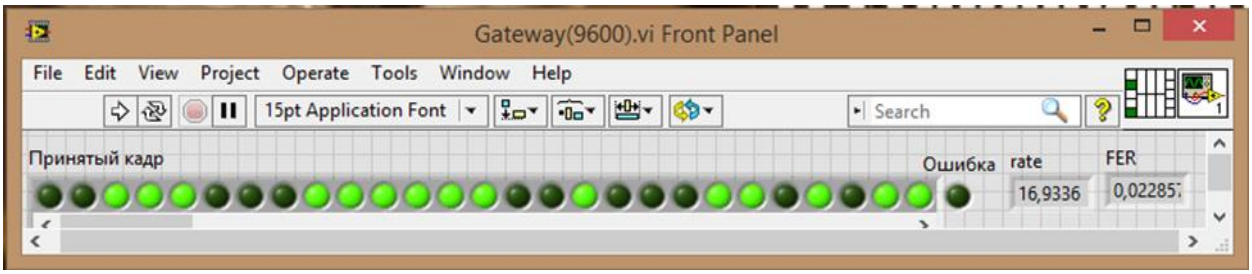


Рисунок 12. Выход модели приемника

Моделирование показало, что при снижении скорости дискретизации USRP до 850000 выборок/сек удается выйти на режим реального времени. Как

видно (Рис. 12) скорость обработки составляет примерно 17 кадров в секунду. При большей скорости дискретизации происходит переполнение буфера USRP (либо оперативной памяти) и появляется ошибка переполнения.

Произведено несколько опытов на различных расстояниях между приемником и передатчиком. Максимальное расстояние соответствует 50 метрам. Модель в LabVIEW с использованием простейшей модели канала связи с многолучевым распространением показала лучшие результаты чем эксперимент с USRP по частоте появления искаженных кадров, что связано с неопределенностью тактовой синхронизации и низкой частотой сэмплирования.

Модель приемника WCDMA разработанная в среде LabVIEW показала свою работоспособность, но не обеспечивает прием сигналов в реальном масштабе времени. Реализация блоков модели на C++ позволила нам осуществить прием реального сигнала и выделить в нем каналы CPICH и CCPCH.

Заключение

В ходе выполнения данной работы реализованы модели передатчика и приемника CDMA стандартов IS-95 и WCDMA. Модели реализуют все основные операции, выполняемые над сигналом, в соответствие с функциональной моделью передачи данных с кодовым разделением канала. При разработке отдельных модулей моделей основное внимание уделялось быстродействию и совместимостью с физическим интерфейсом платформы SDR (Soft Defined Radio, программно-определяемого радио) NI USRP. Проверка работоспособности разработанных моделей осуществлялась с использованием программно-конфигурируемых приемопередатчиков USRP-2920. Сетевой уровень системы заменен источником случайных битов, формирующих аналог речевых кадров. Для управления моделью приемника в LabVIEW был разработан виртуальный прибор с программным интерфейсом. С помощью моделирования в LabVIEW получена зависимость вероятности появления искаженных информационных кадров на выходе декодера Витерби FER (Frame Error Ratio) от отношения сигнал/ шум (SNR) на входе декодера. Модель приемника WCDMA позволяет выделить каналы CPICH и CCPCH в реальном сигнале, принятом со спутника.

Список литературы

1. Кехтарнаваз Н., Ким Н. Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием LabVIEW. М.: Издательский дом «ДОДЭКА-XXI», 2007. 304 с.

2. Забродский А. В., Лебедев О. Н. Адаптация CDMA пакета MATLAB для исследования многокодового демодулятора [Электронный ресурс]. April 23, 2012. URL: http://nauchebe.net/2012/04/adaptaciya-cdma-paketa-matlab-dlya-issledovaniya-mnogokodovogo-demodulyatora (дата обращения 25.01.2018).

3. Чупраков Д. В., Трубин И. С. Построение модели цифрового приемника стандарта is-95 для канала «вниз» с использованием USRP-2920. Общество, наука, инновации. (НПК – 2016) [Электронный ресурс]: всерос. еже-год. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2016. 1 электрон. опт. диск. Секция «Методы и средства передачи и обработки сигналов. С. 2519-2525).

Разработка нейросетевого алгоритма построения ритмограммы

Чупраков П.Г.
кандидат биологических наук, доцент кафедры фундаментальной информатики
и прикладной математики
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: chuprakov@yandex.ru

Аннотация: разработана нейронная сеть для выделения QRS-комплекса ЭКГ и построения ритмограммы. Разработан формат входных данных для сети. Решен вопрос инвариантности входного модуля. Сеть состоит из двух частей «Распознавателя ударов» и «Определителя ритма», которые могут работать по отдельности. Разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм. Проведено тестирование на реальных ЭКГ с высокой степенью зашумленности и высококачественных ЭКГ из международной базы MIT-BIH. Для зашумленных ЭКГ показатели чувствительности и специфичности не опускались ниже 94%. Для международных данных усредненный показатель чувствительности составил 99.67%, а показатель специфичности был равен 98.20%. С помощью этого тестирования была подтвержден высокий уровень точности разработанного QRS-детектора, сопоставимый с передовыми научными технологиями, используемыми для решения обозначенной задачи.

Ключевые слова: электрокардиограмма (ЭКГ), искусственная нейронная сеть, тестирование, сравнение.

Изучение электрокардиограмм (ЭКГ) является важной сферой кардиологической науки. Теория ЭКГ разработана в начале 20 века Эйнтховеном. Это один из первых методов медицинской диагностики с использованием сложных технических средств, который не потерял своей актуальности и по-прежнему развивается. Развитие метода ЭКГ идёт вместе с развитием технических средств (усилители постоянного тока, микропроцессорная техника, оптронная гальваническая развязка, ЭКГ высокого разрешения, автоматический анализ ЭКГ и т.д.). Исследования в области электрокардиографии используют передовые вычислительные средства и алгоритмы для эффективного анализа рассматриваемых данных, такие как: вейвлетный анализ, использование нечеткой логики или средств искусственного интеллекта (экспертные системы и искусственные нейронные сети). Создаются новые алгоритмы и технические комплексы для улучшения текущих возможностей исследования ЭКГ. Разрабаты-

ваемые методы могут стать важным и эффективным инструментом для помощи в работе медицинских специалистов.

Среди конкретных практических задач можно выделить задачу подавления шумов, выделения QRS-комплексов, построения ритмограммы и выполнения классификации сердцебиений с целью нахождения возможных аритмий. Анализ вариабельности сердечного ритма на основе ритмограммы широко используется в физиологии и медицине для оценки функционального состояния как здоровых, так и больных людей. Представленные задачи обладают высокими требованиями к интеллектуальным возможностям применяемых для их решения алгоритмов. Использование нейронных сетей для решения этих вопросов является эффективным и позволяет обеспечивать хорошие показатели чувствительности и специфичности при анализе данных ЭКГ. Обзор современных исследований ЭКГ с помощью нейросетей приведен в [Чупраков].

Ощутимой проблемой при обработке электрокардиограммы является потенциальная зашумленность снимаемого сигнала. Шумы могут иметь разную природу: они естественным образом возникают при дыхании и движении тела пациента, резких перемещениях, нежелательных движениях электродов во время снятия сигнала, воздействии внешней среды, неполадках в медицинском оборудовании и других причинах. В сумме они накладывают свое влияние на значения регистрируемого сигнала и могут создавать негативные эффекты при анализе электрокардиограммы.

Эти эффекты могут проявляться в общем колебании уровня линии сигнала, постоянных незначительных колебаниях амплитуды сигнала, резких «всплесковых» колебаниях (очень непродолжительных, но имеющих большую амплитуду), общем изменении уровня амплитуды сигнала и других явлениях. Вместе с этим возникновение и продолжительность шумов не имеют качество закономерных свойств, а являются случайными характеристиками, поэтому их устранение является неформализуемой задачей.

Нейронная сеть, в обычном варианте, представляет собой сложную композицию специальных функций (основными из которых являются, так называ-

емые, активационные). Область значений этих функций может быть различной, но общепринятой считается использование диапазонов [0,1], [-0.5,0.5], [-1,1]. Таким образом, для применения нейронных сетей, в общем случае, решается вопрос о правильном представлении данных, для получения корректных результатов. Существуют определенные рекомендации по разработке такого представления (для успешности применения), в частности, можно заметить необходимость специальной дополнительной входной обработки полученного из электрокардиограммы и поступающего в нейронную сеть сигнала.

Кроме этого, различное медицинское оборудование, особенностями своих характеристик (величиной амплитуд, используемой частотой дискретизации) может накладывать дополнительное влияние на свойства сигнала. Исходя из этих положений, разрабатываемые нейросетевые алгоритмы, должны включать в себя модуль, обеспечивающий инвариантность входных данных (для обеспечения эффективной работы), чтобы существовала независимость проводимых действий от конкретных практических особенностей средств, используемых для получения сигнала.

Поэтому разрабатываемый нейросетевой комплекс нуждается в использовании инвариантного входного модуля, который позволил бы придавать входным данным относительный характер. Таким образом, нейронная сеть получала бы единое представление для данных, которые по существу одинаковы, но по абсолютным значениям величин носят разный характер.

Инвариантность для нейронной сети может обеспечиваться тремя различными способами: структурной инвариантностью (отражающейся в архитектуре сети), инвариантностью по обучению (отражается в обучении сети, добавлении возможных вариаций входных данных в обучающие множества) и использованием инвариантных признаков (отражается в представлении данных). Для каждого отдельного случая выбирается свой вариант, но наиболее эффективным и универсальным является использование инвариантных признаков.

Смысл этого способа состоит в том, что из информации берутся информативные признаки, отражающие самую существенную ее часть и при этом они

инвариантны к трансформации входного сигнала. Главным условием применения этого способа считается хорошее знание предметной области.

В основу принцип построения инвариантного входного модуля был положен принцип оценки силы сигнала через размах амплитуды в определенных участках. В этом случае основной задачей становилось выяснение текущего уровня амплитуды R-зубца, для приведения данных в рассматриваемой области к размерам, заложенным в обучающие множества нейронной сети.

Алгоритм используемого входного модуля начинался путем взятия области, в которой находилось рассматриваемое значение, после чего для каждого значения этого области брался размах амплитуды по достаточно большой локальной окрестности точки. Полученный, после этого преобразования, массив размахов амплитуд отсортировывался по возрастанию, в результате чего на вершине массиве, благодаря расширению локальных окрестностей, находились значения амплитуд R-зубцов по этой области. Далее бралось значение, расположенное на 92.5% длины массива. Оно отражало уровень R-зубца для области рассматриваемого значения, после чего находилось отношение к уровню R-зубца заложенного в обучающие множества (если необходимо, можно устанавливать значение большее или меньшее этого уровня, для получения оптимальных результатов), и выполнялось умножение входных значений на полученный множитель. Таким образом, входные данные приобретали относительный характер, что обеспечивало их устойчивость к общим амплитудным колебаниям.

С помощью этого способа также удалось разрешить проблему шумов, называемых «супер-всплесками». Это резкие непродолжительные колебания уровня сигнала, значительно превышающие амплитуду R-зубца. При использовании больших локальных окрестностей точек они вытеснялись в самый верх массива, и не могли негативно влиять на получение относительной меры для рассматриваемой области.

Применение инвариантного входного модуля позволило обеспечить большую независимость результатов работы нейронной сети от общих колеба-

ний амплитуды или различий в оборудовании, используемом для снятия сигнала.

Основной составной частью разрабатываемого нейросетевого комплекса для нахождения местоположения QRS-комплексов (сердцебиений) среди данных электрокардиограммы, является искусственная нейронная сеть, называемая «Распознавателем ударов».

Ее главной целью является выполнение задачи нахождения и распознавания участков, которые потенциально могут являться R-пиками. Исходя из специфики задачи, нейронная сеть должна обеспечивать показатели чувствительности близкие к уровню 100% (чтобы не было пропусков сердцебиений), при этом желательно (по критерию Неймана-Пирсона) иметь специфичность на достаточно высоком уровне, чтобы применение сети было максимально эффективно.

На распознаватель ударов возлагается решение задачи обеспечения очень высокой чувствительности, он должен находить все участки, которые являются R-пиками и могут ими потенциально быть (в том числе и сильные «всплесковые» шумы).

Распознаватель ударов является той частью комплекса, которая (можно так сравнить) отвечает за «зрение» сети. Он должен обеспечивать нахождение всех участков, которые потенциально могут являться R-пиками, таким образом создавать ритмограмму для исходного сигнала. Задача дополнительного отсеивания тех участков, которые являются сильными шумами (которые, при этом, могут почти полностью повторять форму сердцебиений) решается в дальнейшем другими составными частями нейросетевого комплекса.

В ходе разработки было принято решение реализовать эту часть с помощью многослойной нейронной сети с обучением методом обратного распространения ошибки.

Для обучения нейронной сети, в создаваемое программное обеспечение был включен генератор искусственных электрокардиограмм, который должен был создавать сигнал электрокардиограмм, максимально моделирующий (в

нужной форме, в том числе и с шумами) реальные электрокардиограммы, со специальными отметками в местах QRS-комплексов, для возможности обучения нейронной сети по этим сигналам.

Создаваемая нейронная сеть должна работать с выбранным входным форматом данных и обеспечивать высокие показатели эффективности. Архитектура сети, как и параметры обучения, являются свободно изменяемыми характеристиками. Их выбор, создание и настройка могут быть различными, и, соответственно, будут давать различные результаты.

В ходе работы были изучены показатели эффективности для различных архитектур и значений параметров обучения.

Предложенный алгоритм показал выполнение главного условия эффективности системы – обеспечения очень высоких показателей чувствительности. При этом существуют дополнительные возможности варьирования этой характеристики (например, ослабление воздействия входного модуля). В ряде случаев были получены очень эффективные нейронные сети с высокими показателями чувствительности и специфичности (например, с чувствительностью равной 95.43% и специфичностью, равной 93.30%). Изменений параметров сети, однозначно приводящим к повышению качества результата выявлено не было. Общая успешность обучения во многом определяется удачным стартовым подбором весов.

Обращаясь к результатам тестов, можно отметить следующие положения: допустимо небольшое снижение показателей параметра и момента обучения (из общих рекомендаций к обеспечению более «плавного обучения»), число циклов можно уменьшить. Изменения амплитуды порогов и весов можно будет рассмотреть отдельно, после тестирования видов архитектур.

Исследование архитектур можно проводить с различным количеством слоев в сетях и их конфигурацией, но разумно будет ограничить их количество четырьмя, так при большем числе слоев избыточность количества нейронов будет мешать эффективности обучения. Показатели обучения (для проведения тестов) были выбраны следующими: момент обучения равен 0.55, параметр обу-

чения равен 0.35, максимальное число циклов обучения равно 35. Активационной функцией нейронов сети была выбрана функция гиперболического тангенса $f = \tanh(0.667 \cdot v)$. Характеристики входного модуля были одинаковы для всех видов архитектур.

После проведения основного этапа тестирования можно отметить, что однозначно эффективного типа архитектур нет. При этом все виды архитектур имели свои особенности. Так однослойные архитектуры отличались большим разбросом амплитуд в значениях, двухслойные архитектуры, в большинстве случаев обеспечивали чувствительность равную 100%, у трехслойных сетей в большинстве случаев наблюдалась нелинейность сети в ответах, при монотонных увеличениях уровня сигнала, четырехслойные сети обеспечивали ответы сети на очень схожем уровне, вместе с некоторыми большими разбросами в значениях.

Кроме исследования архитектур можно провести тестирование влияния на результаты сети изменение стартовых значений основных структурных компонентов (весов и порогов). Для выполнения этой работы была выбрана архитектура сети 8-5-1 со стартовыми параметрами: максимальным числом циклов обучения равным 35, параметром обучения равным 0.35 и моментом обучения равным 0.55. При тестировании изменений стартовых весов и порогов для нейронов сети использовались активационные функции вида $f = \tanh(0.667 \cdot v)$.

Подводя итог, можно отметить, что изменение стартовых параметров не позволяет найти однозначный способ улучшения результатов. В целом, более положительные результаты может дать увеличение стартовых параметров, в отличие от их уменьшения. Изменение параметра сигмоидальной активационной функции в ту или иную сторону не дало очевидного повышения эффективности. Таким образом, изначально выбранные параметры являются достаточно эффективными, большую роль играет удачный стартовый подбор значений весов.

Для оценки качества нейронных сетей, получаемых на данном этапе разработки, была создана сеть под названием «NeuroNetworkT1» с архитектурой 5-

6-1 (Рис. 1) и показателями чувствительности равной 100.00% и специфичности равной 98.31% (показатели на тестовом файле). Она также была в дальнейшем протестирована на файлах с реальными электрокардиограммами.

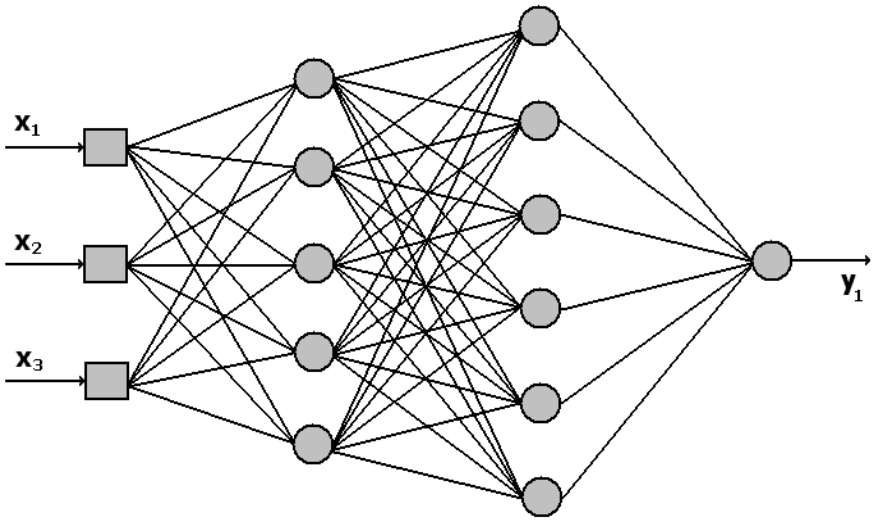


Рисунок 1. Архитектура нейронной сети «NeuroNetworkT1»

Результаты подтверждают высокую эффективность разработанных алгоритмов. Ошибки в чувствительности возникают для сердцебиений, амплитуда которых значительно меньше, чем у соседних ударов. Это вызвано прямым наложением какого-либо из шумовых источников в момент прохождения R-пика. Поэтому такие удары имеют, по существу, структуру шума и игнорируются сетью. Также в приведенных выше файлах есть особенности медицинского оборудования (использующего переключения по отведениям и создающего шумы «супер-всплески» в эти моменты, негативно влияющие на соседние удары).

Представленная сеть обеспечила очень высокий уровень качества для обнаружения QRS-комплексов на зашумленных электрокардиограммах.

Нужно отметить, что главной задачей составной части комплекса под названием «Распознаватель ударов» является обеспечение высоких показателей чувствительности, однако возможно дополнительное улучшение параметра специфичности.

Важной чертой исследуемого процесса сердцебиения является периодичность появления ударов, называемая сердечным ритмом. Эта одна из важнейших характеристик работы сердца, она является переменной величиной, но в нормальном состоянии здоровья пациента находится в достаточно определенных границах и равняется 60-90 ударам в минуту.

В понятиях нейросетевых технологий такие свойства исследуемого процесса называются априорной информацией, и могут быть успешно использованы для повышения эффективности результата системы. Если нам известен текущий ритм сердца пациента в заданном временном участке, то возможно проведение жесткого отсеивания всех отметок, которые потенциально могут быть похожими на R-пики, но не входят в ритм. Они являются шумами, и даже если их форма полностью повторяет нормальный удар сердца, с помощью знания ритма они могут быть исключены из рассмотрения.

Однако существенной проблемой является переменчивость сердечного ритма. Он может быстро меняться и является трудно определяемой динамической характеристикой.

В составной части комплекса под названием «Распознаватель ударов» была предложена работа в основном с амплитудной стороной сигнала, хотя также возможна работа с временной составляющей, в рамках решения задачи отсеивания шумов, не попадающих в ритм сердца. С помощью выполнения этой работы можно добиться повышения характеристики специфичности алгоритма.

Для решения этой задачи была разработана составная часть программы под названием «Определитель ритма». Она реализуется с помощью нескольких самоорганизующихся сетей использующих конкурентное обучение. Необходимость использования самоорганизации возникает из свойства динамичности исследуемого процесса и дополнительной важности свойства адаптации для создаваемой искусственной нейронной сети.

Перед выполнением основных действий, производится получение значения предполагаемого уровня ритма. Из ритмограммы файла, полученной с по-

мощью «Распознавателя удара», выполняется взятие 30 первых расстояний между ударами. Для каждого из этих расстояний выполняется вычисление количества схожих с ним до определенной (в процентном соотношении) степени среди этих 30 длин. Затем массив полученных значений сортируется и выбирается расстояние, имеющее наибольшее схожее с ним число других расстояний из представленных 30 значений. Таким образом, вычисляется предположительное значение уровня ритма. При использовании этого метода предполагается, что стартовый участок файла (первые 20-30 секунд) не является значительно зашумленным и уровень сердцебиения пациента относительно стабилен. На практике, обычно, такие условия естественным образом выполняются, но даже при неточном значении ритма, существуют возможности выравнивания его уровня за счет свойств используемых средств (в частности, самоорганизации сетей).

Используемые сети состоят из трех нейронов, отвечающих за различный уровень ритма. Они соответствуют близким отметкам (задержка до которых существенно меньше, чем должно быть для нормального ритма), обычным отметкам (задержка соответствует нормальной длине до следующего сердцебиения ритма) и дальним отметкам (задержка ощутимо дальше, чем для нормального ритма сердцебиений). Поскольку организация сетей произведена в конкурентной форме, каждый раз может быть получен только один ответ из трех.

После выполнения работы «Распознавателя ударов», мы получаем ритмограмму отметок участков, которые могут быть по своим амплитудным характеристикам R-пиками. Далее мы рассматриваем местоположение каждого такого участка и нескольких, следующих за ним. Эти значения служат входными данными для используемого комплекса нейронных сетей. Для определенных комбинаций значений выполняются разные действия.

Сам комплекс состоит из 4 нейронных сетей. Первая определяет тип расстояния до R-отметки через следующую, вторая определяет тип расстояние до следующей R-отметки, третья определяет тип расстояния от следующей отметки до R-участка через нее и четвертая сеть определяет тип расстояния от R-

отметки через одну, до следующей уже за ней R-отметки. Для комбинаций ответов 2-1-1-2 и 2-1-1-1 выполняется отсеивание лишней отметки. Эти случаи соответствуют шумам, находящимся посредине или достаточно далеко от двух соседних QRS-комплексов. При комбинации 3-2-2-2 выполняется получение ответа от сети, с последующим ее самообучением по конкурентным правилам. В этом используется некоторая модификация алгоритма самоорганизации, так как в исходном методе, использование правила обучения должно производиться при каждом запуске сети.

Определение принадлежности отметки соответствующим классам нейронов осуществляется с использованием метрического расстояния, основанного на Евклидовой метрике. Так как сеть является самоорганизующейся, то на протяжении выполнения алгоритма, при комбинациях, соответствующих стабильному ритму, значения уровней, определяемых нейронами, постоянно смещаются в сторону текущего значения ритма. Таким образом, по существу данная задача имеет большое сходство с задачей кластеризации.

Изначально задаются небольшие величины допустимых изменений по отношению к внутреннему взаимодействию нейронов сети (через латеральные связи), чтобы работа этого составного компонента была стабильной и корректной на протяжении прохода по всем данным сигнала электрокардиограммы. При этом величина параметра обучения сети, отражающая смещение значения выигравшего нейрона к входному значению, устанавливается достаточно большой, чтобы нейрон мог быстро перестраиваться на возникновение нового ритма

Одним из главных требований к алгоритму является защита от понижения чувствительности после применения метода. Другими словами, алгоритм не должен отсеивать настоящие сердцебиения. Важными стартовыми параметрами являются начальные значения нейронов, отвечающих за нижний и верхний уровень R-отметок. Они задаются в процентном соотношении от найденного в начале предполагаемого ритма сердцебиения, и могут варьироваться с соответствующим изменением качества выдаваемых сетями результатов. В даль-

нейшем эксперименте будет рассмотрено изменение эффективности работы сети при вариации этих значений.

Для тестирования разработанных средств был создан специальный файл, с R-отметками в нужных местах. В файл были включены специальные шумы, амплитудой примерно равные или превосходящие обычные R-пики, для того, чтобы «Распознаватель ударов» отмечал их как R-участки. При этом, они располагались на некотором отдалении от самих R-пиков, чтобы не было ненужного наложения. Задачей тестируемых сетей, было отсеивание этих R-отметок, не попадающих в основной ритм.

Подводя итог тестирования, можно отметить, что использование «Определителя ритма» не ухудшило показатели чувствительности и привело к повышению качества специфичности сети. Наиболее сложными для отсеивания помехами являются те, которые расположены очень близко к настоящим ударам. В этом случае возникает конфликтная ситуация, и определить какая из отметок должна быть удалена можно только с использованием дополнительно разработанных средств классификации.

Предложенный алгоритм работает достаточно эффективно и устраняет некоторую долю шумов, повышая специфичность итогового результата, при этом важно, что при тестировании не произошло ухудшение показателей чувствительности. Наиболее эффективно и актуально использование «Определителя ритма» для зашумленных записей электрокардиограмм. Также можно отметить, что принципы, положенные в основу этого алгоритма применимы не только к обработке электрокардиограмм, но и к решению других задач из разных предметных областей.

Для реализации представленных алгоритмов была создана программа «Cardiogram Editor», включающая в себя обширный набор возможностей. Основными задачами, решаемыми программой, стали выполнение удобного просмотра электронных файлов электрокардиограмм (в том числе и международного формата), широкие возможности по созданию разнообразных файлов искусственных электрокардиограмм (алгоритмически смоделированных), реали-

зация разработанных нейросетевых алгоритмов с удобным изменением основных стартовых параметров.

Основными требованиями к программе стали:

– включение в себя разработанных нейросетевых алгоритмов, графическое представление их результатов;

– удобство и простота в использовании, устойчивость к ошибкам при общении пользователя с интерфейсом программы;

– наличие эффективной системы просмотра файлов электрокардиограмм, работа с международными форматами файлов ЭКГ;

– наличие встроенного генератора искусственных электрокардиограмм, предоставляющего широкие возможности моделирования сигнала;

– возможность сохранения результатов обработки, сохранения файлов созданных нейронных сетей.

Для оценки практической эффективности разработанных алгоритмов было решено провести тестирование в две стадии. На первой стадии программа должна была проанализировать данные электрокардиограмм файлов формата (*.ekg). Эти файлы были получены с помощью электрокардиографа с низкой частотой дискретизации (100 Гц), и обладали рядом особенностей. Среди них можно перечислить такие как: зашумленность сигнала на всем протяжении записи, в особенности на стартовом участке, переключения сигнала через некоторые периоды времени по различным отведениям и изменение общего уровня амплитуды получаемых данных в это время. Кроме этого, файлы имели непостоянность продолжительности сигналов от разных отведений.

Тестирование проводилось с использование нейронной сети «NeuroNetworkT1» (для «Распознавателя ударов»), с показателями чувствительности равным 100.00% и специфичности равной 98.31% (для тестового файла).

На начальном шаге производилось тестирование только «Распознавателя ударов», без подключения «Определителя ритма». В каждой записи были взяты первые 90 секунд файла и проведен анализ эффективности работы по отведени-

ям с отчетливым изменением сигнала. Все представленные файлы являются реальными записями ЭКГ. Результаты работы приводятся далее (таблица 1).

Таблица 1

Эффективность работы алгоритма «Распознавателя ударов»

Имя файла	TP, (шт)	FN, (шт)	FP, (шт)	Чувствительность (в %)	Специфичность (в %)
FileT1	63	1	0	98.43	100.00
FileT2	127	3	0	97.69	100.00
FileT3	234	6	7	97.50	97.09
FileT4	91	2	0	97.85	100.00
FileT5	109	1	0	99.09	100.00
FileT10	59	0	1	100.00	98.33
FileT11	83	1	6	98.81	93.26
FileT12	55	1	0	98.21	100.00
FileT13	132	1	1	99.25	99.25
FileT14	120	3	0	97.56	100.00
FileT15	66	1	3	98.51	95.65
FileT16	118	5	19	95.93	86.13
FileT17	88	0	14	100.00	86.27
FileT18	117	0	0	100.00	100.00
FileT19	77	0	7	100.00	91.67

Можно отметить высокие показатели эффективности алгоритмов. Показатель чувствительности не опускается ниже 95%, специфичность для большинства файлов также высокая, но она может улучшиться при использовании «Определителя ритма». В подавляющем большинстве случаев ошибки чувствительности возникали или при прямом наложении шума в момент сердцебиения, или при наличии мощной помехи рядом с ударом.

Для повышения качества результатов была использована составная часть комплекса «Определитель ритма». Ее основная задача – повышение специфичности для разработанного нейросетевого комплекса. Результаты тестирования приводятся далее (таблица 2).

Таблица 2

Эффективность комплекса с включением «Определителя ритма»

Имя файла	TP, (шт)	FN, (шт)	FP, (шт)	Чувствительность (в %)	Специфичность (в %)	Число отсеиваний
FileT1	63	1	0	98.43	100.00	0
FileT2	127	3	0	97.69	100.00	0
FileT3	234	6	4	97.50	98.32	3
FileT4	91	2	0	97.85	100.00	0
FileT5	109	1	0	99.09	100.00	0
FileT10	59	0	0	100.00	100.00	1
FileT11	83	1	5	98.81	94.32	1
FileT12	55	1	0	98.21	100.00	0
FileT13	132	1	0	99.25	100.00	1
FileT14	120	3	0	97.56	100.00	0
FileT15	66	1	3	98.51	95.65	0
FileT16	118	5	5	95.93	95.93	14
FileT17	88	0	3	100.00	96.70	11
FileT18	117	0	0	100.00	100.00	0
FileT19	77	0	1	100.00	98.71	6

Таким образом, применение «Определителя ритма» позволило добиться положительных результатов. Этот алгоритм обеспечивает наибольшую пользу для достаточно зашумленных электрокардиограмм. Очень важным свойством является то, что ни для одного файла не было зафиксировано ухудшение показателей чувствительности, то есть использование алгоритма со значительной вероятностью не должно приносить какого-либо рода негативное влияние в общий итог работы нейросетевого комплекса.

На второй стадии программа должна была выполнить обработку файлов типа WFDB формата 212, взятых из международной базы данных аритмий MIT-BIH. Файлы этого типа были получены с использованием высокочастотного оборудования (в файлах формата 212 была частота 360 Гц), таким образом можно практически оценить устойчивость программы к частотным вариациям в файлах, обрабатываемых по разработанным алгоритмам. Особенностями файлов были: очень низкая зашумленность, содержание, в ряде случаев, аритмий и экстрасистолических ударов сердца.

В качестве объекта для сравнения показателей эффективности были использованы данные из исследования [Liu]. Поскольку файлы имеют очень

большую продолжительность (в обычном случае около 30 минут), то, как и в исследовании [Liu], было решено брать только первые 5 минут записи ЭКГ. Для исследования были взяты 11 файлов (находящихся в открытом доступе).

Одним из ведущих требований к разрабатываемым алгоритмам была их ориентированность на ЭКГ здоровых пациентов. В некоторых из представленных файлов содержатся участки с аномальной и аритмической активностью сердца, поэтому было решено, не использовать для них «Определитель ритма». Кроме этого, ввиду значительного количества обрабатываемых вручную данных (больше 4 тысяч ударов), а также содержания в файлах сложных для обработки участков, возможны некоторые ошибки при подсчете пропусков ударов и ложных отметок (показателей чувствительности и специфичности). Полностью точными являются соотношение реального числа ударов и числа ударов, обнаруженных нейросетевым комплексом. Наиболее важным при подсчете ошибок было выявление пропущенных ударов, оставшаяся разница между общим числом ударов и общим числом учтенных отметок (TP, FN и FP) различных видов была занесена в отметки FP.

Вместе с итогами работы алгоритма приводятся данные из исследования [Liu] для сравнения (последние три столбца в таблице 43). В этом исследование задача обнаружения QRS-комплекса была решена при использовании машины опорных векторов (SVM). В таблице приводятся результаты только для QRS-обнаружителя сравниваемого комплекса, в дальнейшем в исследовании [Liu] точность нахождения R-пиков увеличивается за счет использования нейросетевого классификатора аритмий. Результаты разработанных алгоритмов приводятся далее (таблица 3).

Таблица 3

Сравнение эффективности комплекса с алгоритмами из исследования [Liu], для файлов из международной базы данных MIT-BIH

Имя файла	Общее число ударов	Число ударов, обнаруженных алгоритмом	FN, (шт)	FP, (шт)	TP[Liu], (шт)	FN[Liu], (шт)	FP[Liu], (шт)
105	416	418	0	2	416	0	24
106	314	331	0	17	312	2	26
109	420	432	1	13	419	1	10
115	316	316	0	0	316	0	0
118	361	362	0	1	361	0	11
119	325	326	0	1	325	0	12
205	452	455	0	3	452	0	0
208	487	513	6	32	480	7	11
214	380	380	6	6	376	4	8
219	379	381	1	3	378	1	9
223	406	406	0	0	406	0	0
Всего:	4256	4320	14	78	4241	15	111

Используя формулы для чувствительности и специфичности по общим суммам точных совпадений, пропусков и ложных обозначений для всех просмотренных файлов, получаем показатель чувствительности равный 99.67% и показатель специфичности, равный 98.20%.

Таким образом, эффективность алгоритма подтверждается в сравнении с международными научными исследованиями. Можно отметить устойчивость алгоритмов при повышении частоты сигнала (больше чем в 3.5 раза), а также очень высокие показатели чувствительности, что является основным требованием к методам обнаружения QRS-комплексов.

В представленной работе подтверждена практическая успешность использования нейронных сетей для интеллектуального анализа данных, в частности, исследования электрокардиограмм. Можно отметить, что нейросетевые технологии хорошо приспособлены для решения задач обработки цифрового сигнала. Они позволяют одновременно обрабатывать разные стороны входных данных, например, пространственные и временные характеристики, включая их в единое представление информации.

Сигнал электрокардиограммы имеет удобные свойства для его последующей обработки с помощью искусственных нейронных сетей. С помощью правильного выбора входного представления информации можно удобно разделять сигнал на нужные исследователю множества. Также можно отметить, что для достижения высокой эффективности задачу обнаружения QRS-комплекса и обработки электрокардиограмм необходимо решать комбинацией разных методов, создающих один вычислительный комплекс. Важным пунктом при его создании, является разработка стартовых ступеней работы с исходным сигналом, определении в каком виде входная информация дойдет до аналитических составляющих комплекса, выполняющих интеллектуальную обработку данных.

Созданная программа может успешно применяться на практике. Файлы от низкочастотных кардиографов позволяют добиться наиболее эффективного использования программы, максимально реализующего заложенные в алгоритмы возможности. Таким образом, наиболее целесообразно применение программы в слабо оснащенных медицинских учреждениях или при выполнении исследовательских работ, при ограниченных возможностях в техническом оснащении. Отдельно можно рассматривать перспективы использования алгоритмов для работы в портативных устройствах (активно развивающемся в сегодняшнее время инженерном направлении), при соответствующей модификации программного обеспечения.

Текущие возможности программы позволяют повысить удобство в работе кардиолога, особенно при рассмотрении зашумленных файлах. Сам QRS-детектор представляет собой необходимую стартовую ступень в реализации более сложных методов автоматической обработки электрокардиограмм для различных функциональных целей, однако от него непосредственно зависит эффективность их использования.

Среди дальнейших возможностей применения нейронных сетей в задаче обработке сигнала ЭКГ можно выделить в первую очередь создание нейросетевого классификатора сердцебиений, который должен будет учитывать изменчивость волны каждого нового удара. Также, возможна разработка средств, для

обнаружения и определения свойств аритмических периодов в работе сердца. Такая система может четко определять места начала и окончания аномальных участков ЭКГ и давать экспертную оценку по ним.

Список литературы

1. Чупраков П.Г. Применение нейросетей для анализа ЭКГ [Электронный ресурс] / ВятГУ. ИМИС, ФКиФМН, каф. ФИиПМ. - Электрон. текстовые дан. // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017): сб. ст. : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : НПК-2017, 1-29 апр. 2017 г. / ВятГУ. - Киров, 2017. - С. 2355-2369. - ISBN 978-5-98288-130-2.

2. Shing-Hong Liu, Da-Chuan Cheng, Chin-Ming Lin. Arrhythmia Identification with Two-Lead Electrocardiograms Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines for a Portable ECG Monitor System, M: Sensors, 2013. – P. 814 – 828

Автоматизация котельных систем

Шевелёв Р.А.[a], Вахрушев В.Ю.[b]
магистрант кафедры автоматики и телемеханики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
email: tvvrsk@mail.ru[a], vahrushev@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В данной статье приведены описание котельных установок, задачи их автоматизации, актуальность и несколько способов автоматизации котельной, исходя из её функционала и поставленных задач. Предложены и описаны несколько подходов к автоматизации, перечислены преимущества и недостатки каждого из подходов, также перечислены основные функции котельных систем, составлены структурные схемы для каждого из подходов, и приведено описание для каждой из схем. В первом случае щит управления, расположенный в диспетчерском пункте или по месту, отвечающий за группу котлов, будет формировать управляющие воздействия на исполнительные механизмы, используя данные с датчиков. Во втором случае вместо щита управления используется плата, которая принимает на себя функцию приёмника-передатчика сигналов с датчиков и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Функцию обработки данных и выбора воздействия берут на себя облачные технологии. В третьем случае представлен подход, который объединяет положительные стороны предыдущих двух.

Ключевые слова: котельная, шкаф управления котлом, котёл, способы реализации.

Одним из способов отопления помещений является котельная. Котельная — комплекс технологически связанных тепловых энергоустановок, расположенных в обособленных производственных зданиях, встроенных, пристроенных или надстроенных помещениях с котлами, водонагревателями (в том числе установками нетрадиционного способа получения тепловой энергии) и котельно-вспомогательным оборудованием, предназначенный для выработки теплоты. В качестве водонагревательного элемента используются газовые, угольные или дизельные котлы [1].

Очевидно, что расположение котельной, её функционал и оборудование напрямую зависят от функций, возлагаемых на весь комплекс: это может быть как отопление частного сектора, так и производство теплоты в промышленных целях. Общая схема котельной представлена на рис. 1.



Рисунок 1. Общая схема котельной (один котёл)

В частных домах, как и на уровне предприятия, вся автоматика котла имеет единый центр управления, расположенный в шкафу управления котлом. В масштабах частного сектора (несколько жилых домов) обслуживание подобной котельной обходится незначительными суммами, по сравнению с предприятиями. Это не только эксплуатация системы, но и её ремонт, масштабирование, управление и т.п.

Шкаф управления котлом (ШУК) предназначен для организации процесса эффективного сжигания и экономии топлива при производстве тепловой энергии и пара для технологических нужд, теплоснабжения и обеспечения производства горячей водой. ШУК выполнен в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов (ПУБЭПВК). Внедрение ШУК повышает эффективность функционирования котла, в том числе: снижает потребление энергоресурсов, улучшает экологические условия эксплуатации котельной, повышает производительность оборудования, снижает влияние человеческого фактора в производственном процессе, повышает надежность и оперативность управления технологическим процессом, повышает культуру производства.

Областью применения ШУК являются технологические процессы, реализуемые паровыми и водогрейными котлами, в том числе котлами, работающими в водогрейном режиме, типа ДЕ, ДКВР, КВГМ, ПТВМ, Е и др. Шкаф входит в состав системы управления технологическим оборудованием котла [2].

ШУК работает в составе системы управления котлом, включающей помимо шкафа щиты частотного регулирования (ЩЧР) для дымососа и вентилятора, КИП, запорные и регулирующие клапаны, рис. 2.

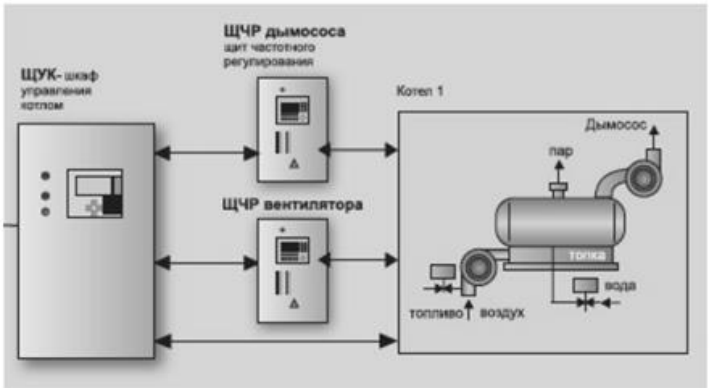


Рисунок 2. Состав системы

Основные функции ШУК

Система управления котлом разбита на 12 подсистем:

- подсистема подачи газа;
- подсистема подачи мазута;
- подсистема розжига и контроля горения;
- подсистема регулирования подачи воздуха;
- подсистема регулирования разрежения;
- подсистема регулирования уровня воды в барабане;
- подсистема регулирования непрерывной продувки;
- подсистема контроля параметров пара;
- подсистема безопасности;
- подсистема учета;
- подсистема проверки герметичности запорной арматуры;
- подсистема визуализации и интерфейса с пользователем.

Модели шкафов различаются в зависимости от вариантов реализации управления в каждой из подсистем. Схемой автоматики шкафа могут быть реализованы следующие функции:

- контроль давления газа перед горелкой;
- контроль разрежения в топке;
- контроль давления пара;

- контроль давления воздуха после дутьевого вентилятора;
- контроль погасания факела;
- контроль уровня воды в барабане котла;
- контроль герметичности клапанов;
- контроль давления жидкого топлива;
- контроль содержания O2 и CO в отходящих газах;
- контроль температуры питательной воды;
- контроль температуры отходящих газов до экономайзера;
- контроль температуры отходящих газов после экономайзера;
- контроль температуры пара от котла;
- контроль температуры воздуха, подаваемого к котлу;
- контроль расхода пара от котла;
- контроль давления газа перед горелками 1-6;
- контроль давления воздуха к горелкам 1-6;
- контроль проводимости котловой воды;
- контроль давления газа перед регулирующим клапаном;
- контроль давления питательной воды;
- контроль расхода питательной воды;
- контроль температуры газа;
- контроль положения исполнительных механизмов регуляторов;
- автоматический розжиг котла;
- автоматическое регулирование уровня воды в барабане котла;
- автоматическое регулирование давления пара в барабане котла;
- автоматическое регулирование давления воздуха на горение (управление частотным преобразователем вентилятора подачи воздуха на горение);
- автоматическое регулирование разрежения в топке котла (управление частотным преобразователем вентилятора дымососа);
- автоматическое регулирование непрерывной продувки котла;
- возможность перепрограммирования характеристик управления технологическим процессом в соответствии с режимной картой котла;

- ведение протокола параметров технологического процесса в течение всего времени с последующей записью в память для анализа;
- защита котла при поступлении сигналов от блоков пожарной сигнализации и обнаружения задымления;
- типовая защита котла в соответствии с ПУБЭПВК, в том числе при:

✓ погасании контролируемого пламени горелок;

✓ недопустимом повышении или понижении давления газообразного топлива перед горелками;

✓ недопустимом повышении давления пара;

✓ недопустимом понижении давления воздуха перед горелками или отключении дутьевого вентилятора;

✓ недопустимом уменьшении разрежения в топке или отключении дымососов;

✓ снижении уровня воды ниже нижнего допустимого предела;

✓ повышении уровня воды выше высшего допустимого предела;

✓ снижении расхода воды через водогрейный котёл ниже минимального допустимого значения;

✓ снижении давления воды в тракте водогрейного котла ниже допустимого;

✓ повышении температуры воды на выходе из водогрейного котла до значения на 20°С ниже температуры насыщения, соответствующей рабочему давлению воды в выходном коллекторе котла;

- формирование световой и звуковой сигнализации при возникновении аварийных ситуаций и при выходе параметров за допустимые пределы.

Применение системы управления котлом обеспечивает:

- повышение точности регулирования параметров технологического процесса;
- экономию энергоресурсов: газа от 3%, электроэнергии от 30% (по опыту внедрения);
- расширение информационных и управляющих функций системы;

- отображение техпроцесса графическое и буквенно-цифровое;
- вывод и архивацию аварийных сообщений;
- вывод и архивацию в графическом и буквенно-цифровом виде параметров техпроцесса.

Задача автоматизации котельных заключается в уменьшении расходов на ремонт оборудования и эксплуатацию котлов, не уменьшая при этом их функционал. Зачастую встречается ситуация, когда на предприятии за одним котлом закреплён отдельный ШУК, что крайне увеличивает расходы.

Предлагается внести незначительные изменения в систему и закрепить управление котлами за альтернативными способами управления на предприятии. Для этого необходимо изучить обработку данных ШУК-ом и отправку с него управляющих воздействий на котёл.

Большинство современных предприятий используют для обработки информации, поступающей с датчиков, оперативно-информационный комплекс (ОИК), либо облачные технологии. Если рассматривать автоматизацию в перспективе развития предприятия, то рекомендуется поручить обработку информации ОИК либо облаку, а управлять котлами при помощи контроллеров или плат управления. Таким образом мы избавляемся от проблемы обслуживания отдельных ШУК-ов, также оптимизируем работу самого предприятия.

Способы реализации задачи приведены на рис. 3.а, 3.б и 3.в соответственно. В случае, изображённом на рис. 3.а, щит управления (ЩУ), расположенный в диспетчерском пункте или по месту, отвечающий за группу котлов, будет формировать управляющие воздействия на исполнительные механизмы, используя данные с датчиков. Данный подход подразумевает наличие большого числа проводов, которые будут подведены как от датчиков к самому щиту, так и от него на исполнительные механизмы. Это увеличивает затраты на автоматизацию, но при этом повышает надёжность обработки сигналов, исключая потерю связи с облаком или ошибку принятия управляющих пакетов данных, как в случае с платой управления (ПУ).

В подходе, изображённом на рис. 3.б, вместо ЩУ используется плата, которая принимает на себя функцию приёмника-передатчика сигналов с датчиков и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Функцию обработки данных и выбора воздействия берут на себя облачные технологии [3]. В данной ситуации мы уменьшаем затраты на автоматизацию, избавляемся от огромного количества проводов, однако, велика вероятность потери сигнала или утраты пакетов данных, предназначенных для отправки на исполнительные механизмы или получаемых с датчиков на обработку.

На рис. 3.в изображён подход, который объединяет положительные стороны предыдущих двух подходов, так как контроллер, расположенный на ЩУ можно запрограммировать на обработку сигналов с датчиков и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы в случае потери связи с облаком. Также современные контроллеры могут восстанавливать утраченные пакеты данных между облаком и периферией. Реализовать данный подход несложно, и с точки зрения обработки сигналов и надёжности их приёма-передачи является предпочтительным, но есть и минус – дорого.

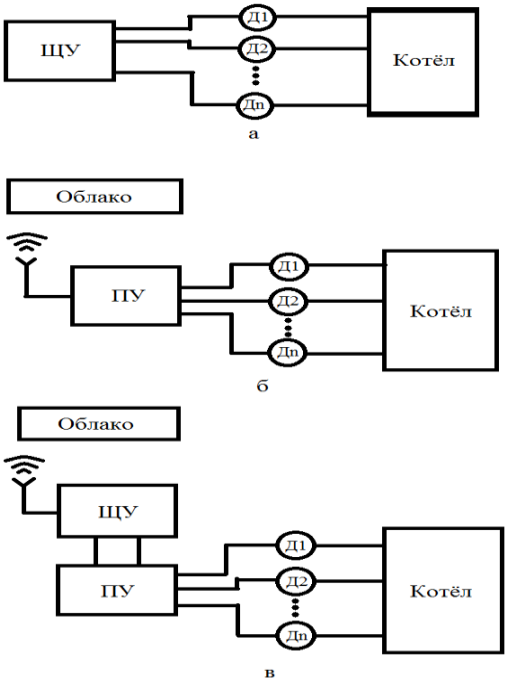


Рисунок 3. Способы реализации задачи

Все три представленных подхода имеют возможность масштабирования путём установки на DIN-рейку дополнительных модулей ввода/вывода, сетевых модулей или контроллеров для улучшения производительности и дополнительной страховки системы при подключении новых котлов.

Список литературы

1. Информационный портал «Газовик». URL: https://gazovik-gas.ru/katalog/articles/oborudovanie_kotelnyh_ustanovok/ (дата обращения 11.12.2018).

2. Информационный портал «ЭНТАС». URL: http://entas.ru/content/shkaf-upravleniya-kotlom-shuk?qt-maintab=1#qt-maintab (дата обращения 11.12.2018).

3. Облачные технологии. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F (дата обращения 11.12.2018).

К вопросу о подогреве подпиточной воды во встроенном пучке конденсатора турбоустановки ПТ-60-90/13 ст. №6 Ефремовской ТЭЦ

Шемпелев А. Г.[a], Иглин П. В.[b], Крупин Д. Ф.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики[b]
преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: agshem@mail.ru[a], 89615663193@mail.ru[b], kdf90@mail.ru[c]

Аннотация: В работе рассмотрен вопрос возможности подогрева подпиточной воды во встроенном пучке конденсатора на примере конденсатора 60КЦС турбоустановки ПТ-60-90/13 Ефремовской ТЭЦ. Определены режимы работы турбоустановки, в которых возможен требуемый нагрев сырой воды во встроенных пучках. Для наглядности все исследования проиллюстрированы различными зависимостями, построенными с помощью математической модели конденсатора паротурбиной установки. Установлено, что требуемая температура воды на выходе из конденсатора может быть достигнута только при использовании плотной диафрагмы и при давлении в теплофикационном отборе менее 40 кПа.

Сделаны выводы, что использование рассматриваемого мероприятия не позволяет осуществлять надежную эксплуатацию турбоустановки вследствие целого ряда ограничений: по величине нагрева в воды во встроенном пучке, давлению в конденсаторе, разогреву последних ступеней и выходного патрубка, увеличению вибрационных напряжений в лопатках последних ступеней, опасности их эрозионного повреждения, состоянию регулирующей диафрагмы и основных эжекторов турбоустановки.

Ключевые слова: конденсатор, турбоустановка, встроенные пучки конденсатора, теплофикационный режим работы, математическая модель конденсатора.

Введение.

Конденсационная установка является важной системой паротурбинной установки, в ней происходит отвод тепла в цикле тепловой электростанции (ТЭС), а также она является первой ступенью деаэрации воды на ТЭС. Поэтому до сих пор является актуальным вопрос о повышении эффективности работы конденсатора, а значит и ТЭС в целом. Одним из направлений повышения эффективности является снижение потерь теплоты в нем. Данная проблем встала и на Ефремовской ТЭЦ для конденсатора 60 КЦС.

Постановка цели и задач исследования.

Целью работы рассматривается предложение о подогреве во встроенном пучке конденсатора 60КЦС добавочной воды при отключенных основных пучках для исключения потерь теплоты в холодном источнике. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Определить условия, при которых возможна реализация предлагаемого мероприятия.

2. Сравнить полученные условия с реальными условиями эксплуатации.

3. Сравнить характеристики конденсатора, полученные при проведении мероприятия с расчетными характеристиками при нормальной работе.

4. Сделать вывод о применимости подогрева воды во встроенных пучках конденсатора турбоустановки ПТ-60-90/13.

Методы исследования.

Для проведения оценки возможности подогрева подпиточной воды во встроенных пучках конденсатора использовалась математическая модель конденсатора паротурбинной установки, разработанная на кафедре теплотехники и гидравлики ВятГУ [Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ], она позволяет определять основные параметры конденсатора.

Результаты исследований, их обсуждение.

Для исключения потерь теплоты в холодном источнике рассматривается предложение о подогреве во встроенном пучке конденсатора 60КЦС 200 т/ч добавочной воды при отключенных основных пучках. Нагрев сырой воды предполагается осуществлять от исходной температуры 5 °С до температуры на выходе из пучка 40 °С. Следует отметить, что в нормативных характеристиках конденсатора минимальное количество воды, подогреваемой во встроенных пучках, ограничено величиной 300 т/ч, поэтому практическое использование данного предложения требует проведения дополнительных расчетов и экспериментальных исследований.

При проведении предварительных расчетов, прежде всего, необходимо установить зависимость температуры воды на выходе из встроенного пучка от расхода пара в конденсатор. Указанная зависимость показана на Рис. 1.

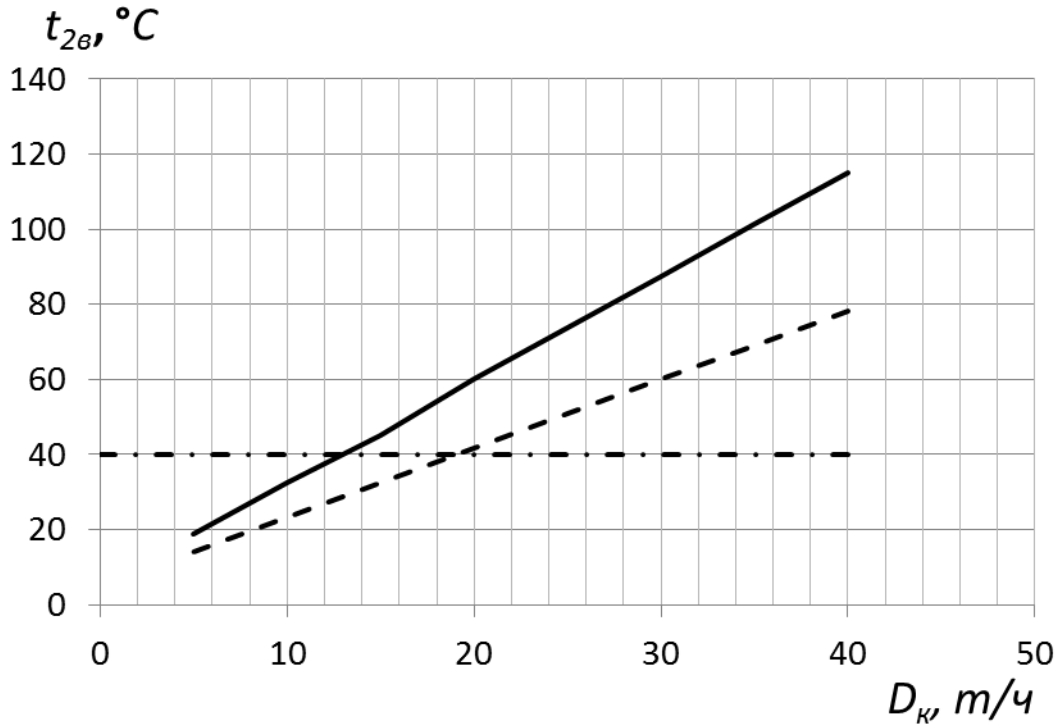


Рисунок 1. Зависимость температуры воды на выходе из встроенного пучка от расхода пара в конденсатор при температуре воды на входе 5 °С.
——— – расход охлаждающей воды W = 200 т/ч.
– – – – – – расход охлаждающей воды W = 300 т/ч.
– · – · – · – – допустимое значение температуры на выходе из встроенного пучка

Приведенные на рисунке данные позволяют определить расход пара в конденсационную установку, соответствующий максимально допустимой температуре воды на выходе 40 °С, который составляет $D_{доп}$ = 13 т/ч при ее расходе W = 200 т/ч, против $D_{доп}$ = 20 т/ч при ее расходе W = 300т/ч.

Определим, теперь, на каких режимах работы турбоустановки (ТУ) возможен требуемый нагрев сырой воды. Для этого воспользуемся математической моделью конденсатора, на основе которой создана программа поверочного теплового расчета конденсаторов [Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ]. Результаты верификации используемой математической модели приведены в [Шемпелев, 2015, с. 63].

Для наглядного сравнения результатов расчетов, получаемых по используемой математической модели, с нормативной характеристикой на Рис. 2 пред-

ставлены зависимости температуры насыщения в конденсаторе от расхода в него пара (см. зависимости 1 и 2) при расходе воды через встроенный пучок 300 т/ч. При проведении расчетов присосы воздуха в конденсатор были приняты нормативным – 12 кг/ч, коэффициент состояния поверхности теплообмена (а) – 0,8.

Данные, показанные на Рис. 2, позволяют сделать вывод о практически полном совпадении нормативных и расчетных характеристик при расходе пара в конденсатор свыше 16,5 т/ч, при меньших расходах пара в конденсатор отмечается некоторое расхождение характеристик, что объясняется переходом конденсатора на режим работы, при котором давление в конденсационной установке становится зависимым от давления всасывания эжектора, то есть от его характеристики [Шемпелев, 2015, с. 62]. Такой переход при построении нормативных характеристик не был учтен.

На этом же рисунке показана зависимость при расходе воды через встроенный пучок 200 т/ч (см. зависимость 3), построенная для прочих равных условий, что и зависимость 1. Здесь переход конденсатора на режим работы ограниченный эжектором наблюдается при расходах пара 16 т/ч.

Следует отметить, что при расходе воды 200 т/ч скорость воды в трубках встроенного пучка составляет 0,218 м/с, то есть существенно меньше минимальной рекомендуемой (0,7-0,8 м/с), что неизбежно приведет к загрязнению внутренних поверхностей теплообмена встроенного пучка и повышению давления в конденсаторе (Рис. 3).

Результаты, представленные на Рис. 1-3, позволяют предположить, что нагрев воды во встроенном пучке до заданной температуры возможен только на режимах работы турбоустановки с закрытой диафрагмой.

Известно, что на указанных режимах величина пропуска пара в конденсатор определяется плотностью диафрагмы и давлением в отопительном отборе. На Рис. 4 показаны примерные зависимости расхода пара через неуплотненную и уплотненную диафрагмы от величины давления в теплофикационном отборе. Зависимости построены на основе данных, полученных в ходе эксперимента на турбинах типа ПТ.

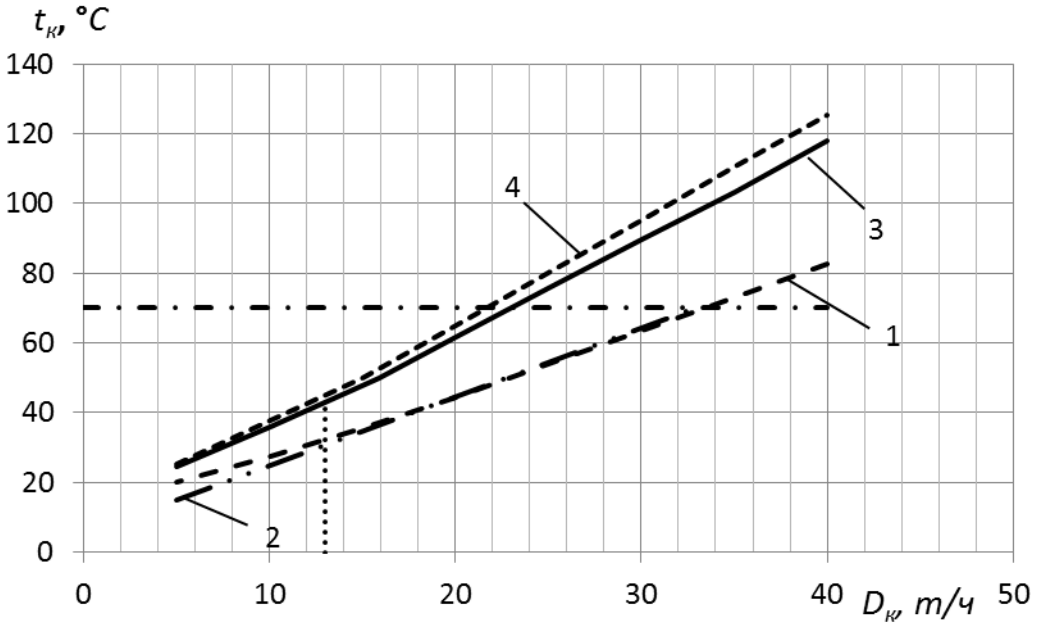


Рисунок 2. Зависимость температуры насыщения при давлении в конденсаторе 60КЦС от расхода в него пара при отключенных основных ручках и подогреве сырой воды во встроенном пучке (начальная температура 5 °С).
1– расчет при W = 300 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, а = 0,8; 2 – нормативная характеристика; 3 – расчет при W = 200 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, а = 0,8; 4 – расчет при W = 200 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, а = 0,3;
– · – · – · – · – – допустимый уровень температуры насыщения в конденсаторе;
· · · · · · · · · – допустимый уровень расхода пара в конденсатор по температуре нагреваемой воды на выходе из встроенного пучка.

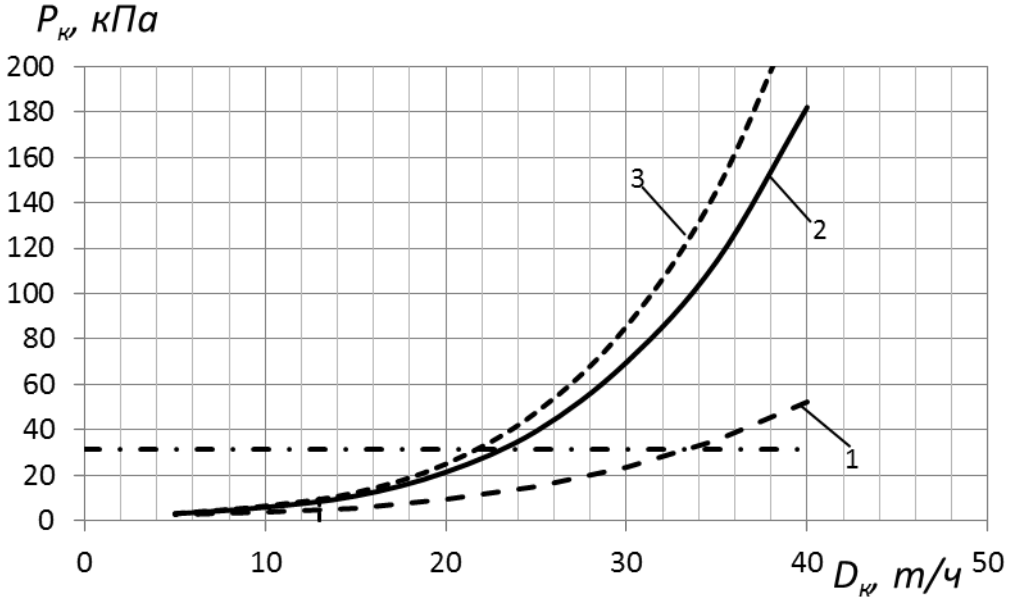


Рисунок 3. Зависимость давления в конденсаторе от расхода в него пара при отключенных основных пучках и подогреве сырой воды во встроенном пучке (начальная температура 5 °С).
1 – расчет при W = 300 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, а = 0,8; 2 – расчет при W = 200 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, а = 0,8; 3 – расчет при W = 200 т/ч, $G_{возд.}$ = 12 кг/ч, a = 0,3;
– · – · – · – · – – допустимый уровень давления в конденсаторе;
· · · · · · · · · – допустимый уровень расхода пара в конденсатор по температуре нагреваемой воды на выходе из встроенного пучка.

В работе [Шемпелев, 2014, с. 41] было показано, что в конденсатор помимо проточной части также поступает теплота с конденсатом рециркуляции, с паровоздушной смесью из сетевых и регенеративных подогревателей и с дренажами теплообменников контура рециркуляции. При расчете количества тепла, поступающего в конденсатор, необходимо учитывать приведенные потоки. Для турбоустановок типа ПТ сумма тепловых потоков, поступающий помимо проточной части, составляет от 7,5 до 9 МВт [Шемпелев, 2014, с. 42], что эквивалентно дополнительному расходу пара в конденсатор от 11,7 до 14 т/ч. Таким образом, при давлении в теплофикационном отборе близком к 100 кПа, даже при наличии плотной регулирующей диафрагмы ЧНД, суммарный поток пара в конденсатор составляет от 17,7 до 20 т/ч.

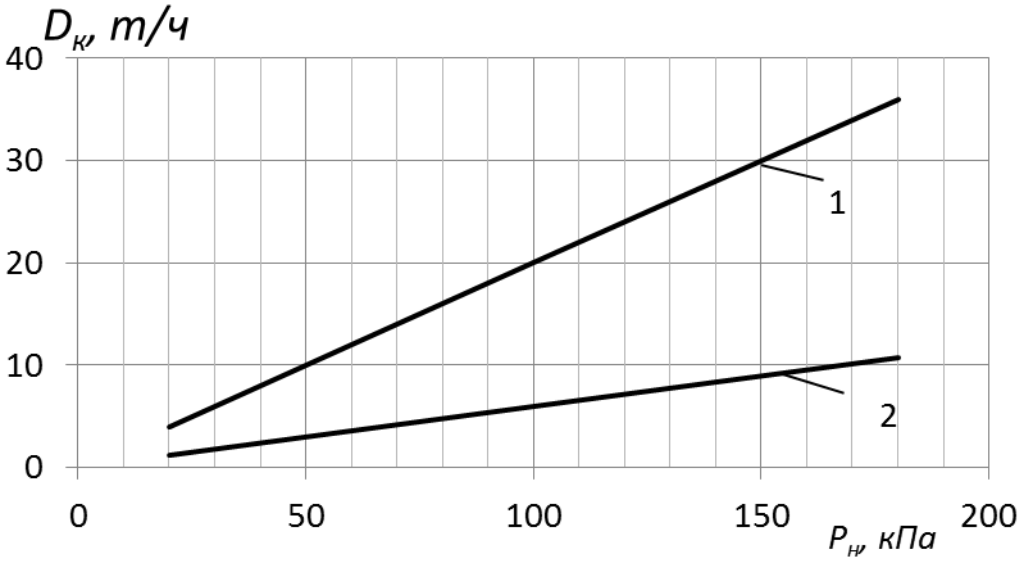


Рисунок 4. Зависимость пропуска пара через закрытую регулирующую диафрагму ЧНД от давления в теплофикационном отборе турбоустановки ПТ-60-90/13:
1 – неплотная диафрагма; 2 – плотная диафрагма.

Заключение.

Проведенные расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Требуемая температура воды на выходе из конденсатора при ее расходе 200 т/ч может быть достигнута только при использовании плотной диафрагмы и при расходах пара в конденсатор 13 т/ч, что достигается при давлении в теплофикационном отборе менее 40 кПа.

2. В рассматриваемом случае (расход пара в конденсатор 17-20 т/ч) давление в конденсаторе будет составлять 18-20 кПа. Опыт эксплуатации и проведенные исследования показали, что при таком уровне давлений резко снижается надежность работы турбины из-за возможности недопустимого разогрева последних ступеней и выхлопа (в результате возрастания вентиляционных потерь, которые пропорциональны плотности), увеличения вибрационных напряжений в рабочих лопатках последних ступеней и опасности эрозионного повреждения их выходных кромок.

3. При работе турбоустановки в теплофикационных режимах давление в конденсаторе существенно зависит от характеристики основного эжектора. Отклонение реальной характеристики эжектора от расчетной (нормативной) также может привести к недопустимому повышению давления в конденсаторе.

4. При оснащении турбоустановки неплотной РД ЧНД ее эксплуатация в рассматриваемых условиях практически невозможна вследствие действующих ограничений по давлению в конденсаторе.

Таким образом, использование данного предложения не позволяет осуществлять надежную эксплуатацию турбоустановки вследствие целого ряда ограничений: по величине нагрева в воды во встроенном пучке, давлению в конденсаторе, разогреву последних ступеней и выходного патрубка, увеличению вибрационных напряжений в лопатках последних ступеней, опасности их эрозионного повреждения, состоянию регулирующей диафрагмы и основных эжекторов турбоустановки.

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014615561, дата регистрации 28.05.2014. Поверочный тепловой расчет конденсаторов паровых турбин / А. Г. Шемпелев, П. В. Иглин (Россия). Заявка №2014613553 от 18 апреля 2014 г. // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности «Программы для ЭВМ. Базы данных. Типологии интегральных микросхем». 2014. №6(92).

2. Шемпелев А. Г., Иглин П. В., Сущих В. М. О результатах сопоставления расчетных и нормативных характеристик конденсаторов паротурбинных установок в широком диапазоне их паровых нагрузок // Энергетик. 2015. №10. С. 60–64.

3. Шемпелев А. Г., Иглин П. В. Результаты экспериментальной оценки составляющих суммарного теплового потока в конденсаторы теплофикационных турбин // Энергетик. 2014. №9. С. 41–43.

Математическая модель асинхронного двигателя, учитывающая реальные факторы, при ШИМ-питании

Шестаков А.В.[a],
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: shestakov@vyatsu.ru[a]

Аннотация: Асинхронные двигатели, работающие в частотно-управляемых электроприводах, получают все более широкое применение. Как известно, управление частотой вращения асинхронных двигателей осуществляется от преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Высшие гармоники, создаваемые импульсным ШИМ-напряжением, оказывают негативное влияние на характеристики асинхронного двигателя, на надежность его изоляции. Поэтому для полноценного исследования и проектирования частотно-управляемых асинхронных двигателей не теряет актуальности задача составления математических моделей асинхронных двигателей, учитывающих влияние реальных факторов, таких как насыщение магнитной системы и коронок зубцов статора и ротора, вытеснение тока в стержнях ротора, угол магнитного запаздывания и других. В статье рассматриваются алгоритм формирования импульсного напряжения при «классической» трехфазной модуляции и математическая модель асинхронного двигателя в прямоугольной системе координат с учетом влияния названных реальных факторов, а также приводятся результаты расчетов по разработанной программе.

Ключевые слова: частотно-управляемый асинхронный двигатель, широтно-импульсная модуляция, угол магнитного запаздывания, насыщение магнитной системы, вытеснение тока в стержнях ротора, алгоритм формирования напряжения, переходные процессы.

Питание асинхронных двигателей от преобразователей частоты находит все более широкое применение в самых различных отраслях экономики. Основным способом формирования управляемого напряжения в настоящее время является широтно-импульсная модуляция (ШИМ) по «классическому» трехфазному закону [Обухов и др., с. 23], [Шрейнер]. Как известно, высшие гармоники питающего напряжения увеличивают потери в асинхронном двигателе и могут привести к старению или электрохимическому пробою изоляции [Di Gerlando, p. 57].

В связи с этим весьма актуальной остается задача моделирования статических характеристик и динамических режимов асинхронных двигателей при

питании ШИМ-напряжением. Для более адекватного моделирования необходимы математические модели, учитывающие реальные факторы, такие как вытеснение тока в обмотках, насыщение магнитной системы и коронок зубцов статора и ротора, угол магнитного запаздывания, вызванный потерями в стали, и других. Поэтому целью данной статьи является описание математической модели асинхронного двигателя с учетом влияния названных факторов и расчет переходных процессов при импульсном напряжении питания.

При формировании «классической» трехфазной ШИМ на одну группу входов системы управления преобразователя частоты подается модулирующий сигнал [Шрейнер, с. 312]:

$$\begin{cases} u_{MA} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t\right); \\ u_{MB} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t - \dfrac{2\pi}{3}\right); \\ u_{MC} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t + \dfrac{2\pi}{3}\right), \end{cases} \quad (1)$$

где u_{MA}, u_{MB}, u_{MC} – модулирующие сигналы соответствующих фаз, f_1 – частота первой гармоники модулируемого напряжения, Гц, t – время, с.

Сигналы, задаваемые по (1), складываются с опорным сигналом несущей частоты $f_{\text{И}}$ (при «классической» трехфазной модуляции первого рода по фронту/срезу импульса):

$$u_{\text{ОП}} = \left(\frac{f_{1\text{Н}}}{f_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{2t}{T_{\text{И}}} + 2n_{\text{ПИ}}\right), \quad (2)$$

где $f_{1\text{Н}}$ – номинальная частота первой гармоники напряжения, Гц; $T_{\text{И}} = 1/f_{\text{И}}$ – период импульса, с; $n_{\text{ПИ}}$ – номер периода импульса; $f_{\text{И}}$ – несущая частота импульсов, Гц. Значение $n_{\text{ПИ}}$ для первого периода импульса принято равным $n_{\text{ПИ}}=0$, а в дальнейшем в каждый следующий период импульса увеличивается на 1 при выполнении условия:

$$\mathrm{int}\left(\frac{t}{T_{\text{И}}}\right) - n_{\text{ПИ}} > 0\,, \tag{3}$$

где int – операция взятия целой части от деления $\frac{t}{T_{\text{И}}}$.

Сравнением сигналов, полученных по (1) и (2), осуществляется формирование потенциалов линейных выводов трехфазной мостовой схемы ШИМ-инвертора:

$$\begin{cases} \varphi_{A,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} > u_{MA}; \\ \varphi_{A,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} \le u_{MA}; \\ \varphi_{B,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} > u_{MB}; \\ \varphi_{B,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} \le u_{MB}; \\ \varphi_{C,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} > u_{MC}; \\ \varphi_{C,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m},\ \text{если}\ u_{\text{ОП}} \le u_{MC}, \end{cases} \tag{4}$$

где $U_{\text{Л}m} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} U_{\text{Ф,ном}} / 2$ – значение постоянного напряжения питания ШИМ-инвертора, В, (без учета пульсаций выпрямителя); $U_{\text{Ф,ном}}$ – номинальное фазное напряжение асинхронного двигателя, В.

После этого определяются значения импульсных линейных напряжений ШИМ-инвертора, В:

$$\begin{cases} u_{AB,\text{ИМП}} = \varphi_{A,\text{ИМП}} - \varphi_{B,\text{ИМП}}; \\ u_{CA,\text{ИМП}} = \varphi_{C,\text{ИМП}} - \varphi_{A,\text{ИМП}}, \end{cases} \tag{5}$$

и значение импульсного фазного напряжения асинхронного двигателя при соединении обмоток в «звезду», В,

$$u_A = \left(\frac{u_{AB,\text{ИМП}} - u_{CA,\text{ИМП}}}{3}\right). \tag{6}$$

Для моделирования переходных процессов в асинхронных двигателях ранее автором была предложена математическая модель на основе дифференциальных уравнений в системе прямоугольных неподвижных координат α, β [Шестаков, с. 71 – 74]:

$$
\begin{cases}
\dfrac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = u_{\alpha s} - R_s \cdot \left(b_{11} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{12} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{13} \cdot \psi_{\beta s} + b_{14} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\
\dfrac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -R_{r\xi} \cdot \left(b_{21} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{22} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{23} \cdot \psi_{\beta s} + \left(b_{24} + \dfrac{\omega_r}{R_{r\xi}} \right) \cdot \psi_{\beta r} \right); \\
\dfrac{d\psi_{\beta s}}{dt} = u_{\beta s} - R_s \cdot \left(b_{31} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{32} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{33} \cdot \psi_{\beta s} + b_{34} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\
\dfrac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -R_{r\xi} \cdot \left(b_{41} \cdot \psi_{\alpha s} + \left(b_{42} - \dfrac{\omega_r}{R_{r\xi}} \right) \cdot \psi_{\alpha r} + b_{43} \cdot \psi_{\beta s} + b_{44} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\
\dfrac{d\omega_r}{dt} = \dfrac{p}{J} \cdot \left(M_{\text{эм}} - M_0 - M_{\text{С}} \right); \\
\dfrac{d\gamma_r}{dt} = \omega_r,
\end{cases}
\tag{7}
$$

где $u_{\alpha s}$, $u_{\beta s}$ – напряжения статорных контуров по осям координат α и β; $\psi_{\alpha s}$, $\psi_{\beta s}, \psi_{\alpha r}$, $\psi_{\beta r}$ – полные потокосцепления обмоток статора и ротора по осям координат α и β; R_s – активное сопротивление обмотки статора; $R_{r\xi}$ – активное сопротивление обмотки ротора с учетом вытеснения тока; b_{11} – b_{44} – коэффициенты обратной матрицы индуктивностей; ω_r – угловая скорость ротора; J – приведенный момент инерции ротора и нагрузочного механизма; $M_{\text{эм}} = \dfrac{pm_1}{2}\left(\psi_{\alpha s} i_{\beta s} - \psi_{\beta s} i_{\alpha s} \right)$ – электромагнитный момент АМ; $i_{\alpha s}$, $i_{\beta s}$, $i_{\alpha r}$, $i_{\beta r}$ – токи обмоток статора и ротора по осям α и β; $M_{\text{С}}$ – момент сопротивления нагрузочного механизма на валу АД; p – число пар полюсов АМ, γ_r – угол поворота ротора. M_0 – момент холостого хода, обусловленный потерями трения в подшипниках $P_{\text{ТР,ПОД}}$, добавочными потерями в стали (поверхностными и пульсационными) $P_{\text{ДОБ}}$ и вентиляционными потерями $P_{\text{ТР,ВЕН}}$,

$$
M_0 = \frac{P_{\text{ТР,ПОД}}}{\omega_{r,\text{НОМ}}} + \frac{P_{\text{ДОБ}} \cdot s^{1,5}}{\omega_{r,\text{НОМ}}} + \frac{P_{\text{ТР,ВЕН}} \cdot \omega_r^2}{\omega_{r,\text{НОМ}}^2},
\tag{8}
$$

$\omega_{r,\text{НОМ}}$ – номинальная угловая скорость ротора; s – скольжение ротора.

В системе (7) мгновенное значение напряжения статорного контура по оси α, равно $u_{\alpha s} = u_A$, рассчитанному по (6). Для формирования напряжения статора $u_{\beta s}$ по оси β необходимо осуществить сдвиг модулирующих сигналов (1) на четверть периода:

$$\begin{cases} u_{MA2} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t + \dfrac{\pi}{2}\right); \\ u_{MB2} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t - \dfrac{2\pi}{3} + \dfrac{\pi}{2}\right); \\ u_{MC2} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t + \dfrac{2\pi}{3} + \dfrac{\pi}{2}\right). \end{cases} \quad (9)$$

После этого необходимо рассчитать значения условных потенциалов линейных выводов ШИМ-инвертора, В,

$$\begin{cases} \varphi_{A2,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MA2}; \\ \varphi_{A2,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MA2}; \\ \varphi_{B2,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MB2}; \\ \varphi_{B2,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MB2}; \\ \varphi_{C2,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MC2}; \\ \varphi_{C2,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MC2}, \end{cases} \quad (10)$$

условных линейных напряжений, В,

$$\begin{cases} u_{AB2,\text{ИМП}} = \varphi_{A2,\text{ИМП}} - \varphi_{B2,\text{ИМП}}; \\ u_{CA2,\text{ИМП}} = \varphi_{C2,\text{ИМП}} - \varphi_{A2,\text{ИМП}}, \end{cases} \quad (11)$$

и напряжение статорного контура по оси β, В,

$$u_{\beta s} = \left(\frac{u_{AB2,\text{ИМП}} - u_{CA2,\text{ИМП}}}{3}\right). \quad (12)$$

Численное решение системы дифференциальных уравнений (7) ведется с временным шагом h, значение которого равно, с:

$$h = \frac{1}{N_{SP} \cdot f_1}, \quad (13)$$

где N_{SP} – число шагов на период первой гармоники исследуемого напряжения, $N_{SP} = \dfrac{f_{\text{И}}}{f_1} \cdot N_{S\text{ПИ}}$, (14)

$N_{SПИ}$ – число шагов на период импульса. Последняя величина также должна быть задана в качестве исходных данных (при приемлемой точности расчетов $N_{SПИ}$ можно задать от 30 до 100).

С применением (1) – (14) была составлена программа **N1chast.bas** на языке Qbasic, и выполнено моделирование пуска асинхронного двигателя при постоянной частоте. Параметры двигателя АИР56А2У3: номинальная мощность $P_{2\text{ном}} = 0{,}180$ кВт; синхронная частота вращения $n_1 = 3000$ мин$^{-1}$; напряжение фазы статора $U_{1ном} = 220$ В; активное сопротивление обмотки статора $R_1 = 51{,}03\ Ом$; индуктивное сопротивление обмотки статора $X_1 = 25{,}506\ Ом$; приведенное активное сопротивление обмотки ротора $R_2^{'} = 31{,}95$ Ом; приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора $X_2^{'} = 29{,}85$ Ом; сопротивление взаимной индукции в ненасыщенном состоянии $X_{12} = 779$ Ом; момент инерции ротора $J = 0{,}00033$ кг$\cdot$м^2; основные потери в стали статора $P_{\text{с,осн}} = 4{,}33$ Вт; основные потери в магнитопроводе ротора, рассчитанные при скольжении, равном единице, $P_{cr,\text{осн}} = 7{,}07$ Вт; механические потери $P_{\text{мех}} = 5{,}64$ Вт; добавочные потери в стали статора $P_{1\text{пул}} + P_{1\text{пов}} = 1{,}01$ Вт; добавочные потери в стали ротора $P_{2\text{пул}} + P_{2\text{пов}} = 1{,}74$ Вт.

Кривая импульсного напряжения для статорного контура по оси α, равного напряжению фазы А статора, смоделированная на основании (1) – (6), приведена на рис. 1 (показан один период).

Результаты моделирования по программе **N1chast.bas** для напряжения $U_{\text{Ф,ном}} = 220$ В, $f_{1\text{Н}} = 50$ Гц при частоте первой гармоники $f_1 = 50$ Гц и несущей частоте импульсов $f_{\text{И}} = 4000$ Гц показаны на рис. 2 – рис. 5.

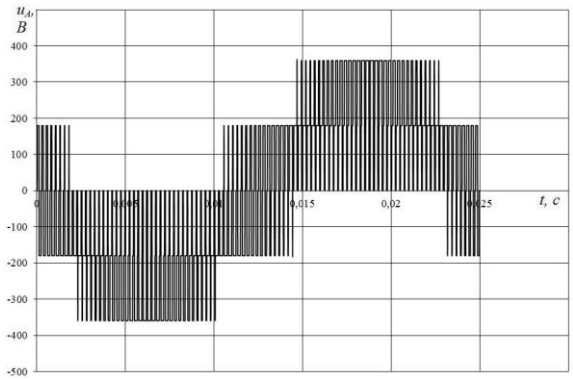


Рисунок 1. Кривая импульсного напряжения фазы А

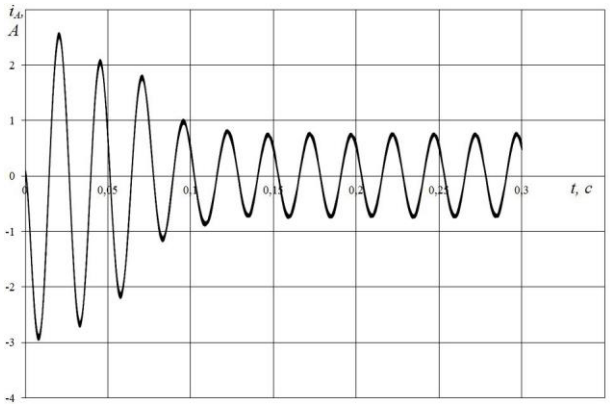


Рисунок 2. Ток фазы А статора асинхронного двигателя АИР56А2У3 при пуске при питании нерегулируемым ШИМ-напряжением

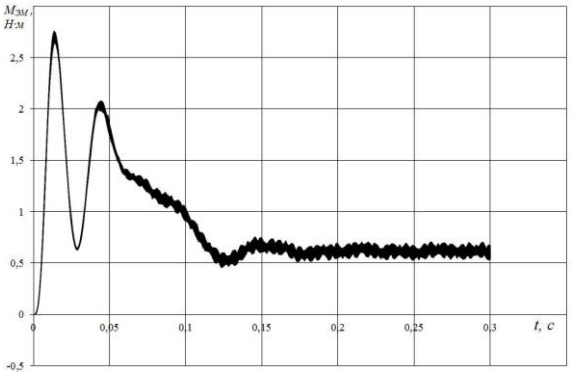


Рисунок 3. Электромагнитный момент асинхронного двигателя АИР56А2У3 при пуске при питании нерегулируемым ШИМ-напряжением

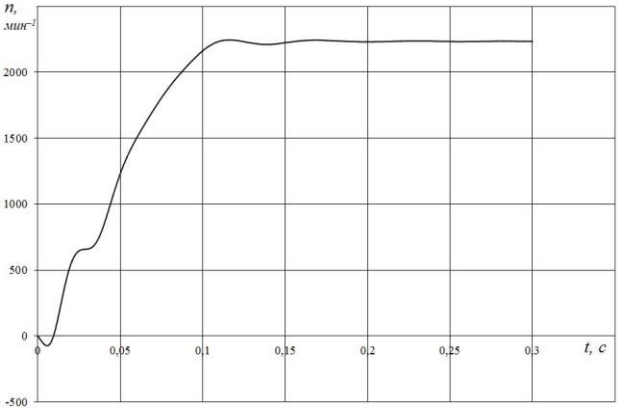


Рисунок 4. Частота вращения асинхронного двигателя АИР56А2У3 при пуске при питании нерегулируемым ШИМ-напряжением

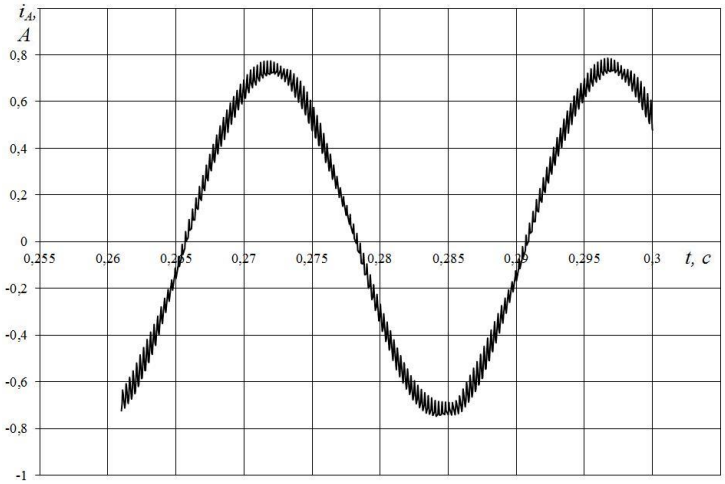


Рисунок 5. Фрагмент графика установившегося тока двигателя АИР56А2У3 при пуске при питании нерегулируемым ШИМ-напряжением

Вывод

Результаты расчетов подтверждают работоспособность предложенной модели асинхронного двигателя. В дальнейшем эта модель может быть использована при исследовании плавного пуска и оптимизационных расчетов управляемых асинхронных электроприводов.

Список литературы

1. Обухов С.Г., Чаплыгин Е.Е., Кондратьев Д.Е. Широтно-импульсная модуляция в трехфазных инверторах напряжения // Электричество. 2008. №8. С. 23–32.

2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование приводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. УРО. Екатеринбург, 2000. 654 с.

3. A. Di Gerlando, R. Perini Evaluation of the Effects of the Voltage Harmonics on the Extra Iron Losses in the Inverter Fed Electromagnetic Devices // IEEE Transactions of Energy Conversion, vol.14, №1, March, 1999. – p. 57 – 65.

4. Шестаков А.В. Электронный симулятор стенда «Исследование трехфазного асинхронного двигателя // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2013. №4. С. 70 – 75.

Моделирование и гармонический анализ импульсного напряжения при синусоидальной широтно-импульсной модуляции

Шестаков А.В.[a],
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов[a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a]
E-mail: shestakov@vyatsu.ru[a]

Аннотация: В современных частотно-управляемых асинхронных электроприводах широко применяются преобразователи с «классической» трехфазной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). При этом высшие гармоники напряжения, имеющиеся в кривой, полученной с помощью названного закона модуляции, оказывают значительное влияние на энергетические показатели асинхронного двигателя. Поэтому актуальной является задача расчета основной и высших гармоник напряжения ШИМ при различных значениях управляемого напряжения и его частоты, а также несущей частоты импульсов. В статье рассматривается реализации алгоритма формирования фазного напряжения, вырабатываемого преобразователем частоты при «классической» трехфазной ШИМ по фронту/срезу импульса, и гармонический анализ полученного напряжения с помощью преобразования Фурье. Приводятся результаты моделирования по составленной программе и сопоставление их с данными авторитетных источников и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, широтно-импульсная модуляция, «классическая» трехфазная модуляция, алгоритм формирования напряжения, гармонический анализ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) широко применяется при формировании напряжения в преобразователях частоты, питающих управляемые асинхронные электроприводы. Существуют различные способы ШИМ в трехфазных системах [Шрейнер], [Обухов и др., с. 23]: «классическая», с предмодуляцией третьей гармоникой, «симплексная» и другие. Для питания частотно-управляемых асинхронных двигателей (ЧУАД) в настоящее время, как правило, используется «классическая» трехфазная модуляция по фронту/срезу импульса [Обухов и др., с. 25], поскольку схема, реализующая названный способ формирования импульсного напряжения, отличается относительной простотой реализации и сравнительно низким содержанием высших гармоник. Тем не менее, пренебрежение высшими гармоническими, содержащимися в кривой напряжения, вырабатываемой ШИМ-инвертором, недопустимо, поскольку эти

гармоники вызывают увеличение магнитных потерь в стали и электрических потерь в обмотках ЧУАД, приводят к понижению энергетических показателей.

В связи со сказанным, актуальным является решение задачи по созданию программы, реализующей алгоритм формирования импульсного напряжения при различных частотах основной гармоники и несущих частотах импульсов, и разложения полученных кривых напряжения ШИМ в гармонический ряд.

В данной статье рассматривается построение алгоритма формирования импульсного напряжения при «классической» трехфазной модуляции первого рода (ШИМ-1) по одностороннему типу (по фронту/срезу импульса). Принцип формирования электрического потенциала $\varphi_{ИМП}$ на одном из линейных выводов мостовой трехфазной схемы приведен на рис. 1. Характер изменения линейного u_{AB} и фазного u_A напряжений при заданном изменении потенциала $\varphi_{ИМП}$ приведен на рис. 2.

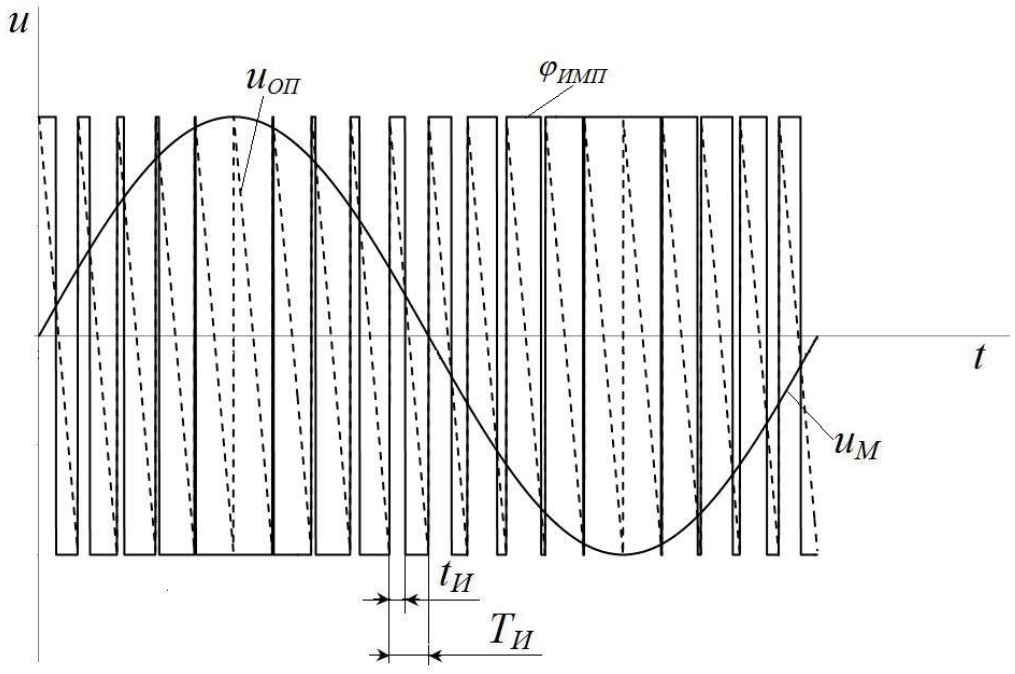


Рисунок 1. Формирование потенциала при «классической» трехфазной модуляции. u_M – модулирующее напряжение основной гармоники, $u_{ОП}$ – опорное линейно изменяющееся напряжение несущей частоты, $\varphi_{ИМП}$ – потенциал линейного вывода мостовой схемы, $T_И$ – период импульса, $t_И$ – длительность импульса

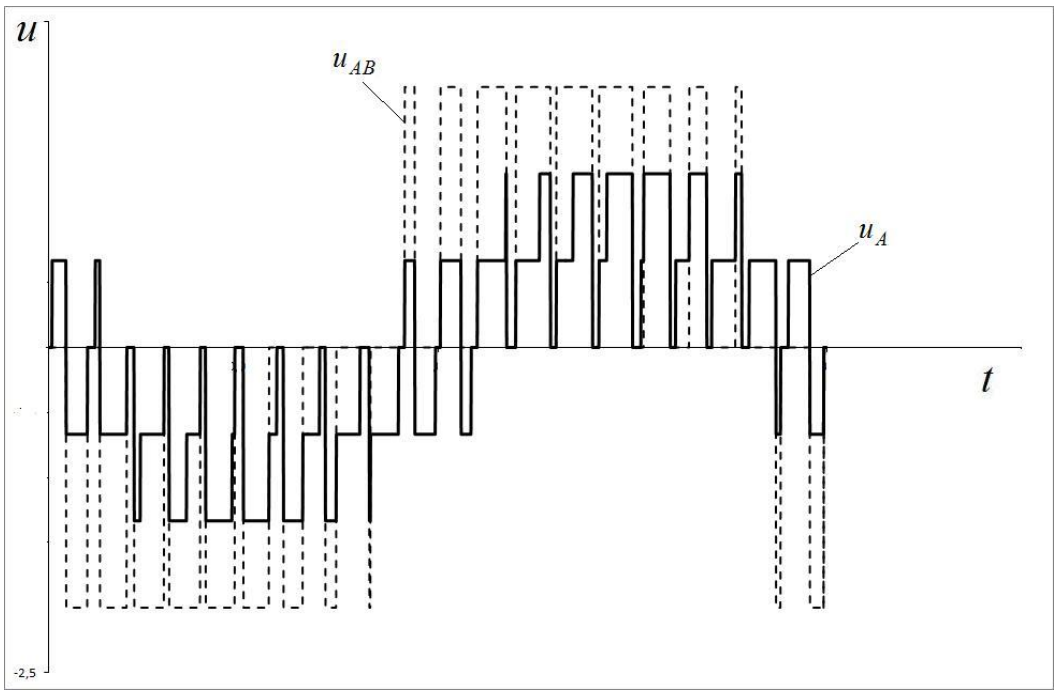


Рисунок 2. Линейное u_{AB} и фазное u_A напряжения инвертора при ШИМ по «классической» трехфазной схеме

При моделировании импульсного напряжения в соответствии с названным выше принципом (рис. 1 и рис. 2) необходимо задаться действующим значением номинального фазного напряжения $U_{\text{Ф,ном}}$, номинальной частотой первой гармоники напряжения $f_{1\text{Н}}$, фактической частотой первой гармоники напряжения f_1, несущей частотой импульсов $f_{\text{И}}$. Моделирование ведется с временным шагом h, значение которого равно, с:

$$h = \frac{1}{N_{SP} \cdot f_1}, \tag{1}$$

где N_{SP} – число шагов на период первой гармоники исследуемого напряжения,

$$N_{SP} = \frac{f_{\text{И}}}{f_1} \cdot N_{S\text{ПИ}}, \tag{2}$$

$N_{S\text{ПИ}}$ – число шагов на период импульса. Последняя величина также должна быть задана в качестве исходных данных (при приемлемой точности расчетов $N_{S\text{ПИ}}$ составляет от 30 до 100).

Опорное линейно изменяющееся напряжение при модуляции по фронту/срезу импульса при регулировании частоты напряжения по закону $\frac{U}{f_1} = const$ определяется следующим соотношением:

$$u_{\text{ОП}} = \left(\frac{f_{1\text{Н}}}{f_1} \right) \cdot \left(1 - \frac{2t}{T_{\text{И}}} + 2n_{\text{ПИ}} \right), \tag{3}$$

где t – текущее время, с, изменяющееся с шагом h; $T_{\text{И}} = 1/f_{\text{И}}$ – период импульса, с; $n_{\text{ПИ}}$ – номер периода импульса. Значение $n_{\text{ПИ}}$ для первого периода импульса принято равным $n_{\text{ПИ}}=0$, а в дальнейшем в каждый следующий период импульса увеличивается на 1 при выполнении условия:

$$\text{int}\left(\frac{t}{T_{\text{И}}} \right) - n_{\text{ПИ}} > 0, \tag{4}$$

где int – операция взятия целой части от деления $\frac{t}{T_{\text{И}}}$.

Значения модулирующих напряжений фаз выражаются следующими законами:

$$\begin{cases} u_{MA} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \right); \\ u_{MB} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t - \frac{2\pi}{3} \right); \\ u_{MC} = \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t + \frac{2\pi}{3} \right). \end{cases} \tag{5}$$

Формирование потенциалов линейных выводов трехфазной мостовой схемы ШИМ-инвертора осуществляется по следующему закону:

$$\begin{cases} \varphi_{A,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MA}; \\ \varphi_{A,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MA}; \\ \varphi_{B,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MB}; \\ \varphi_{B,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MB}; \\ \varphi_{C,\text{ИМП}} = u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} > u_{MC}; \\ \varphi_{C,\text{ИМП}} = -u_{\text{Л}m}, \text{ если } u_{\text{ОП}} \le u_{MC}, \end{cases} \tag{6}$$

где $U_{Лm} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} U_{Ф,ном} / 2$ – значение постоянного напряжения питания ШИМ-инвертора, В, (без учета пульсаций выпрямителя).

Затем рассчитываются значения импульсных линейных напряжений, В:

$$\begin{cases} u_{AB,ИМП} = \varphi_{A,ИМП} - \varphi_{B,ИМП}; \\ u_{CA,ИМП} = \varphi_{C,ИМП} - \varphi_{A,ИМП}, \end{cases} \quad (7)$$

и импульсное фазное напряжение при соединении фаз нагрузки в «звезду», В,

$$u_A = \left(\frac{u_{AB,ИМП} - u_{CA,ИМП}}{3} \right). \quad (8)$$

Расчет по формулам (3) – (8) выполняется на каждом шаге h в течение одного или нескольких периодов импульсного напряжения (по заданию). Одновременно необходимо формировать массив фазных напряжений $u_{A,i}$ и соответствующих значений номеров шага i.

После этого с помощью ряда Фурье [3] выполняется определение составляющих полученного импульсного напряжения, В:

- постоянной

$$u_{A0} = \frac{1}{N_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} u_{A,i}, \quad (9)$$

- синусной

$$B_{A,\nu} = \frac{2}{N_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} u_{A,i} \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot \nu \cdot i}{N_{SP}} \right), \quad (10)$$

- косинусной

$$C_{A,\nu} = \frac{2}{N_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} u_{A,i} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot \nu \cdot i}{N_{SP}} \right), \quad (11)$$

а также начальной фазы соответствующей гармоники, рад,

$$\psi_\nu = \operatorname{arctg}\left(\frac{C_{A,\nu}}{B_{A,\nu}} \right), \quad (12)$$

где ν – номер гармоники. Задаваемое количество гармоник может быть любым.

Затем осуществляется расчет действующего значения каждой гармоники импульсного напряжения, В,

$$U_{A,\nu}=\frac{\sqrt{B_{A,\nu}^2+C_{A,\nu}^2}}{\sqrt{2}}, \tag{13}$$

и действующего значения импульсного напряжения, В,

$$U_A=\sqrt{\sum_{i=1}^{N_{SP}}U_{A,\nu}^2}\,. \tag{14}$$

С использованием (1) – (14) на языке Qbasic составлена программа **UIMPGARM.bas**, и выполнены моделирование и гармонический анализ импульсных напряжений при «классической» трехфазной ШИМ для различных значениях частоты основной гармоники и несущих импульсов. Результаты моделирования по программе **UIMPGARM.bas** для напряжения $U_{\Phi,\text{ном}}=220\,\text{В}$, $f_{1\text{Н}}=50\,\text{Гц}$ при частоте первой гармоники $f_1=50\,\text{Гц}$ и несущей частоте импульсов $f_{\text{И}}=4000\,\text{Гц}$ приведены на рис. 3 – рис. 5.

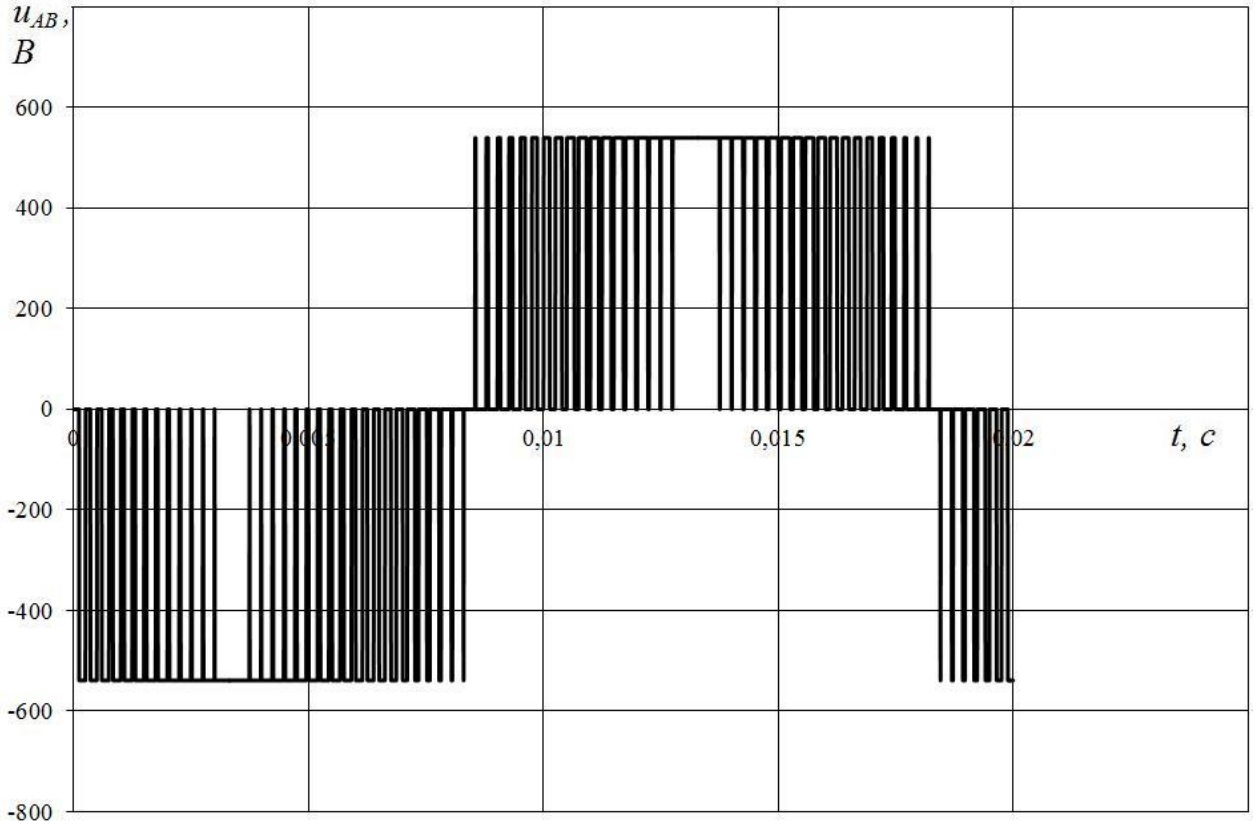


Рисунок 3. Линейное импульсное напряжение при частоте первой гармоники $f_1=50\,\text{Гц}$ и несущей частоте импульсов $f_{\text{И}}=4000\,\text{Гц}$

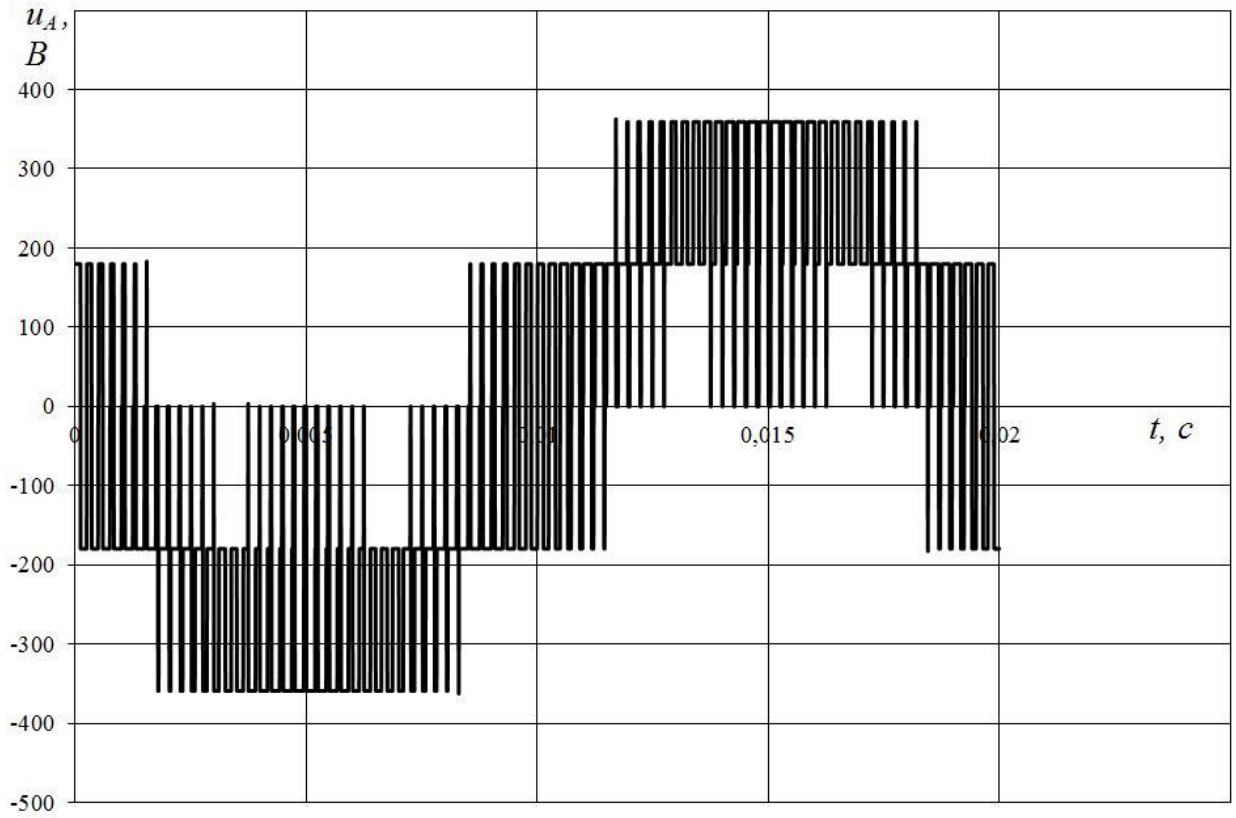


Рисунок 4. Фазное импульсное напряжение при частоте первой гармоники $f_1 = 50$ Гц и несущей частоте импульсов $f_И = 4000$ Гц

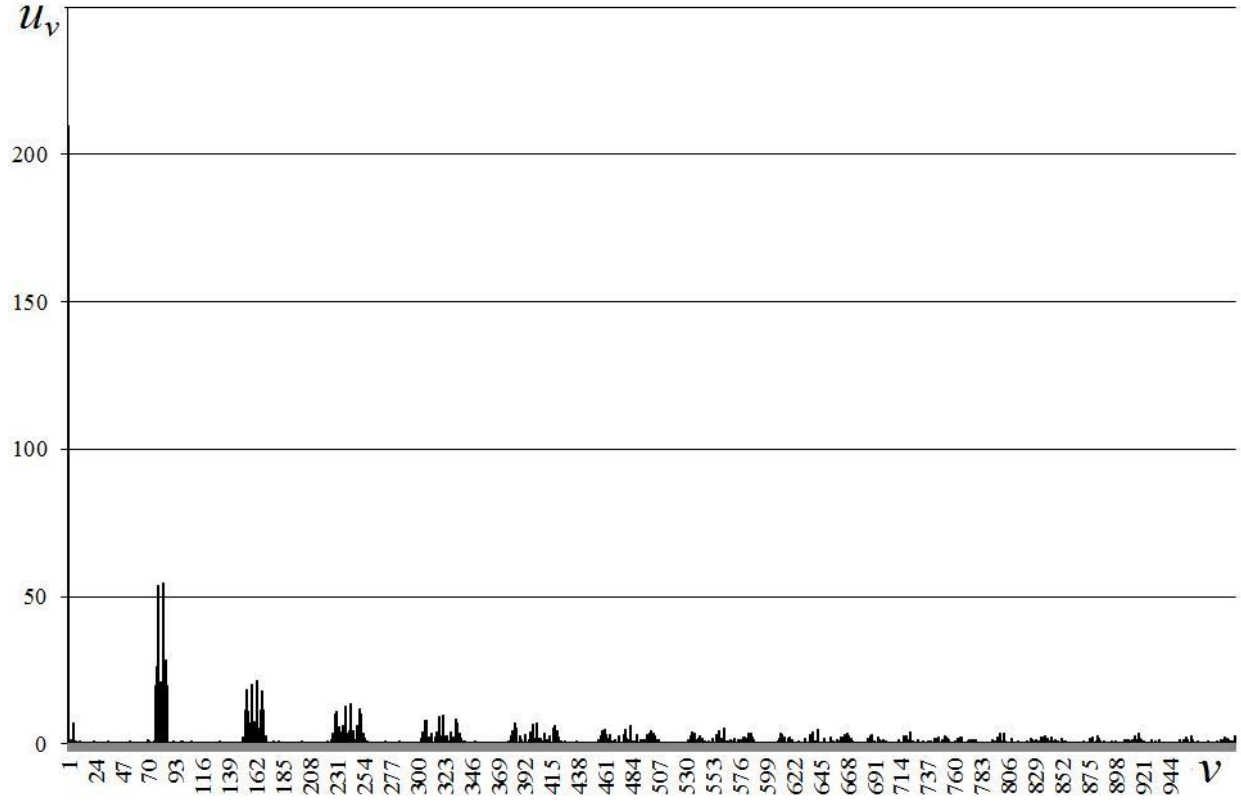


Рисунок 5. Спектр гармонических составляющих фазного напряжения при частоте первой гармоники $f_1 = 50$ Гц и несущей частоте импульсов $f_И = 4000$ Гц

Расчеты показывают, что гармонический состав импульсного напряжения практически полностью совпадает с приведенным в [Обухов и др., табл. 1], а также с результатами, полученными автором опытным путем на преобразователе ATV312H037N4 фирмы Schneider Electric при аналогичных параметрах напряжения [Шестаков, с. 67].

Вывод

Составлены алгоритм и программа, позволяющие с минимальными затратами времени определить гармонический состав импульсного напряжения при «классической» трехфазной широтно-импульсной модуляции. Программа может быть использована для моделирования характеристик и оптимизационных расчетов частотно-управляемых асинхронных двигателей.

Список литературы

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование приводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. УРО. Екатеринбург, 2000. 654 с.

2. Обухов С.Г., Чаплыгин Е.Е., Кондратьев Д.Е. Широтно-импульсная модуляция в трехфазных инверторах напряжения // Электричество. 2008. №8. С. 23–32.

3. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003. 463 с.

4. Шестаков А.В. Моделирование и экспериментальное исследование рабочих характеристик асинхронного двигателя при различных частотах импульсного напряжения питания // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. №2 (554). С. 63 – 72.

Конечно-элементное моделирование продольно-поперечного изгиба балок

Шишкин В. М.[a], Левашов А. П.[b]
доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и строительной механики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: tism1@rambler.ru[a], 6700944@rambler[b]

Аннотация: разработана конечно-элементная методика моделирования статической реакции длинных произвольно закрепленных балок при действии произвольной поперечной и продольной нагрузки с использованием балочного конечного элемента, работающего в рамках гипотез Кирхгоффа-Лява. Для получения уравнений равновесия в деформированном состоянии конечного элемента используется принцип Лагранжа. Построена матрица геометрического жесткости конечного элемента, учитывающая потенциал сжимающих сил в деформированном состоянии балки. Разработана универсальная программа определения напряженно-деформированного состояния при продольно-поперечном изгибе балок на встроенном языке пакета компьютерной математики MATLAB. Проведены численные эксперименты по сравнению конечно-элементного и аналитического решения для балки на двух опорах при действии сжимающей силы и постоянной поперечной погонной нагрузки, подтверждающие достоверность разработанной методики. Дан анализ влияния сжимающей силы на максимальный прогиб балки.

Ключевые слова: конечный элемент; возможная работа; матрица геометрической жесткости.

Существующие методы анализа продольно-поперечного изгиба балок базируются в основном на аналитических методах, возможности которых ограничиваются рамками классических расчетных случаев. Отсюда актуальным является вопрос разработки более универсальных методов, которые можно использовать при произвольной поперечной и продольной нагрузке и любых условиях закрепления балки. Наиболее реальным и удобным для достижения этой цели является метод конечных элементов.

Рассматривается балочный конечный элемент (КЭ) при действии погонной поперечной нагрузки $q(x)$ и сжимающей силы $N^{(e)}$ (рис. 1), работающий в рамках классических гипотез Кирхгоффа-Лява. Жесткость на изгиб EI в пределах элемента считается постоянной. Для получения уравнений равновесия КЭ воспользуемся принципом Лагранжа

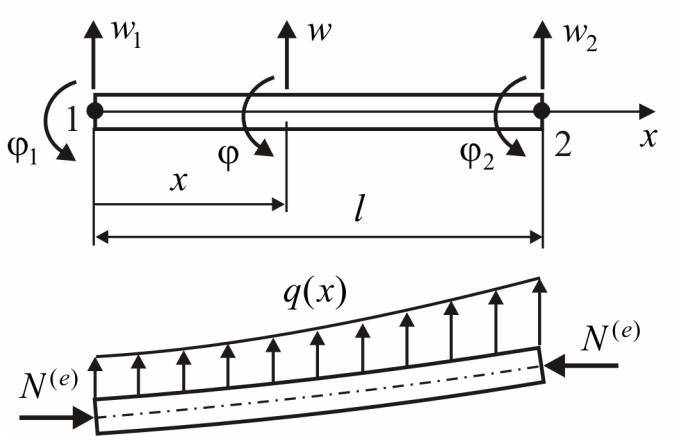


Рисунок 1. Балочный конечный элемент.

$$\delta A = \delta A_M + \delta A_q + \delta A_N = 0. \qquad (1)$$

Здесь δA_M, δA_q, δA_N – соответственно возможная работа изгибающих моментов M, нагрузки $q(x)$ и сжимающей силы $N^{(e)}$ в деформированном состоянии элемента. Величина δA_M определяется выражением

$$\delta A_M = -\int_0^l \delta\chi M dx, \qquad (2)$$

где χ – кривизна оси в произвольном сечении элемента. Далее воспользуемся известными зависимостями

$$\chi = w'', \; M = EI\chi, \qquad (3)$$

а так же аппроксимацией прогиба

$$w = \{N\}^T \{r^{(e)}\}, \qquad (4)$$

где

$$\{r^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} w_1 \\ \varphi_1 \\ w_2 \\ \varphi_2 \end{Bmatrix}; \quad \{N\} = \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{Bmatrix}$$

– соответственно вектор узловых перемещений и базисные функции КЭ:

$$N_1 = 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3}; \; N_2 = x - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2};$$
$$N_3 = \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3}; \; N_4 = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}.$$

Подставляя аппроксимацию (4) в зависимости (3) получаем

$$\chi = \{N''\}^T \{r^{(e)}\},\ M = EI\{N''\}^T \{r^{(e)}\}.$$

С учетом этого выражение (2) можно представить в виде

$$\delta A_M = -\{\delta r^{(e)}\}^T [K^{(e)}]\{r^{(e)}\}, \tag{5}$$

где

$$[K^{(e)}] = EI\int_0^l \{N''\}\{N''\}^T dx = EI\left[\begin{array}{c|c|c|c} 12/l^3 & 6/l^2 & -12/l^3 & 6/l^2 \\ \hline 6/l^2 & 4/l & -6/l^2 & 2/l \\ \hline -12/l^3 & -6/l^2 & 12/l^3 & -6/l^2 \\ \hline 6/l^2 & 2/l & -6/l^2 & 4/l \end{array}\right]$$

– матрица жесткости КЭ.

Найдем возможную работу нагрузки $q(x)$:

$$\delta A_q = \int_0^l \delta w q(x) dx.$$

Подставляя сюда аппроксимацию (4), получаем

$$\delta A_q = \{\delta r^{(e)}\}^T \int_0^l \{N\} q(x) dx. \tag{6}$$

Будем считать, что нагрузка $q(x)$ распределена в пределах элемента по линейному закону

$$q(x) = \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix};\ H_1 = 1 - \frac{x}{l};\ H_1 = \frac{x}{l}.$$

Здесь q_1, q_2 – значения $q(x)$ в узлах 1, 2 элемента. С учетом этого выражение (6) можно привести к виду

$$\delta A_q = \{\delta r^{(e)}\}^T \{P^{(e)}\}, \tag{7}$$

где

$$\{P^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ m_1 \\ P_2 \\ m_2 \end{Bmatrix} = \int_0^l \{N\} \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix}^T dx \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} = \frac{l}{60} \left[\begin{array}{c|c} 21 & 9 \\ \hline 3l & 2l \\ \hline 9 & 21 \\ \hline -2l & -3l \end{array}\right] \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix}$$

– вектор внешних узловых сил КЭ от нагрузки $q(x)$.

При определении возможной работы сжимающей силы $N^{(e)}$ будем считать что данная сила пропорциональна некоторому общему параметру p: $N^{(e)} = pc^{(e)}$, где $c^{(e)}$ – коэффициент пропорциональности. Найдем элементарную работу силы $N^{(e)}$ на бесконечно малом участке dx при повороте его на малый угол φ (рис. 2):

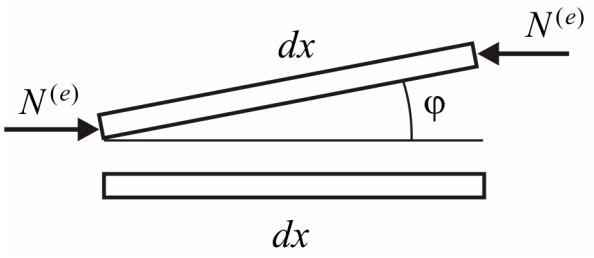


Рисунок 2. Поворот бесконечно малого участка балки

$$dA_N = pc^{(e)}(1-\cos\varphi)dx.$$

Разложим φ в ряд Тейлора в окрестности значения $\varphi = 0$ с точностью до величины второго порядка малости (по сравнению с φ):

$$\cos\varphi = \cos 0 - \varphi^2/2 = 1 - \varphi^2/2 = 1 - (w')^2/2.$$

С учетом этого выражение для dA_N будет таким:

$$dA_N = 0{,}5\,pc^{(e)}(w')^2 dx.$$

Отсюда получаем полную работу A_N и ее вариацию δA_N по w' в деформированном состоянии КЭ:

$$A_N = 0{,}5\,pc^{(e)}\int_0^l (w')^2 dx;\ \ \delta A_N = 0{,}5\,pc^{(e)}\int_0^l \delta w' w' dx.$$

С учетом аппроксимации (4) последнее выражение можно привести к виду

$$\delta A_N = pc^{(e)}\{\delta r^{(e)}\}^T \int_0^l \{N'\}\{N'\}^T dx \{r^{(e)}\} = p\{\delta r^{(e)}\}^T [K_g^{(e)}]\{r^{(e)}\} \qquad (8)$$

где

$$[K_g^{(e)}] = c^{(e)}\int_0^l \{N'\}\{N'\}^T dx = c^{(e)}\left[\begin{array}{c|c|c|c} 6/(5l) & 1/10 & -6/(5l) & 1/10 \\ \hline 1/10 & 2l/15 & -1/10 & -l/30 \\ \hline -6/(5l) & -1/10 & 6/(5l) & -1/10 \\ \hline 1/10 & -l/30 & -1/10 & 2l/15 \end{array}\right]$$

– матрица геометрической жесткости КЭ.

Подставляя (5), (7) и (8) в уравнение (1), получаем

$$-\{\delta r^{(e)}\}^T[K^{(e)}]\{r^{(e)}\}+\{\delta r^{(e)}\}^T\{P^{(e)}\}+p\{\delta r^{(e)}\}^T[K_g^{(e)}]\{r^{(e)}\}=0.$$

Отсюда при условии $\{\delta r^{(e)}\}\neq 0$ и независимости компонент вектора $\{r^{(e)}\}$ следуют уравнения равновесия КЭ

$$([K^{(e)}]-p[K_g^{(e)}])\{r^{(e)}\}=\{P^{(e)}\}.$$

Объединяя данные уравнения по направлениям общих для смежных КЭ узловых перемещений, получаем систему уравнений продольно-поперечного изгиба конечно-элементной модели балки

$$([K]-p[K_g])\{r\}=\{P\}, \qquad (9)$$

где $[K]$, $[K_g]$, $\{r\}$, $\{P\}$ – соответственно матрица физической жесткости, матрица геометрической жесткости, вектор узловых перемещений и вектор внешних узловых сил отмеченной модели.

Рассмотрим тестовый пример продольно-поперечного изгиба балки на двух опорах (рис. 3) при действии поперечной нагрузки $q=300\,\text{Н/м}$ и сжимающей силы $N=\beta N_{\text{кр}}$, где $N_{\text{кр}}$ – критическая сила по Эйлеру; $\beta=0{,}5$. Длина балки L=5 м, жесткость на изгиб $EI=1{,}168\cdot 10^5\,\text{Н}\cdot\text{м}^2$. Балка моделируется 12 элементами одинаковой длины. Так как силы $N^{(e)}$ во всех элементах одинаковы и равны силе N, то параметр $p=N$, а все коэффициенты пропорциональности $c^{(e)}=1$.

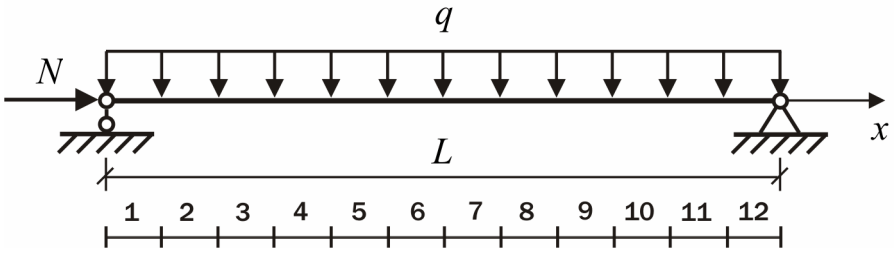


Рисунок 3. Расчетная схема балки

Критическая сила $N_{\text{кр}}$ определяется из системы (9) при $\{P\}=0$ и $p=N$:

$$([K]-N[K_g])\{r\}=0.$$

Последнюю систему можно привести к виду

$$([A]-\lambda[E])\{r\}=0,$$

составляющему содержание стандартной проблемы собственных значений λ_j и собственных векторов $\{r\}_j$ матрицы $[A]=[K]^{-1}[K_g]$, где $\lambda=1/N$; $[E]$ – единичная матрица. Для решения данной проблемы можно использовать встроенную функцию eig математического пакета MATLAB: [V,D]=eig(A). Значения λ_j в порядке их убывания находятся на главной диагонали матрицы D, столбцы матрицы V содержат соответствующие векторы $\{r\}_j$. Тогда $N_{\text{кр}}$=1/D(1,1), а первый столбец матрицы V – форма потери устойчивости балки. Узловые перемещения $\{r\}$ конечно-элементной модели балки от поперечной нагрузки q и с учетом продольной силы N определяются из системы (9) при $p=N$:

$$\{r\}=([K]-N[K_g])^{-1}\{P\}.$$

Ниже приведены значения критической силы, максимального прогиба и максимального изгибающего момента при конечно-элементном решении задачи: $N_{\text{кр}}=46{,}111\,\text{кН}$; $w_{\max}=41{,}881\,\text{мм}$; $M_{\max}=1{,}903\,\text{кН}\cdot\text{м}$. Для сравнения даются результаты аналитического решения рассматриваемой задачи:

$$N_{\text{кр}}=\frac{\pi^2 EI}{L^2};\ w_{\max}=w(L/2)=\frac{q}{EI\alpha^4}\left[\frac{1-\cos\alpha L}{2\cos(\alpha L/2)}+\cos(\alpha L/2)-\frac{\alpha^2L^2}{8}-1\right];$$

$$M_{\max}=M(L/2)=\frac{q}{\alpha^2}\left[\frac{1-\cos\alpha L}{2\cos(\alpha L/2)}+\cos(\alpha L/2)-1\right];\quad \alpha=\sqrt{\frac{N}{EI}}.$$

Подставляя сюда численные значения L, EI и беря снова $N=\beta N_{\text{кр}}$ $(\beta=0{,}5)$, получаем $N_{\text{кр}}=46{,}111\,\text{кН}$, $w_{\max}=41{,}881\,\text{мм}$, $M_{\max}=1{,}903\,\text{кН}\cdot\text{м}$, что совпадает с результатами, полученными при численном решении задачи, и свидетельствует о достоверности разработанной конечно-элементной методики моделирования продольно-поперечного изгиба балок.

На рис. 4 показано влияние параметра β на максимальный прогиб при продольно-поперечном изгибе балки. При параметре $\beta \to 1$ сжимающая сила $N \to N_{кр}$, а прогиб $w_{max} \to \infty$.

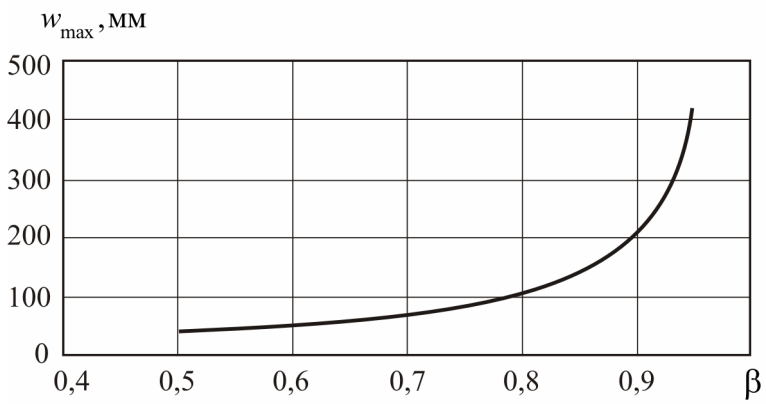


Рисунок 4. Влияние параметра β на максимальный прогиб балки

Предлагаемая методика конечно-элементного анализа продольно-поперечного изгиба балок используется при изучении дисциплины “Нелинейные методы строительной механики” при подготовке магистров по направлению “Строительство” в рамках образовательной программы “Расчет и конструирование зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения”.

Моделирование поперечного изгиба балок с учетом деформационного упрочнения материала

Шишкин В. М.[a], Левашов А. П.[b]
доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и строительной механики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: tism1@rambler.ru[a], 6700944@rambler[b]

Аннотация: в статье предлагается конечно-элементная методика анализа статической реакции балок при действии произвольной поперечной нагрузки с учетом нелинейной зависимости напряжений от деформаций. Для учета работы материала за пределом текучести диаграммы напряжение-деформация используется концепция секущей жесткости на изгиб. Для получения системы уравнений равновесия конечного элемента используется вариационное уравнение Лагранжа. Получена матрица жесткости балочного конечного элемента с учетом линейного закона распределения секущей жесткости на изгиб по его длине. Разработан итерационный алгоритм решения системы определяющих уравнений с пересчетом матрицы жесткости балки в соответствии с достигнутыми значениями секущих жесткостей на изгиб в узлах конечных элементов. Приводится пример определения упруго-пластического расчета неразрезной балки, подтверждающий возможность использования разработанной методики для анализа напряженно-деформированного состояния балок с учетом деформационного упрочнения материала.

Ключевые слова: упруго-пластическое состояние; секущая жесткость на изгиб; конечный элемент.

При определении предельной нагрузки в балках и рамах обычно используется упрощенная упруго-пластическая диаграмма деформирования σ - ε (σ – напряжение, ε – деформация), состоящая из упругого и идеально пластического участков (рис. 1 а), где $\sigma_т$ – предел текучести материала). Однако в случае упруго-пластического расчета балок на заданную нагрузку необходимо учитывать деформационное упрочнение материала: увеличение напряжения σ при $\sigma > \sigma_т$. При этом можно исходить из концепции секущего модуля упругости $E^*(\varepsilon) = \sigma(\varepsilon)/\varepsilon$, принимаемой в деформационной теории пластичности. Но поскольку напряжение σ по высоте поперечного сечения в упруго-пластическом состоянии балки распределено неравномерно, то вместо модуля E^* удобнее использовать секущую жесткость на изгиб $EI^*(\chi) = M(\chi)/\chi$, где χ – кривизна

оси балки. В этом случае вместо диаграммы σ-ε необходимо иметь диаграмму $M-\chi$ (момент-кривизна). Если участок упрочнения материала считать линейным (рис. 1 б), а поперечное сечение балки симметричным относительно нейтральной линии, то диаграмму $M-\chi$ можно построить с использованием зависимостей

$$M = 2\int_0^{h/2} b(z)\sigma(z)z\,dz, \quad \sigma(z) = \begin{cases} E\varepsilon & (\varepsilon \le \varepsilon_т) \\ \sigma_т + (\varepsilon - \varepsilon_т)E_1 & (\varepsilon > \varepsilon_т), \end{cases} \qquad (1)$$

$$\varepsilon = z\chi, \quad \varepsilon_т = \sigma_т / E.$$

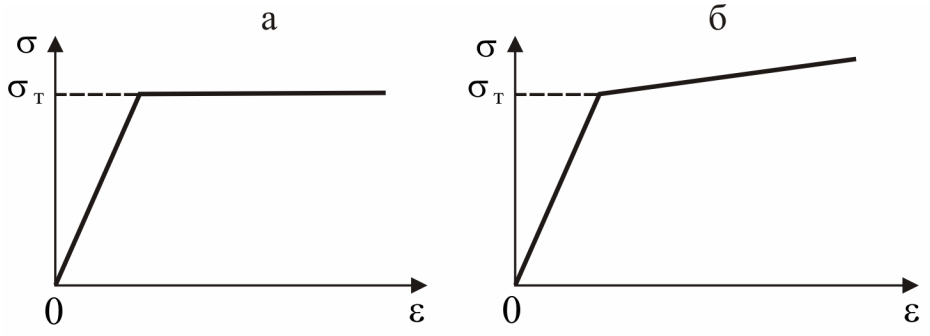


Рисунок 1. Диаграммы деформирования материала: а – идеальная упруго-пластическая; б – упругопластическая с линейным упрочнением

Здесь $b(z)$ – ширина поперечного сечения балки на расстоянии z от нейтральной линии.

Для моделирования упруго-пластического состояния балки выбирается метод конечных элементов с представлением ее совокупностью взаимодействующих в узлах балочных элементов. На рис. (2) представлен балочный конечный элемент (КЭ) с узловыми прогибами w_1, w_2 и углами поворота φ_1, φ_2. Будем считать, что жесткость EI^* в пределах КЭ меняется по линейному закону

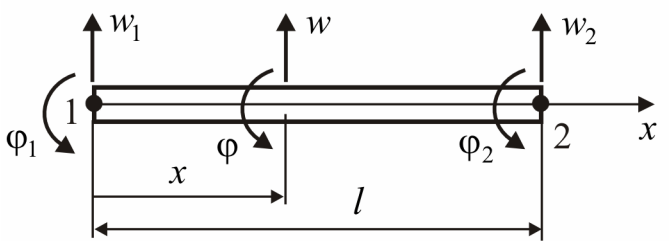


Рисунок 2. Балочный конечный элемент

$$EI^*(x) = EI_1^*\left(1 - \frac{x}{l}\right) + EI_2^*\frac{x}{l}. \qquad (2)$$

Для представления прогиба w в пределах элемента можно использовать аппроксимацию

$$w = \{N\}^T \{r^{(e)}\},$$

где

$$\{r^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} w_1 \\ \varphi_1 \\ w_2 \\ \varphi_2 \end{Bmatrix}; \quad \{N\} = \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{Bmatrix}$$

- соответственно вектор узловых перемещений и базисные функции балочного КЭ:

$$N_1 = 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3};\ N_2 = x - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2};$$
$$N_3 = \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3};\ N_4 = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}.$$

Для получения уравнений равновесия внутренних и внешних узловых сил КЭ воспользуемся принципом Лагранжа

$$\delta A = \int_0^l \delta\chi M dx - \int_0^l q(x)\delta w dx = 0.$$

Здесь $q(x)$ – погонная нагрузка в пределах элемента. Далее используем зависимости

$$M = EI^*(x)\chi,\ \ \chi = w'' = \{N''\}^T \{r^{(e)}\},$$
$$\delta\chi = \{\delta r^{(e)}\}^T \{N''\},\ \ \delta w = \{\delta r^{(e)}\}^T \{N\}.$$

С учетом этого получаем

$$\delta A = \{\delta r^{(e)}\}^T \int_0^l EI^*(x)\{N''\}\{N''\}^T dx \{r^{(e)}\} - \{\delta r^{(e)}\}^T \int_0^l q(x)\{N\}dx = 0.$$

Отсюда при $\{\delta r^{(e)}\} \neq 0$ следует система уравнений

$$[K^{(e)}]^* \{r^{(e)}\} = \{P^{(e)}\}, \qquad (3)$$

где

$$[K^{(e)}]^* = \int_0^l EI^*(x)\{N''\}\{N''\}^T dx, \quad \{P^{(e)}\} = \int_0^l q(x)\{N\}dx$$

– соответственно матрица секущей жесткости и вектор внешних узловых сил (вектор нагрузки) рассматриваемого КЭ. После подстановки в выражение для $[K^{(e)}]^*$ представления (2) и интегрирования получаем

$$[K^{(e)}]^* = EI_1^* \left[\begin{array}{c|c|c|c} 12/l^3 & 6/l^2 & -12/l^3 & 6/l^2 \\ \hline 6/l^2 & 4/l & -6/l^2 & 2/l \\ \hline -12/l^3 & -6/l^2 & 12/l^3 & -6/l^2 \\ \hline 6/l^2 & 2/l & -6/l^2 & 4/l \end{array}\right] -$$

$$-(EI_1^* - EI_2^*) \left[\begin{array}{c|c|c|c} 6/l^3 & 2/l^2 & -6/l^3 & 4/l^2 \\ \hline 2/l^2 & 1/l & -2/l^2 & 1/l \\ \hline -6/l^3 & -2/l^2 & 6/l^3 & -4/l^2 \\ \hline 4/l^2 & 1/l & -4/l^2 & 3/l \end{array}\right]. \qquad (4)$$

Если элемент находится полностью в упругом состоянии, то секущие жесткости на изгиб EI_1^*, EI_2^* в (4) необходимо заменить обычными жесткостями EI_1, EI_2, а матрица $[K^{(e)}]^*$ в этом случае переходит в матрицу упругой жесткости $[K^{(e)}]$.

Для формирования вектора $\{P^{(e)}\}$ необходимо иметь зависимость $q(x)$. Будем считать ее линейной:

$$q(x) = \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix}; \;\; H_1 = 1 - \frac{x}{l}; \;\; H_1 = \frac{x}{l}.$$

Здесь q_1, q_2 – значения $q(x)$ в узлах 1, 2 элемента. После подстановки данного представления в выражение для $\{P^{(e)}\}$ и интегрирования получаем

$$\{P^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ m_1 \\ P_2 \\ m_2 \end{Bmatrix} = \int_0^l \{N\} \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix}^T dx \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} = \frac{l}{60} \left[\begin{array}{c|c} 21 & 9 \\ \hline 3l & 2l \\ \hline 9 & 21 \\ \hline -2l & -3l \end{array}\right] \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix}.$$

Объединяя уравнения (3) по направлениям общих узловых перемещений смежных КЭ, получаем систему уравнений равновесия внутренних и внешних узловых сил конечно-элементной модели балки

$$[K]^*\{r\} = \{P\}. \qquad (5)$$

Необходимо иметь в виду, что секущие жесткости на изгиб EI_1^* и EI_2^* на момент формирования системы (5) еще не известны. Поэтому решение данной системы необходимо итерировать. Для этого можно использовать алгоритм:

1. Определяются узловые перемещения $\{r\}_0$ конечно-элементной модели балки при заданной нагрузке и жесткости на изгиб EI.

2. Находятся значения кривизны в узлах конечных элементов:

$$\begin{Bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \end{Bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c|c|c} -6/l^2 & -4/l & 6/l^2 & -2/l \\ \hline 6/l^2 & 2/l & -6/l^2 & 4/l \end{array}\right] \begin{Bmatrix} w_1 \\ \varphi_1 \\ w_2 \\ \varphi_2 \end{Bmatrix}.$$

3. При найденных χ_1, χ_2 по диаграмме $M-\varphi$ определяется секущие жесткости при изгибе $EI_1^* = M_1/\chi_1$, $EI_2^* = M_2/\chi_2$ в узлах конечных элементов.

4. Определяются узловые перемещения $\{r\}_j$ на текущей итерации при жесткостях EI_1^*, EI_2^* конечных элементов.

5. Проверяется условие

$$\left\|\{r\}_j - \{r\}_{j-1}\right\|_E \Big/ \left\|\{r\}_j\right\|_E \le \psi,$$

где $\left\|\{r\}_j - \{r\}_{j-1}\right\|_E$, $\left\|\{r\}_j\right\|_E$ – нормы Евклида соответствующих векторов, ψ – заданная точность вычислений. При выполнении данного условия итерации прекращаются.

Рассматривается пример определения упруго-пластического состояния балки, нагруженная силами $P_1 = 23{,}5$ кН, $P_2 = 9{,}2$ кН и погонной нагрузкой $q = 16{,}2$ кН/м (рис. 3). Балка разделена на 18 конечных элементов одинаковой длины *l*=0,4 м. Поперечное сечение балки прямоугольное: *b*=25 мм (ширина); *h*=90 мм (высота). Диаграмма $\sigma-\varepsilon$ материала берется билинейной (рис. 1 б). Механические характеристики материала: модуль упругости $E = 2{,}1\cdot 10^5$ МПа; модуль линейного упрочнения $E_1 = 0{,}3\cdot 10^5$ МПа; предел текучести $\sigma_т = 250$ МПа; предел прочности $\sigma_в = 380$ МПа.

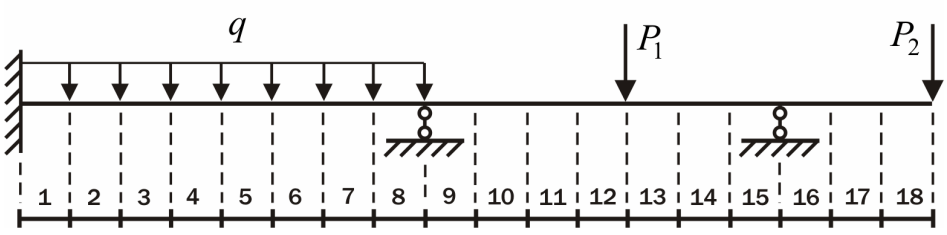


Рисунок 3. Схема нагружения и конечно-элементная модель балки

Диаграмма $M-\chi$ при линейном упрочнении материала и прямоугольном поперечном сечении строится с использованием зависимостей

$$M = 2b\int_0^{h/2}\sigma(z)zdz,$$

$$\sigma(z)=\begin{cases} E\varepsilon & (\varepsilon \le \varepsilon_{\text{т}}) \\ \sigma_{\text{т}} + (\varepsilon-\varepsilon_{\text{т}})E_1 & (\varepsilon > \varepsilon_{\text{т}}), \end{cases}$$

$$\varepsilon = z\chi, \quad \varepsilon_{\text{т}} = \sigma_{\text{т}}/E.$$

Определенный интеграл в первом соотношении находится по формуле трапеций разбиением половины высоты сечения балки на 500 одинаковых участков. $M-\chi$. Полученная таким образом диаграмма $M-\chi$ приведена на рис. 4.

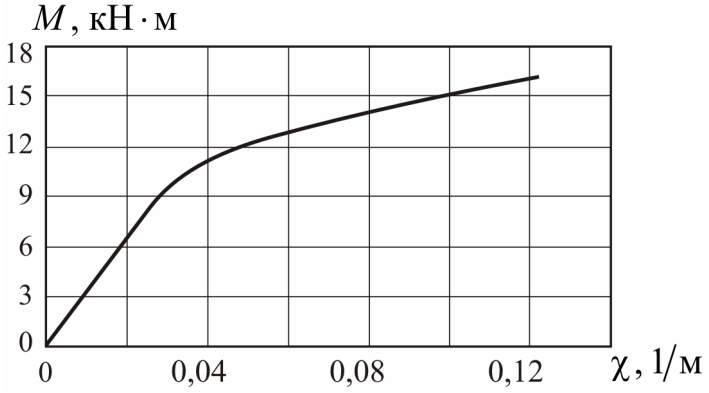


Рисунок 4. Диаграмма $M-\chi$.

Система (5) решалась методом последовательных приближений до выполнения условия

$$\left\|\{r\}_j - \{r\}_{j-1}\right\|_E \Big/ \left\|\{r\}_j\right\|_E \le \psi = 1\cdot 10^{-9}.$$

Для выполнения данного условия потребовалось 13 итераций. На рис. 5÷7 приведены эпюры поперечных сил Q, изгибающих моментов M и прогибов w

при упруго-пластическом изгибе балки (по оси абсцисс отложены номера узлов).

Проверено условие прочности балки $M_{\max} \le [M]$, где $[M]$ - допускаемый изгибающий момент, определяемый по диаграмме $M - \chi$ при допускаемой кривизне $[\chi]$, соответствующей предельной деформации $\varepsilon_{\text{в}}$ на расстоянии $z = h/2$ от нейтральной линии поперечного сечения балки:

$$[\chi] = 2\varepsilon_{\text{в}}/h; \;\; \varepsilon_{\text{в}} = \varepsilon_{\text{т}} + (\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{т}})/E_1 .$$

В результате получены значения $M_{\max} = 16{,}328\,\text{кН}\cdot\text{м}$, $[M] = 15{,}149\,\text{кН}\cdot\text{м}$, показывающие выполнение условия прочности балки.

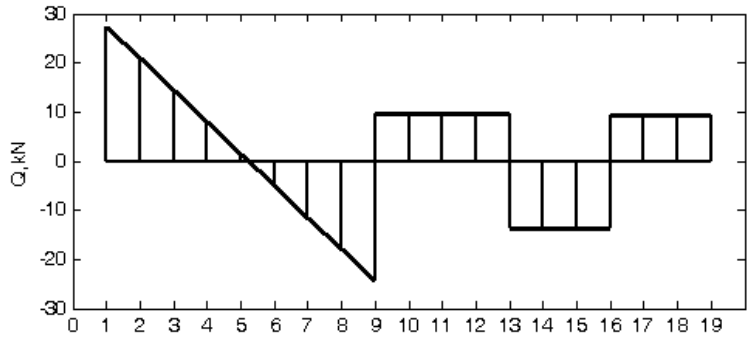


Рисунок 5. Эпюра *Q*

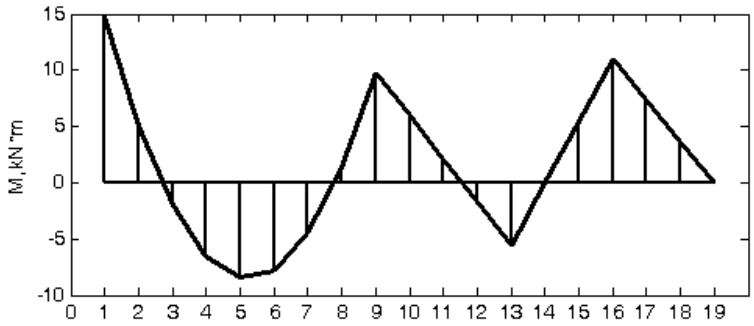


Рисунок 6. Эпюра *M*

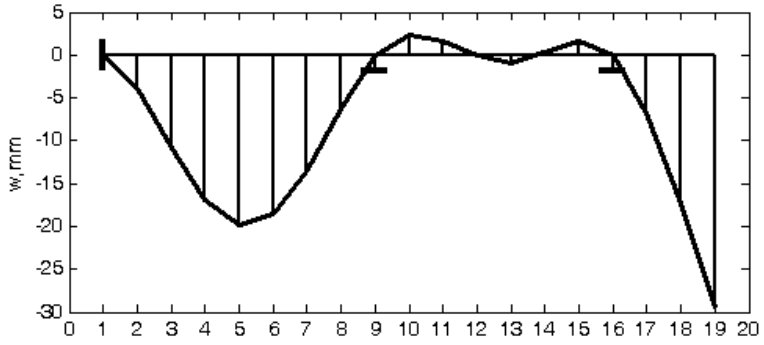


Рисунок 7. Эпюра *w*

Предлагаемая методика конечно-элементного анализа упруго-пластического состояния балок с учетом деформационного упрочнения материала используется при изучении дисциплины “Нелинейные методы строительной механики” при подготовке магистров по направлению “Строительство” в рамках образовательной программы “Расчет и конструирование зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения”.

Учет веса вертикально закрепленного тест-образца при определении упругих свойств материала динамическим способом

Шишкин В. М.[a], Левашов А. П.[b]
доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и строительной механики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и строительной механики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: tism1@rambler.ru[a], 6700944@rambler[b]

Аннотация: получена удобная в практических приложениях приближенная формула для вычисления модуля упругости материала при растяжении-сжатии по экспериментальной частоте колебаний вертикально расположенного тест-образца, учитывающая влияние сил тяжести на его расчетную низшую частоту. Для получения отмеченной приближенной формулы используется дифференциальное уравнение свободных колебаний консольно закрепленной вертикальной удлиненной пластины с учетом ее собственного веса. Решение уравнения осуществляется методом Бубнова-Галеркина с базисной функцией, выбранной в виде нормированной низшей формы свободных колебаний без учета веса пластины. Для сравнения получены определяющие уравнения при конечно-элементном решение задачи определения модуля упругости материала по экспериментальной низшей частоте вертикально закрепленной пластины. Разработан итерационный алгоритм решения полученных определяющих уравнений. Проведены численные эксперименты на тест-образце из оргстекла, подтверждающие достоверность полученной приближенной формулы.

Ключевые слова: тест-образец; колебания; модуль упругости; конечный элемент.

Наиболее достоверную информацию о характеристиках упругости материалов дает динамический способ [Паймушин В.Н. и др., с. 410], основанный на измерении частоты свободных колебаний удлиненных консольных пластин (тест-образцов) и сравнении ее с расчетной частотой основного тона колебаний идеально упругой консольно закрепленной балки

$$\omega = \left(\frac{1{,}875}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} . \qquad (1)$$

Здесь L, EI, m – соответственно длина, жесткость на изгиб и погонная масса балки. В случае прямоугольного поперечного сечения балки формула (1) принимает вид

$$\omega = \left(\frac{1{,}875}{L}\right)^2 h\sqrt{\frac{E}{12\rho}}.$$

Здесь h, ρ – толщина сечения и плотность материала балки. Это дает модуль упругости материала при растяжении-сжатии, выраженный через экспериментальную частоту ω_* тест-образца:

$$E = \frac{12\omega_*^2 \rho L^4}{1{,}875^4 h^2} = \frac{0{,}971\,\omega_*^2 \rho L^4}{h^2}. \qquad (2)$$

Однако, необходимо заметить, что при исследовании упругих свойств материалов в низкочастотных режимах деформирования тест-образцы должны иметь значительную длину. Поэтому для исключения статической составляющей прогибов их необходимо располагать в вертикальном положении. В таком случае формула (2) может дать ошибку в сторону увеличения модуля E, обусловленную влиянием на расчетную частоту ω погонной силы тяжести тест-образца.

Для оценки степени этого влияния рассмотрим дифференциальное уравнение свободных изгибных колебаний вертикальной удлиненной пластины с учетом погонной силы тяжести $\rho g h$:

$$\rho h \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + \frac{Eh^3}{12}\frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} - \rho g h \frac{\partial}{\partial x}\left((L-x)\frac{\partial w(x,t)}{\partial x}\right) = 0. \qquad (3)$$

Здесь t – время; x – координата, отсчитываемая от точки закрепления вниз вдоль оси пластины; w – поперечные смещения (прогибы) пластины. Граничные условия для уравнения (3) имеют вид

$$x = 0:\ w = \frac{\partial w}{\partial x} = 0; \quad x = L:\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 0.$$

Решение уравнения (3) будем искать виде $w(x,t) = W(x)\exp(i\omega t)$. После введения безразмерной координаты $\xi = x/L$ и безразмерной функции $F(\xi) = W(x)/h$ уравнение (3) можно привести к виду

$$F^{(IV)} - s(1-\xi)F'' + sF' - \lambda^2 F = 0 \qquad (4)$$

с граничными условиями

$$\xi = 0:\ F = F' = 0,\ \ \xi = 1:\ \ F'' = F''' = 0. \qquad (5)$$

Безразмерные параметры s и λ определяются выражениями

$$s = \frac{12\rho g L^3}{Eh^2},\ \ \lambda^2 = \omega_g^2 \frac{12\rho L^4}{Eh^2}, \qquad (6)$$

где ω_g – низшая частота сводных колебаний пластины с учетом ее собственного веса. Уравнение (4) с условиями (5) составляют содержание задачи на определение собственных частот ω_g и форм колебаний консольной закрепленной вертикальной пластины с учетом ее собственного веса.

Для получения приближенного решения уравнения (4) воспользуемся методом Бубнова-Галеркина

$$F(\xi) = a\varphi(\xi);\ \ a\int_0^1 \varphi(\xi)[\varphi^{(IV)} - s(1-\xi)\varphi'' + s\varphi' - \lambda^2\varphi]d\xi = 0. \qquad (7)$$

Здесь a – произвольный множитель, $\varphi(\xi)$ – базисная функция, удовлетворяющая граничным условиям (5). В качестве $\varphi(\xi)$ предлагается использовать нормированную низшую форму колебаний пластины без учета ее веса:

$$\varphi(\xi) = \frac{1}{2}(\mathrm{ch}k\xi - \cos k\xi) - \frac{1}{2}\frac{\mathrm{ch}k + \cos k}{\mathrm{sh}k + \sin k}(\mathrm{sh}k\xi - \sin k\xi);\ \ k = 1{,}875;\ \ \varphi(1) = 1.$$

После подстановки данной формы в выражение (7) и вычисления определенного интеграла получаем уравнение

$$a(3{,}090544 + 0{,}392715\,s - 0{,}249998\,\lambda^2) = 0.$$

Отсюда при $a \neq 0$ следует равенство $\lambda^2 = 12{,}3623 + 1{,}5709\,s$. Наименьшее значение ω_g определяется по известному λ^2 из второго выражения в (6):

$$\omega_g = \sqrt{1{,}0302\,Eh^2/(\rho L^4) + 1{,}5709\,g/L}\,.$$

Это дает приближенную формулу для вычисления модуля упругости материала при растяжении-сжатии по экспериментальной частоте ω_* вертикально закрепленного тест-образца:

$$E = \frac{\rho L^4}{h^2}\left(0{,}9707\,\omega_*^2 - 1{,}5248\,\frac{g}{L}\right). \qquad (8)$$

Для оценки погрешности формулы (8) воспользуемся уравнением свободных изгибных колебаний конечно-элементной модели вертикально закрепленного тест-образца, составленной из балочных конечных элементов:

$$[M]\{\ddot{r}\} + ([K] + [K]_g)\{r\} = 0. \qquad (9)$$

Здесь $[M], [K], \{r\}$ – соответственно матрица масс, матрица жесткости и вектор узловых перемещений отмеченной модели; $[K]_g$ – матрица геометрической жесткости, учитывающая потенциал сил тяжести в деформированном состоянии тест-образца. Частные решения уравнения (9) будем искать в виде

$$\{r\} = \{F\} q_0 \sin \omega t, \qquad (10)$$

где q_0 – амплитуда нормальной координаты. После подстановки решения (10) в (9) и сокращения общего множителя q_0 приходим к системе однородных уравнений

$$([K] + [K]_g - \omega^2 [M])\{F\} = 0, \qquad (11)$$

составляющей содержание обобщенной проблемы собственных значений и собственных векторов совокупности матриц $[K] + [K]_g$ и $[M]$. Собственными значениями в данном случае являются квадраты собственных частот ω_j, собственными векторами – соответствующие формы колебаний F_j. Для решения задачи (11) можно использовать встроенную функцию eig пакета компьютерной математики MATLAB, обращение к которой имеет вид: [V,D]=eig(K+Kg,M). Здесь V – диагональная матрица, содержащая квадраты частот ω_j (в порядке их возрастания), D – квадратная матрица, столбцами которой являются соответствующие формы F_j. Таким образом находятся низшая частота ω_1 и низшая форма колебаний F_1.

Однако, необходимо заметить, что модуль упругости *E*, необходимый для формирования матрицы жесткости $[K]$, при решении задачи (11) еще неизве-

стен. Поэтому решение данной задачи необходимо итерировать меняя направленно модуль E до выполнения условия

$$(\omega_1^{(i)} - \omega_*)^2 \le \varepsilon\,, \qquad (12)$$

где i – номер текущей итерации; ε – заданная точность.

Для проведения численных экспериментов выбран вертикально расположенный тест-образец, изготовленный из оргстекла. Размеры тест-образца: длина L=700 мм; ширина b=20 мм; толщина h=3,9 мм. Плотность оргстекла $\rho = 1176$ кг/м^3. Экспериментальная низшая частота колебаний $f_* = 2{,}460$ Гц ($\omega_* = 2\pi f_* = 15{,}457$ с$^{-1}$). Система (11) формировалась при делении тест-образца на 40 конечных элементов одинаковой длины. В таблице приведены значения модуля упругости E оргстекла, найденные по формулам (2), (8) и при итерационном решении уравнения (11) на основе метода половинного деления с точностью $\varepsilon = 1\cdot 10^{-9}$. Для достижения указанной точности потребовалось 15 итераций.

Таблица 1

Значения модуля упругости *E* оргстекла

E, МПа	Формула (2)	Формула (8)	МКЭ
	4306,65	3908,82	3908,91

Приведенные результаты показывают, что учет сил тяжести при вертикальном расположении тест-образца по формуле (8) и методом конечных элементов дают практически одинаковые значения модуля E. Формула (2), полученная без учета отмеченных сил, дает существенно больший модуль E по сравнению с его действительным значением.

Список литературы

1. Паймушин В.Н., Фирсов В.А., Гюнал И., Шишкин В.М. Идентификация характеристик упругости и демпфирования стеклопластика на основе исследования затухающих изгибных колебаний тест-образцов // Механика композитных материалов. 2015. Т. 51, № 3. С. 407–430.

Физико-математические науки

Компьютерное моделирование дифракционных картин и их зрительное восприятие

В. Н. Бакулин[a], М. И. Толмачева[b]
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и методики обучения физике[a]
старший преподаватель кафедры физики и методики обучения физике[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: shmondik@yandex.ru [a], mitolm@rambler.ru [b]

Аннотация: В статье обсуждаются проблемы качественного и количественного компьютерного моделирования в среде Mathcad явлений волновой оптики. Предъявление глазу ступенчатой лестницы яркостей в пределах возможностей монитора показало, что глаз может различать при этом не более сотни градаций из 256 возможных. Выяснилось, что зависимость силы ощущения от интенсивности раздражителя в доступном монитору интервале воспроизводимых яркостей линейна и не соответствует закону Вебера-Фехнера. Моделирование дифракционных картин на щели и отверстии показало, что интервал доступных для отображения яркостей не позволяет надежно различать даже первые боковые максимумы. Для построения дифракционной картины, похожей на наблюдаемые в реальном эксперименте приходится производить усиление уровней яркости в области серого. Проверка критерия Релея на моделях показала, что он подтверждается при дифракции Фраунгофера на круглом отверстии, но при дифракции на щели спектральные линии могут разрешаться при меньшей глубине провала яркости на их границе.

Ключевые слова: зрительная информация, закон Вебера-Фехнера, критерий Релея, дифракция, математическое моделирование.

Считается, что от 80 % до 90 % и более информации человек получает по зрительному каналу. В современных условиях перехода на визуальное представление информации вместо аналоговых приборов представляет интерес оценка количества информации, поступающей в мозг по этому пути. В данной работе поставлена задача исследования восприятия глазом вариантов картин дифракции, разработанных с помощью системы Mathcad.

Зрительные и слуховые рецепторы обеспечивают надёжную работув диапазоне не менее 12 порядков изменения интенсивности сигналов.По этому показателю с ними не может сравниться ни один из технических датчиков совре-

менных измерительных приборов. Один порядок изменения чувствительности за счет регулировки освещенности сетчатки глаза обеспечивает диафрагма – диаметр зрачка меняется в пределах примерно от 2 мм до почти 8 мм за одну секунду при резком изменении освещенности. Механизм регулировки более широкого диапазона чувствительности заключатся в разложении и восстановлении фоточувствительных пигментов колбочек и палочек. Однако темновая адаптация при выключении света происходит значительно медленнее, чувствительность сетчатки возрастает примерно на 5 порядков в течение 20-30 минут Рис.1. Включение света разрушает результаты темновой адаптации за пару секунд [Шиффман с.4].

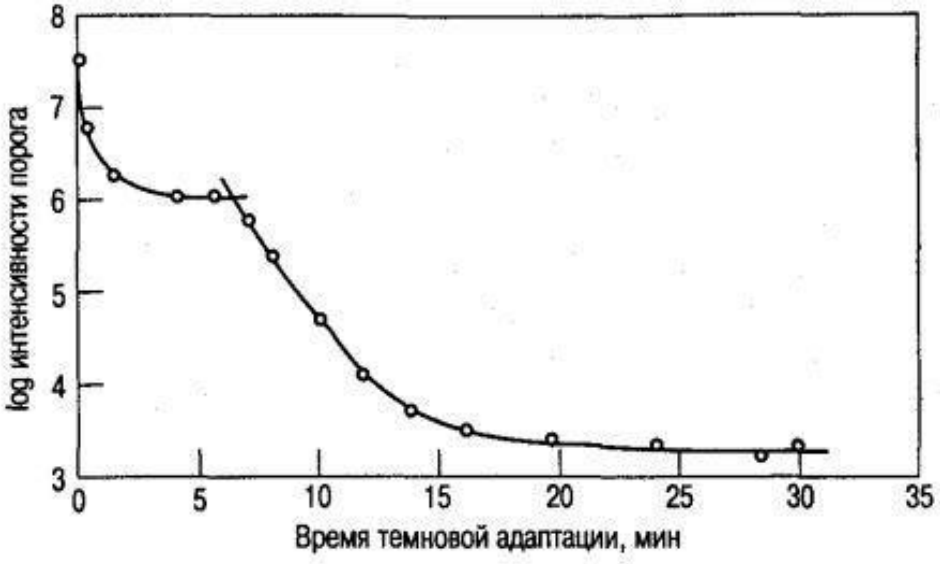


Рисунок 1. Зависимость величины зрительного порога от времени темновой адаптации. Верхняя часть кривой - колбочковое зрение, нижняя часть - палочковое зрение.

В ряде экспериментов, проводимых в 30-е годы XIX века, Эрнст Вебер показал, что для различения двух источников света необходимо, чтобы их яркость отличалась на 1/100 от яркости, к которой адаптирован глаз. На основе этих наблюдений Густав Фехнер в 1860 году сформулировал «основной психофизический закон» Рис.2, согласно которому сила ощущения p пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя

$$p = k \cdot \lg(S / S_0),$$

где S – значение интенсивности раздражителя,

S_0 – его нижнее граничное значение,

k – константа, зависящая от субъекта ощущения [Герман с.858].

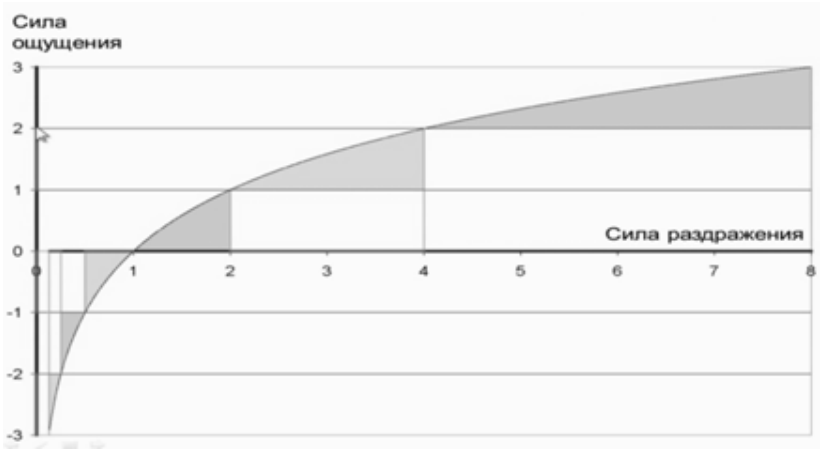


Рисунок 2. Закон Вебера-Фехнера.

Означает ли это, что с уменьшением яркости источника света глаз начинает различать всё меньшие её ступеньки, и в области серого в тени мы увидим больше деталей изображения, чем на ярком свету?

Для проверки этой гипотезы создадим черно-белый рисунок в формате BMP с плавным изменением яркости от 0 до 255, то есть по одному байту на пиксель Рис.3. Глаз видит плавное изменение тона вдоль рисунка.

$$N := 1 \qquad k := 0..511 \qquad i := 0..100 \qquad W_{i,k} := \left(\frac{k}{2} - \mathrm{mod}\left(\frac{k}{2}, N\right)\right)$$



W

Рисунок 3. 256 вертикальных полосок шириной 2N пикселя и с шагом яркости N=1.

Увеличивая шаг яркости N, можно определить при какой величине ступеньки картина разбивается на отдельные полоски как на Рис.4.

$$N := 8 \qquad k := 0..511 \qquad i := 0..100 \qquad W_{i,k} := \left(\frac{k}{2} - \mathrm{mod}\left(\frac{k}{2}, N\right)\right)$$



W

Рисунок 4. 32 вертикальных полоски шириной 16 пикселей и с шагом яркости 8.

Проверка в студенческой аудитории показала, что глаз начинает различать эти полоски сразу по всей длине картины, начиная с N=3. Чтобы увидеть границы между полосками в самой темной области рисунка надо закрыть окружающие яркие области фона экрана или растянуть рисунок на весь экран.

Это означает, что дифференциальный порог стимула остаётся постоянным во всём рабочем диапазоне яркостей экрана монитора изменяющихся всего на 2 порядка величины, и мы можем различать не более сотни уровней его яркости из 256 изменяющихся от 0 до 255. Создаётся впечатление, что глаз и мозг оцифровывают зрительные сигналы с шагом дискретизации равным 0,01–0,02 от уровня фона или от уровня максимального сигнала, к которому он адаптирован, как в нашем случае. Даже эффект Маха Рис.5, усиливающий контраст на границе областей с разной яркостью, не позволяет воспринимать всю палитру яркостей дисплея – контрастная чувствительность глаза ограничена.

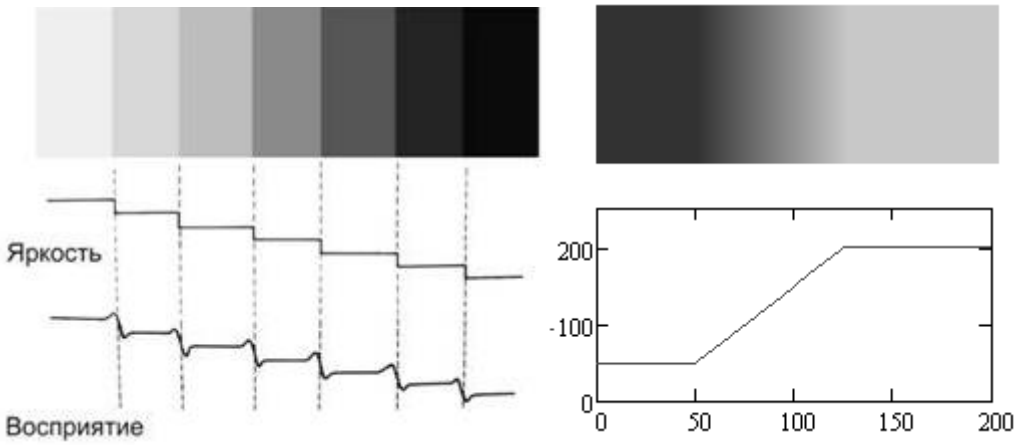


Рисунок 5. Полосы Маха.

Обнаружить нелинейность зависимости «сигнал – сила ощущения» по Фехнеру в этом диапазоне яркостей нам не удалось. Следует отметить, что зрение позволяет сравнивать только яркости участков, имеющих общую границу. Память яркости у глаза очень ненадёжна, поэтому черно-белые исходные картинки тепловизоров, УЗИ, КТ и МРТ сканеров раскрашиваются в условные цвета для визуальной обработки и анализа изображений при диагностических исследованиях [Петров гл.2].

Компьютерное моделирование картин дифракции, интерференции и других оптических эффектов позволяет получать более реальные картины распределения яркостей, а не довольствоваться произволом фантазий художников-иллюстраторов Рис.6.

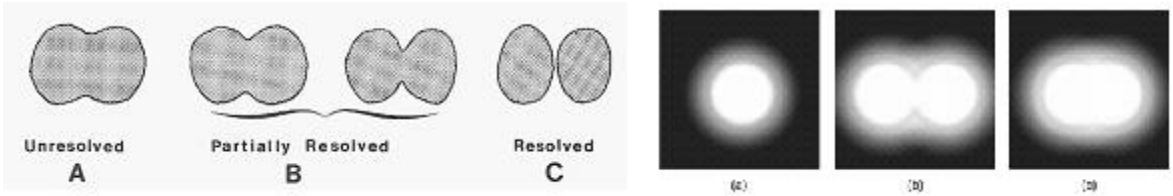


Рисунок 6. Иллюстрации из учебников к разрешающей способности по Релею.

Однако при этом приходится признать, что диапазон яркостей монитора и генерируемых на нем картинок на несколько порядков меньше чем рабочий диапазон одновременно различаемых глазом яркостей. Так, например, визуально наблюдая картину дифракции на щели мы четко видим по крайней мере по два вторичных максимума с обеих сторон, но их почти не видно при отображении на 256 уровней яркости Рис.7А.

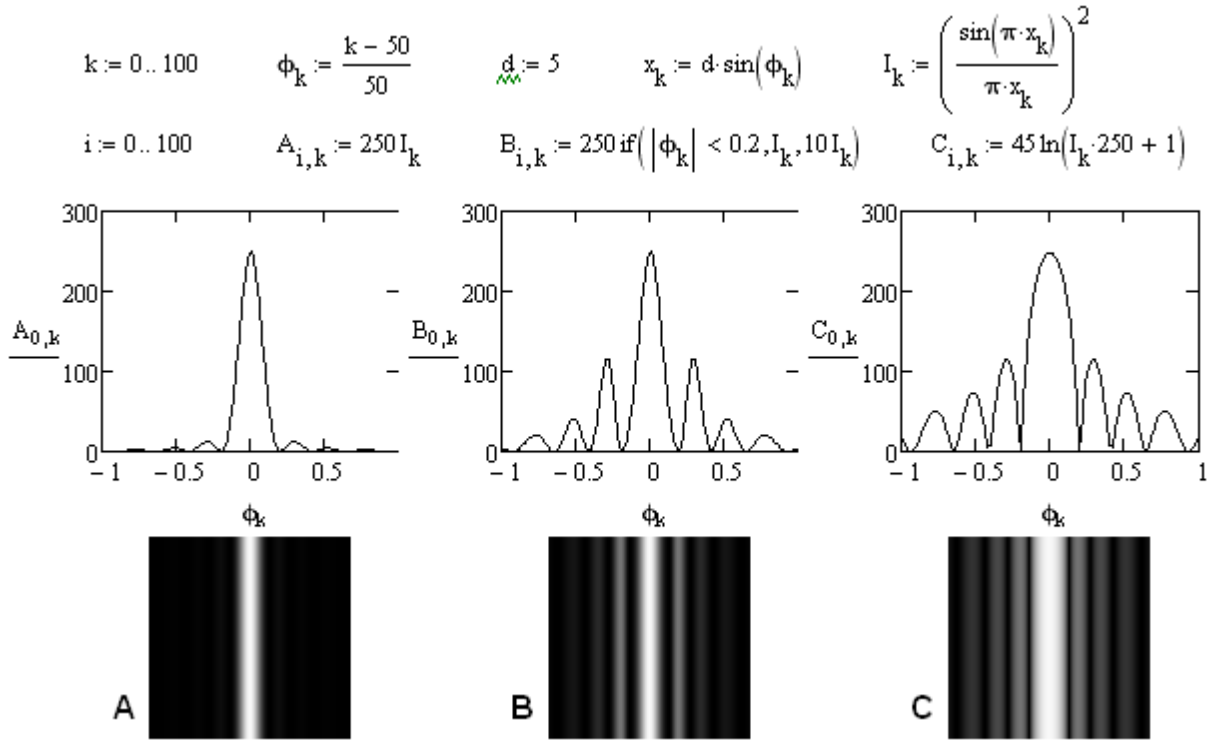


Рисунок 7. Моделирование картины дифракции на щели.

Чтобы приблизить моделируемую картину дифракции к наблюдаемой можно искусственно поднять яркость боковых максимумов на порядок, как на Рис.7В, или применив нелинейное преобразование яркости всей картины, по-

добное закону Вебера-Фехнера, как на Рис. 7С. Интересно, что визуально наблюдаемая или сфотографированная картинадифракции от щели больше всего походит на последний вариант модели, хотя профили яркостей максимумов при этом достаточно сильно искажены. Похоже, что диапазон контрастной чувствительности глаза по крайней мере на пару порядков шире возможностей моделирования яркостей на экране монитора. Количественное моделирование картин дифракции и создание качественных иллюстраций этих явлений требуют разных подходов.

Согласно литературным данным две соседние спектральные линии разрешаются как отдельные, если их максимумы приходятся на первые минимумы друг друга с провалом яркостей не менее 20%. Проверка этого критерия на модели с использованием исходных (истинных) профилей яркости линий показывает, что хорошо заметны провалы яркости 11% на рис.8. справа и даже на 2-3% на том же рисунке слева. Ухудшение надежности разрешения линий в реальных условиях можно отнести за счет особенностей восприятия глаза [Меньшикова с.2] и качества экспериментального оборудования.

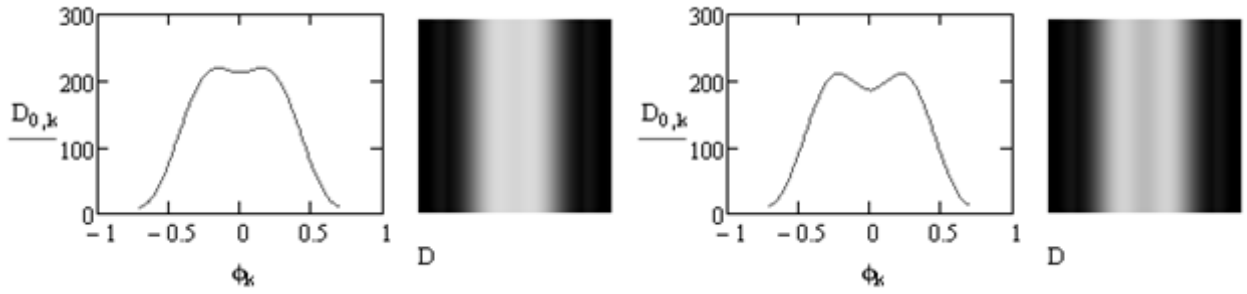


Рисунок 8. Моделирование критерия разрешения спектральных линий.

Распределение яркостей в моделируемой картине дифракции Фраунгофера на круглом отверстии опять же не позволяет рассмотреть круги Эйри и приходится корректировать уровни в области серого, чтобы получить изображение, соответствующее визуальным наблюдениям Рис.9, при этом видимый диаметр центрального максимума заметно увеличивается.

Моделирование картины наложения со сдвигом относительно друг друга двух изображений точечного источника с исходным профилем яркости представлено на Рис.10.

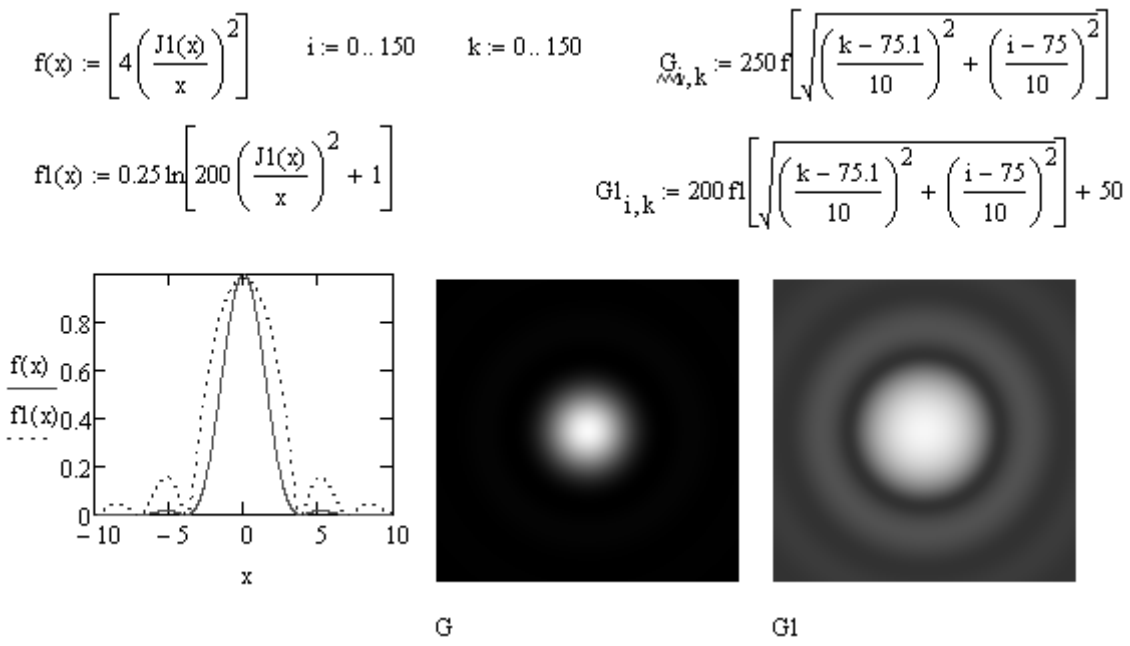


Рисунок 9. Моделирование картины дифракции на круглом отверстии.

На левом рисунке Рис.10 сдвиг изображений составляет половину радиуса первого темного кольца, на втором – ¾, и только при сдвиге на целый радиус первого темного кольца отчетливо видны два изображения в

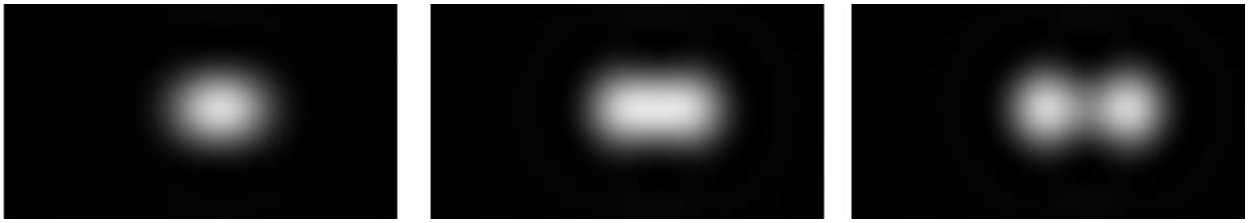


Рисунок 10. Моделирование разрешения дифракционных изображений точки.

Следовательно, при моделировании дифракционных и других оптических картин следует учитывать, что интервал доступных для отображения яркостей не превышает двух порядков и не позволяет надежно различать мелкие детали в области слабого серого уровня яркости. Для построения компьютерных иллюстраций, похожих на наблюдаемые в реальном эксперименте приходится производить усиление уровней яркости в области серого, используя различные методы нелинейных преобразований.

Проверка критерия Релея на моделях показала, что он подтверждается при дифракции Фраунгофера на круглом отверстии, но при моделировании картины дифракции на щели спектральные линии могут разрешаться при меньшей глубине провала яркости на их границе.

Исследования особенностей восприятия глазом компьютерных моделей могут быть продолжены в других цветовых гаммах, при моделировании и изучении зрительных иллюзий на занятиях по медицинской физике. Предложенные в работе математические методы программирования могут использоваться в соответствующих курсах по информатике.

Список литературы

1. Х. Шиффман. Темновая адаптация 2009 http://www.psychology-online.net/articles/doc-1226.html (дата обращения: 05.02.2018).

2. И. Герман Физика организма человека. Пер. с англ.: Научное издание/ И. Герман Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. - 992 с.

3. Петров М.Н. Компьютерная графика. Учебник для вузов. 3-е изд. Издательский дом "Питер", 2011 ISBN 5459008093, 9785459008098. 544 с.

4. Меньшикова Г.Я. К вопросу о классификации зрительных иллюзий // Психологические исследования. 2012. Т. 5, № 25. С. 1. URL: http://psystudy.ru (дата обращения: 29.01.2018).

Особенности процесса сушки древесины для организации высокоэнтальпийного горения

Брагин Д. М.[a], Позолотин А.П.[b], Будин А.Г.[c]
студент группы ТиТб 2801-01 электротехнический факультет[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
ассистент кафедры инженерной физики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: firewcross@mail.ru [b]

Аннотация: Использование древесины в качестве топлива для высокоэнтальпийного горения обусловлено снижением экономических затрат на эксплуатацию энергетических установок, а так же прогнозированием и предотвращением чрезвычайных ситуаций при пожарах. Для этого необходимы мероприятия, связанные с подготовкой топлива, которые заключаются в поддержании оптимальной влажности и в соблюдении целостности образца. В работе проведены экспериментальные исследования процесса сушки образца берёзы с каналом внутри. Определено оптимальное время сушки 40 часов в сушильном шкафе при температуре 60^0C до относительной влажности 6 %. Экспериментально показана необходимость проведения контроля влажности в центре образца. Полученный режим сушки не приводит к появлению трещин в образце, что является оптимальным условием его использования для организации высокоэнтальпийного горения.

Ключевые слова: сушка, влажность, берёза, потеря массы, свободная влага, влагомер.

Проблема освоения воздушно-космического пространства является приоритетным направлением политики государства. Одним из путей решения является создание новых летательных аппаратов, которым предъявляются высокие требования по экологической безопасности и себестоимости эксплуатации. Главным элементом летательного аппарата является двигатель. В нашей стране наиболее распространены воздушно-реактивные двигатели, жидкостные (ЖРД) и твердотопливные ракетные двигатели (РДТТ). Однако использование ЖРД и РДТТ для запусков метеозондов, легких коммерческих и научно-исследовательских спутников, а также ракет-мишеней для стрельб противоракетной обороны экономически не эффективно. Альтернативой могут выступить гибридные ракетные двигатели (ГРД), которые, по мнению ученых [1-2], являются перспективными экологически безопасными и дешёвыми по сравнению с другими

типами двигателей. Стоит отметить, что зарубежные страны (США, Англия) уже используют эти двигатели в коммерческих и научных целях [2]. В нашей стране исторически разработку таких двигателей приостановили в 80-х годах 20 века, однако в настоящее время ведутся исследования в ГНЦ ФГУП Исследовательский центр им.М.В. Келдыша.

Топливом для двигателя может выступать любой углеводород. Одним из направлений исследований является использование древесины в качестве топлива. Данный вид топлива заслуживает особенного внимания, так как является дешёвым и восполняемым ресурсом. Однако предварительные испытания указали на необходимость контроля целостности поверхности топлива и уровня его влажности. Так при использовании древесины с трещинами на поверхности происходит разгерметизация камеры сгорания. Использование образцов с разной влажностью приводит к скачкам скорости горения и тяги, так как согласно данным [3], влажность оказывает влияние на процесс горения. Стоит отметить, что исследования условий высокоэнтальпийного горения так же необходимо специалистам в области пожарной безопасности.

Таким образом, в работе ставится задача провести исследования процесса сушки древесины, которые создадут условия использования её в качестве топлива для высокоэнтальпийного горения.

В качестве объекта исследования была выбрана берёза плотностью 530 кг/м^3. Образцы представляли собой топливные блоки с размерами рис.1.

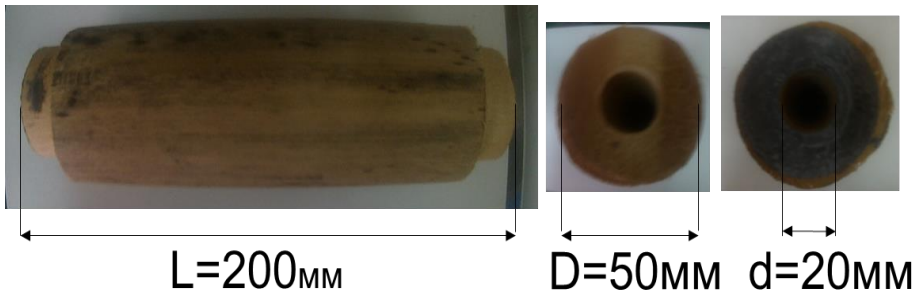


Рисунок 1. Фотографии экспериментальных образцов

Особенностью образца является канал, проходящий по центру. Для исследования нами были выбраны 18 целых и 1 расколотый вдоль канала образец, для возможности измерения влажности по центру канала. Для сушки образцов

использовался «Шкаф сушильный ШСП-0,25-60. В качестве оптимально температурного режима выбрана температура 60 ^{0}C, с целью использования «мягкого» режима сушки для предотвращения растрескивания. Для измерения влажности использовался влагомер «Gann Hydromette Compact S». Дискретность показаний 0,1%. Погрешность ±0,5%. Для измерения массы образцов использовались лабораторные весы VIBRA SJ-6200CE. Дискретность весов 0,1 г.

На рис.2 представлена зависимость средней массы образца от времени сушки.

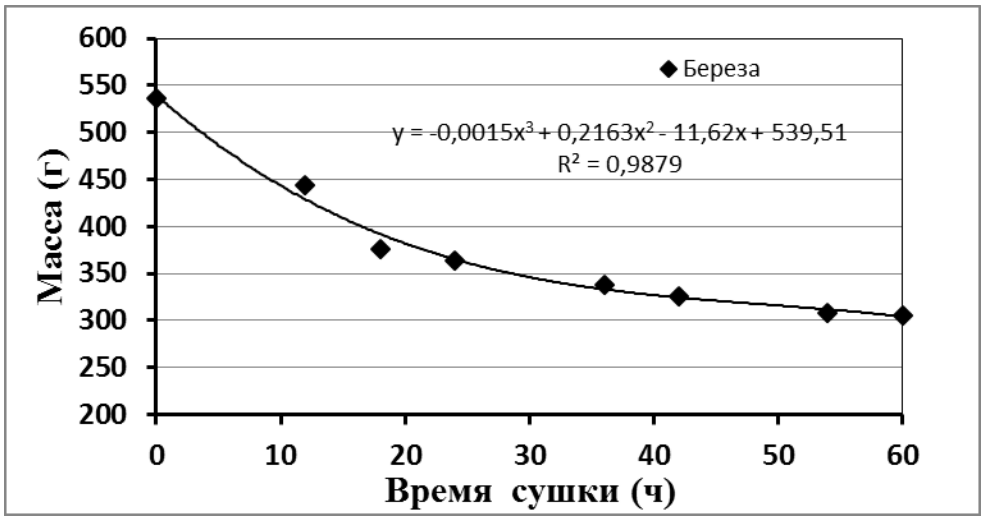


Рисунок 2. Зависимость средней массы образца от времени сушки

В первые 20 часов сушки, масса образца снижается на 200 г, следующие 40 часов происходит незначительное снижение массы. Такая зависимость объясняется потерей образцом свободной влаги, а затем связанной влаги [4].

На рис.3 представлена зависимость средней влажности, измеренной с торцов от времени сушки.

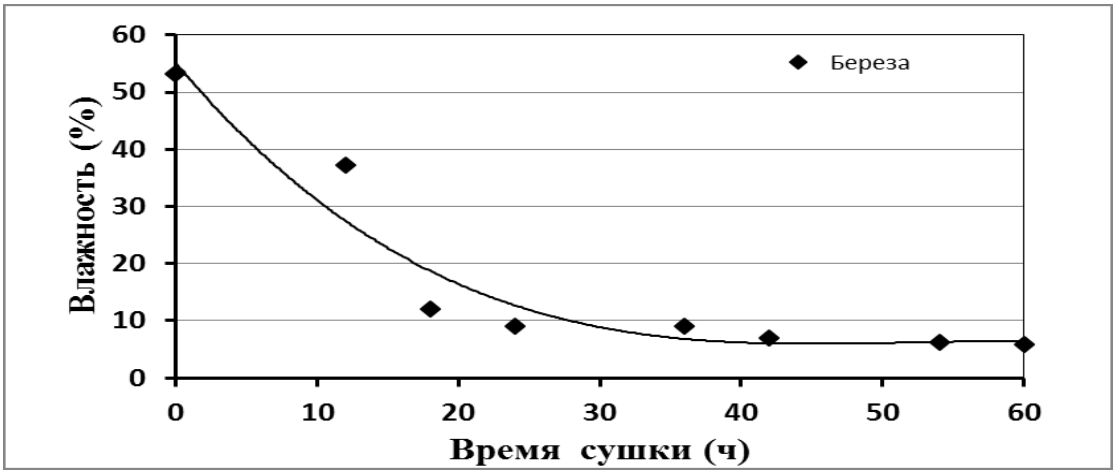


Рисунок 3. Зависимость средней влажности образца от времени сушки

Согласно данным рис.3 влажность образцов в первые 20 часов сушки снижается на 40%, далее идет незначительное изменение влажности.

На рис. 4 представлен график зависимости влажности с торцов образца и в центре канала от времени.

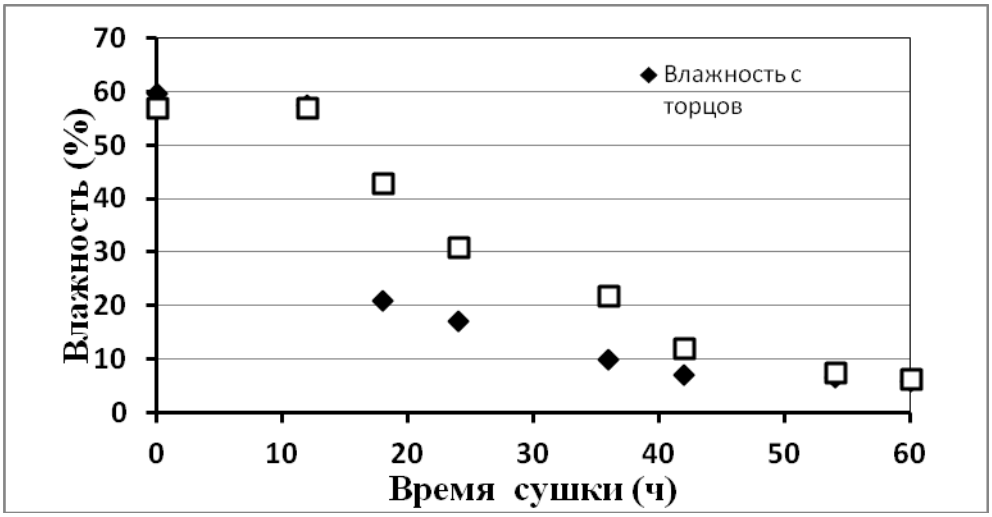


Рисунок 4. Зависимость средней влажности с торцов образца и в центре канала от времени сушки

Как видно из рис.4 значения влажности в центре канала значительно отличаются от значений начиная с 20-го часа сушки, измеренных в торце образца. Это объясняется движением влаги вдоль волокон. Поэтому измерения влажности с торца заготовки является нецелесообразным, так как её значения не являются истинными показателями для всего образца. Влажность с торцов и в центре заготовки является различной до 45-50 часов сушки.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Измерения влажности с торца заготовки не являются абсолютными показателями для всей заготовки до 45-50 часов сушки, поэтому для контроля влажности необходимо проводить измерения в центре канала.

2. Оптимальное время сушки берёзы с каналом внутри составляет 40 часов.

Список литературы

1. Иванов Н. Н., Иванов А. Н. К использованию гибридных ракетных двигателей на космических аппаратах // Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина. – 2010. – №. 3. – С. 50-55.

2. Процессы в гибридных ракетных двигателях / Губертов А.М. и др. под ред. Коротеева А.С. – М.: Наука, 2008. 405 с.

3. Ассева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и её пожароопасные свойства Монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010 .- 262 с.

4. Расаев А.И. Сушка древесины М.: Высшая школа, 1990. - 224 с.

Восприимчивость УНТ серии «Tuball» к магнитному полю, с учетом особенностей их осаждения в УНТ-бумагу

Владыкин А. С.[a], Хлебов А. Г. [b],
аспирант направления 03.06.01 Физика и астрономия, кафедра инженерной физики [a]
кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедры инженерной физики [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a b]
E-mail: vladykin-alex@yandex.ru [a], ag_hlebov@vyatsu.ru [b]

Аннотация: углеродные нанотрубки (УНТ) при малых концентрациях способны наделять композитный материал новыми свойствами (электропроводность, поглощение радиоволн, малый удельный вес, высокая прочность). Основной проблемой применения УНТ в проектировании материалов является степень их функционализации, в виду их термодинамической нестабильности в нативном виде. Статья содержит обзор экспериментальных данных отечественных и зарубежных авторов, а также первичное экспериментальное исследование массива УНТ серии «Tuball», полученного методом CVD технологии (OCSiAl, г Новосибирск). Было рассмотрено воздействие магнитного поля на ориентацию УНТ при их осаждении в УНТ-бумагу. Осажденные образцы анализировались методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ и СЭМ). Полученные изображения не позволили однозначно заявить о влиянии приложенного магнитного поля на конформацию УНТ. Для последующих исследований было предложено диспергировать объект до состояния максимально приближенного к одиночным УНТ. Это поставило новую проблему – выявление факторов, влияющих на конкурирование магнитной восприимчивости УНТ и их теплового движения. К ним относятся: Это время будет зависеть от трех составляющих: размер УНТ, вязкость среды, активность стабилизатора. Эти составляющие будут учитываться при постановке следующего эксперимента.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, функционализация углеродных нанотрубок в магнитном поле, влияние магнитного поля на ориентацию УНТ, влияние электрического поля на ориентацию УНТ.

Введение

Данная статья представляет краткий обзор по актуальным проблемам и сферам применения углеродных нанотрубок (УНТ) в нанотехнологии. Указываются методы воздействия на УНТ из различных публикаций с целью подбора оптимальных параметров эксперимента. В качестве объекта исследования были взяты УНТ серии «Tuball», полученные методом CVD технологии (OCSiAl, г. Новосибирск). В перспективе данный объект будет использоваться в дальнейших экспериментах как в электрическом поле, так и в комбинации ряда факто-

ров. На данном этапе предлагаются экспериментальные данные, описывающие восприимчивость данного объекта к магнитному полю, с учетом особенностей осаждения образца в УНТ-бумагу. Анализ практической части указывает на ряд проблем как технических, так и методологических, которые необходимо разрешить и учитывать при дальнейшем изучении объекта. Управление процессом функционализации обеспечит возможность использования УНТ в проектировании новых композитных материалов, характеризующихся оптимальным соотношением механических и функциональных свойств.

Обзорная часть

Углеродные нанотрубки являются перспективной составляющей нанотехнологии. Обширный спектр их применения обуславливается такими свойствами, как малый удельный вес, высокая теплопроводность, электропроводность, а также наличие свойств, характерных как для металла, так и для полупроводника [Fujitsuka, с. 1]. Присутствие УНТ в композитном материале менее 1% по массе способно не только упрочнить композит, но также наделить его новыми свойствами, в частности электропроводимость и способность к поглощению радиоволн [Захарычев, с. 100]. Известно, что численное отношение прочностей стекловолокна к углеродному волокну составляет отношение 70 ГПа к 800 ГПа соответственно [Fu, с. 40]. Такой численный разрыв обуславливает перспективность использования УНТ в проектировании материалов. Свойства полупроводников открывают широкое перспективное направление применения УНТ в разработке холодных полевых эмиттеров [Бочаров, с. 113]. Однако, полномасштабное применение УНТ ограничивается их плохими технологическими свойствами.

УНТ представляют собой протяженные структуры в виде полых цилиндров, состоящих из одного или нескольких свернутых в трубки графеновых слоев. Диаметр нанотрубок колеблется от одного до нескольких десятков нанометров, длина насчитывает десятки микрон [Мансурова с. 26]. Склонность к агломерированию, обусловленная силами Ван дер Ваальса, не позволяет использовать УНТ в нативном виде [Мансурова с. 69]. В виду термодинамической не-

стабильности необходимы дополнительные стабилизирующие факторы для дальнейшего расширения области применения УНТ. При этом эффект взаимодействия УНТ между собой за счет сил Ван дер Ваальса может быть использован при пространственной ориентации в процессе синтеза УНТ [Dai, с. 1035].

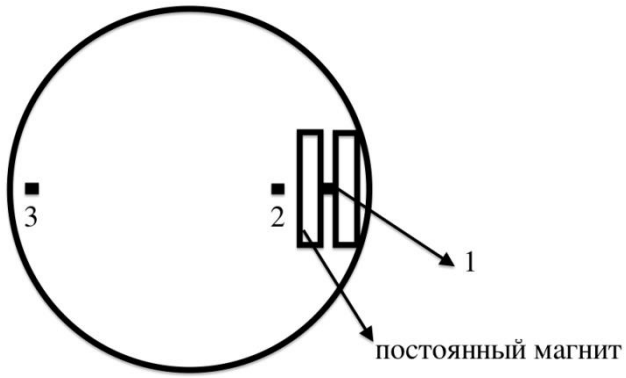
Перспективным направлением стабилизации УНТ является применение желчных кислот, т.к. их соли хорошо растворимы в воде, а диспергирование УНТ в присутствии таких солей помогает выделять однослойные УНТ (ОУНТ) с заданными электронными свойствами [Дышин, с. 2110]. Функционализация предотвращает УНТ от повторного агломерирования. Механизмом функционализации в случае водорастворимых полимеров является обертывание УНТ. К факторами ориентации наряду с растворами ПАВ относятся магнитное [Hong, с. 87] и электрическое поля [Zhang с. 3155]. В частности электрическое поле используется не только для ориентации УНТ вдоль вектора напряженности, но также для латеральных смещений УНТ, которые в выровненном состоянии формируют толщину перколяционной составляющей между электродами [Park, с. 1751].

Экспериментальная часть.

Основной проблемой применения УНТ при создании композитных материалов является их равномерное распределение как наполнителя в композиционном материале. Равномерность может быть достигнута развернутой линейной структурой УНТ и правильной направленности. Авторы многих статей показывают, что решение этой проблемы может быть достигнуто путем обработки УНТ концентрированными кислотами, ультразвуком, электрическим полем определенной вольт-амперной характеристики [Seo, с. 84, Бочаров, с. 114]. Объектом исследования в данной работе является УНТ серии «Tuball», полученные методом CVD технологии (OCSiAl, г. Новосибирск). Данные УНТ относятся к малослойным. Величина внешнего диаметра составляет 1,5 нм, длина более 5 мкм. Удельная поверхность 360 $м^2/г$. Согласно сертификату продукта данные УНТ содержат 16% металлических и 9% углеродных примесей, где ме-

таллические являются остатками катализаторов синтеза УНТ, углеродные примеси – аморфный малоорганизованный углерод.

Целью работы является определение восприимчивости исследуемого объекта к магнитному полю, с учетом особенностей осаждения образца в УНТ-бумагу. Авторы статьи [Мансурова, с. 3] использовали настоящий объект для получения УНТ-бумаги методом вакуумного фильтрования суспензии УНТ в этаноле. Данный метод лежит в основе настоящей работы. Для ориентации УНТ использовались два одинаковых постоянных неодимовых плоских магнита прямоугольной формы размерами по длине ширине и высоте в сантиметрах 2, 1, 0,3 соответственно. Для создания равномерного магнитного поля магниты были расположены на расстоянии до 3 мм друг от друга. Схема отбора проб представлена на рис. 1. В фильтровальной чаше были выбраны 3 точки для отбора проб. Точке 1 соответствует равномерное магнитное поле, наиболее сильное по напряженности. Точке 3 – наиболее слабое магнитное в фильтровальной чаше. Точке 2 соответствует неоднородное магнитное поле, со промежуточным значением напряженности относительно точек 1, 3.



■ номер пробы и местоположение материала пробы относительно магнита

Рисунок 1. Схема расположения магнитов в фильтровальной чаше

Были отобраны 2 серии проб, по 3 пробы в каждой. Каждой серии проб соответствовал определенный раствор суспензии (спирт, вода с ПАВ). Каждая проба характеризовалась своим параметром магнитного поля согласно рис. 1. Для сравнения были получены 2 контрольные пробы, в которых отсутствовали магниты во время осаждения. Растворы суспензии для контрольных проб были спиртовой для одной, водный с ПАВ для другой. Изображения получали мето-

дом сканирующией электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопах JEM2100 «JEOL» (ускоряющее напряжение 10 кВ).

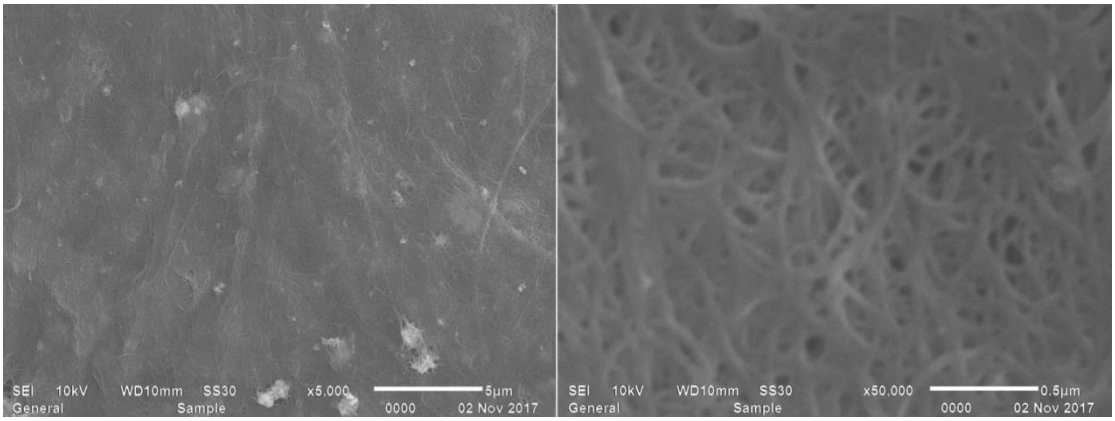


Рисунок 2. СЭМ изображение пробы спиртового раствора суспензии в однородном магнитном поле (вид сверху)

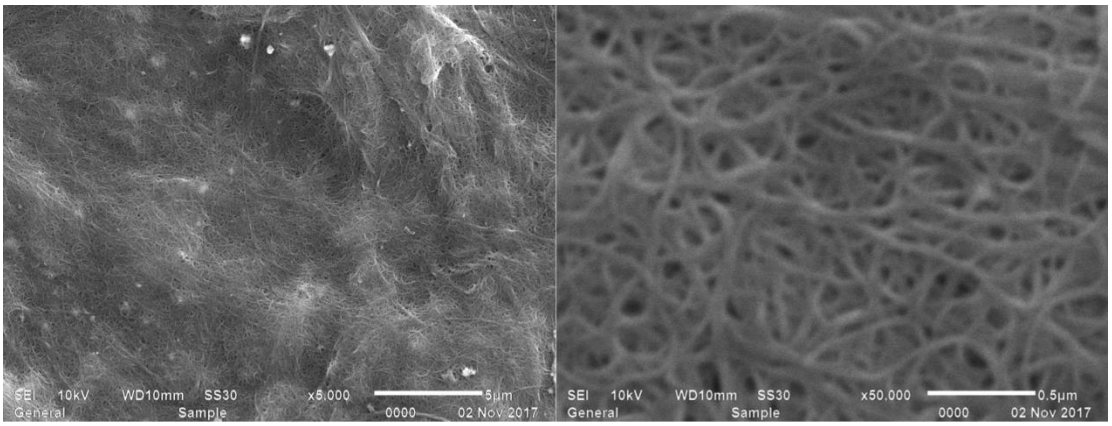


Рисунок 3. СЭМ изображение контрольной пробы спиртового раствора суспензии (вид сверху)

Результаты и обсуждение

Исходя из полученных изображений электронной микроскопии нельзя с достоверностью сказать о наличии или отсутствии изменения конформации УНТ в зависимости от изменения магнитного поля. Однако мировая практика показывает примеры, где магнитное поле может ориентировать УНТ [Hong, с. 88]. Настоящий объект, ориентированный в процессе осаждения в УНТ-бумагу не поддается анализу влияния магнитного поля на конформацию УНТ, т.к. изображения всех проб имеют большое количество структур разных размеров, которые по-разному химически связаны между собой. Возможно, что при наличии поля менее подвижные структуры просто приобретают крутящий момент, который пропадает в момент снятия поля. Не исключено, что в суспен-

зиях малых концентраций УНТ легче наглядно увидеть взаимосвязь ориентации УНТ от напряженности магнитного поля. Необходимо подвергнуть объект диспергированию максимально приближенному к одиночным УНТ. Одним из вариантов достижения таких УНТ является ПАВ додецилбензолсульфонат натрия [Camponeschi, с. 76]. В таком случае встает вопрос о термодинамической стабильности УНТ в период с момента снятия магнитного поля до момента получения изображений средствами электронной микроскопии. Если диспергировать УНТ до состояния максимально приближенного к одиночным УНТ, то такие структуры даже в случае их распрямления под влиянием магнитного поля будут способны к агломерированию в более плотные структуры силами Ван дер Ваальса. Этот процесс самопроизвольно начинается при снятии поля. Не исключается возможность появления химических связей между отдельными УНТ. Необходимо понять как быстро УНТ возвращаются из ориентированного состояния в нативное – время релаксации. Размеры УНТ пропорциональны инертности. Чем больше масса отдельной УНТ, тем медленнее кинетика ее ориентации. Т.о. размерность можно отнести к определяющим факторам. Если рассматривать суспензию УНТ как дисперсную систему (ДИСИ), где дисперсной фазой (ДФ) являются УНТ, дисперсной средой (ДС) – водный раствор с ПАВ или спиртовой раствор, то факторами кинетики термодинамических процессов в ДИСИ будут энергия Гиббса, размерность УНТ для ДФ и вязкость среды для ДС. Вязкость среды можно регулировать концентрацией загустителя. При повышении вязкости среды скорость пространственной ориентации УНТ будет ниже. Для снижения свободного потенциала Гиббса можно использовать стабилизаторы. Стабилизаторы также могут влиять на вязкость общей ДИСИ, но действие стабилизаторов направлено на взаимодействия с ДФ системы. Стабилизатор снижает реакционную способность ДФ. Т.о. можно влиять на время релаксации комплексно, учитывая размер УНТ, вязкость среды, активность стабилизатора.

Выводы

Для того чтобы найти изменения конформации УНТ под влиянием магнитного поля нужно использовать суспензии малых концентраций УНТ, подвергнуть диспергированию максимально приближенному к одиночным УНТ. Необходимо предотвратить повторное агломерирование УНТ. Для этого нужно учитывать факторы, влияющие на время релаксации: размер УНТ, вязкость среды, активность стабилизатора.

Список литературы

1. Fujitsuka Y., Oya T. Fabrication of Aligned-Carbon-Nanotube-Composite Paper with High and Anisotro-pic Conductivity, Hindawi Publishing Corporation // Journal of Nanotechnology. 2012. Article ID 819281, 5 pages, doi: 10.1155/2012/819281

2. Захарычев Е. А., Рябов С. А., Семчиков Ю. Д., Разов Е. Н., Москвичев А. А. Исследование влияния степени функционализации на некоторые свойства многослойных углеродных нанотрубок // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. №1 (1). С 100-104.

3. Fu L., Yu A. M. Carbon nanotu-bes based thin films: fabrication, caracterization and applications // Rev. Adv. Mater. Sci. 36. 2014. P. 40-61.

4. *Статья из журнала – четыре автора:* Бочаров Г. С., Книжник А. А., Елецкий А. В., Sommerer T. J. Влияние электричес-кого поля на ориентацию углеродных нанотрубок в процессе их роста и эмиссии // Журнал технической физики. 2012. Т 82. №2. С. 113-121.

5. Углеродные наноструктуры. Строение и свойства / Мансурова И. А., Ваганов В. Е. Киров: изд-во ФГБОУ ВО «ВятГУ». 2015. – 55 с.

6. Мансурова И. А., Бурков А. А., Исупова О. Ю., Заграй И. А., Хлебов А. Г., Дурнев Е. А., Гаврилов К. Е. Функционализация углеродных нанотрубок техническим углеродом или полимерами для модификации динамических механических свойств резин // М:. Перспективные материалы. 2017. №8.

7. Dai H., Carbon Nanotubes: Synthesis, Integration and Properties // Account of chemical research. 2002. Vol. 35. №12. P. 1035-1043.

8. Дышин А. А., Елисеева О. В., Бондаренко Г. В., Колкер А. М., и др. Диспергиро-вание однослойных углеродных нанотрубок в смесях спирт–холевая кислота // Журнал физической химии. 2013. Т 87. №12. С. 2110-2115.

9. Hong H., Luan X., Horton M., Li C., etc. Alignment of carbon nanotubes comprising magnetically sensitive metal oxides in heat transfer nanofluids // Thermochimia Acta 525. 2011. P. 87-92.

10. Zhang Y., Chang A., Cao J., Wang Q., etc. Electric-field-directed growth of aligned single-walled carbon nanotubes // Applied Physics Letters. 2001. Vol.79. №19. P. 3155-3157.

11. Park C., Wilkinson J., Banda S., Ounaies Z., etc: Aligned Single-Wall Carbon Nanotube Polymer Composites using an electric field // Journal of Polymer Science. 2006. Part B, Polymer Physics. Vol. 44. P.1751-1762.

12. Seo H. W., Han C. S., Choi D. G., Kim K. S., etc. Controlled assembly of single SWNTs bundle using dielectrophoresis // Microelectronic Engineering. 2005. Vol. 81. P 83-89. doi: 10.1016/j.mee.2005.04.001

13. Мансурова И. А., Толстобров И. В., Бурков А. А., Кручинина Н. В., Петрунева А. А., Помыткина М. С., Дурнев Е. А. Структура и свойства листового материала на основе малослойных углеродных нанотрубок // ADVANCED SCIENCE. 2017. №2. Киров: Изд-во «Вятский государственный университет»

14. Camponeschi E. L. Dispersion and alignment of carbon nanotubes in polymer based composites, Georgia Institute of Technology. In partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Materials Science and Engineering. Grg. 2007. P. 201.

Метрологическое обеспечение спектрометрических исследований теплового излучения высокотемпературных объектов

Гребенщиков Л. Т.[a], Гребенщиков М. Л.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: grebenshikov@vyatsu.ru[a], usr00623@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В основу используемых методов спектрометрических и пирометрических исследований теплового излучения высокотемпературных объектов положен принцип регистрации спектральных и интегральных плотностей потоков излучения исследуемого объекта. Абсолютные значения регистрируемых параметров определяют путем сопоставления выходных сигналов измерительной аппаратуры с соответствующей энергией излучения эталонного излучателя.

Таким образом, метрологическое обеспечение измерительной аппаратуры заключается в определении спектрального интервала регистрируемого теплового излучения и абсолютных значений спектральных и интегральных плотностей потоков этого излучения. Точность градуирования спектрометров, радиометров и пирометров в значительной степени определяется совершенством эталонного излучателя. На кафедре инженерной физики ВятГУ на базе высокотемпературной модели абсолютно черного тела (АЧТ) разработана экспериментальная установка обеспечивающая метрологическую подготовку спектрорадиометрических приборов для работы в стендовых условиях. Градуирование спектральных приборов по длинам волн проводится по эталонным спектрам (нормалям) излучения и поглощения.

Ключевые слова: температура, излучательная способность, длина волны излучения, плотность потока излучения, абсолютно черное тело, спектрометр, пирометр.

Современный уровень развития энергетики, транспорта, химической технологии, авиационной и ракетно-космической техники определяет возрастающую роль теплообмена излучением в камерах сгорания двигателей, топках котлов, различного рода печах нефтехимической промышленности и других высокотемпературных установках. Это, в свою очередь, определяет повышение требований к точности расчетов теплообмена, совершенствованию методов диагностики рабочих процессов, определяет необходимость проведения исследо-

ваний радиационного и сложного теплообмена не только в лабораторных условиях, но и непосредственно на натурных установках [1, с. 291, 2, с. 19].

На кафедре инженерной физики ВятГУ накоплен определенный опыт по модернизации существующих и разработке новых измерительных средств, предназначенных для спектрорадиометрических исследований высокотемпературных двухфазных потоков, создаваемых генераторами низкотемпературной плазмы [3]. Эти приборы могут достаточно надежно функционировать в экстремальных условиях стендовых испытаний. Для метрологического обеспечения этих приборов была разработана экспериментальная установка на базе высокотемпературной модели абсолютно черного тела (АЧТ).

На рисунке 1 показана блок-схема установки для градуировки спектрорадиометрической аппаратуры.

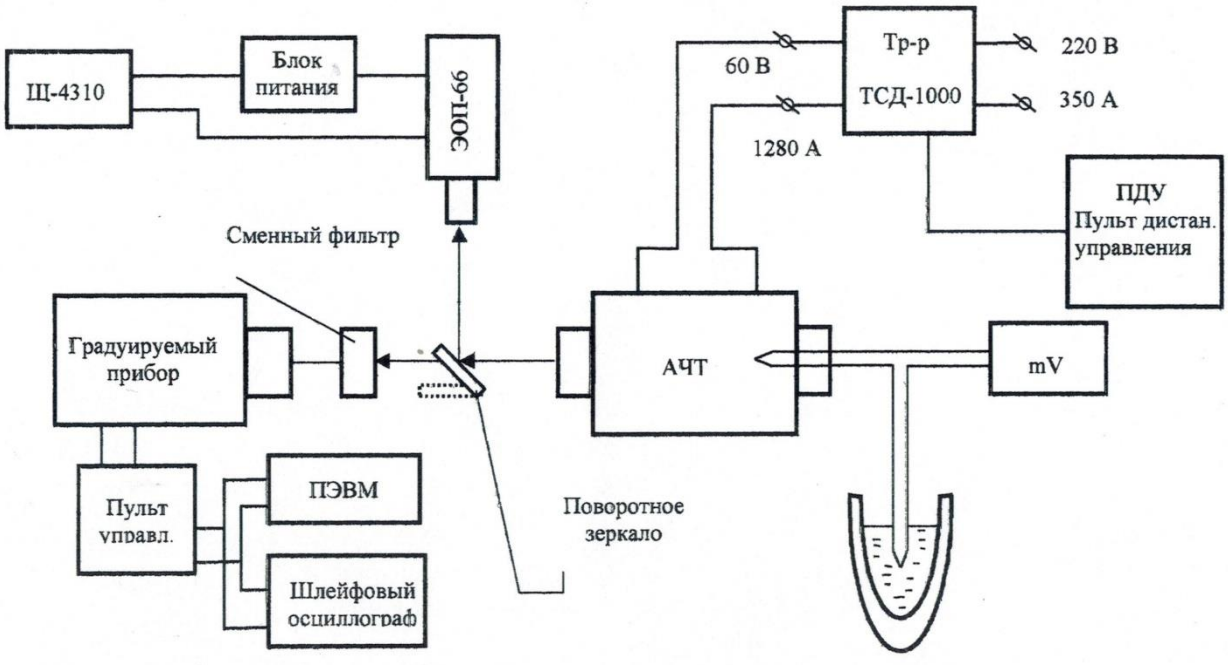


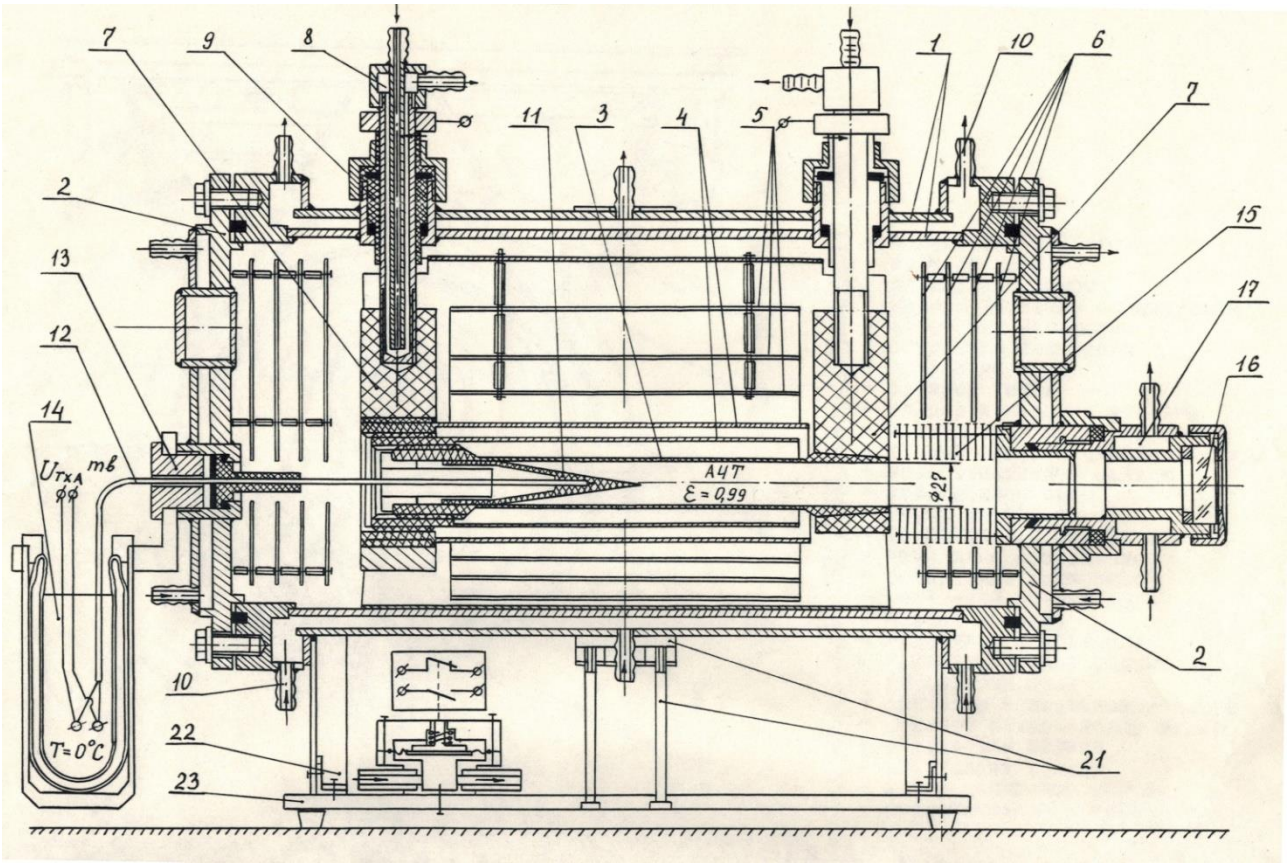
Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки

Градуирование спектрометров и радиометров по абсолютным значениям спектральных и интегральных плотностей потоков излучения выполняется методом протяженного источника. Градуируемый прибор устанавливается строго по оси излучающей полости АЧТ так, чтобы изображение торцевой поверхности излучающей полости полностью перекрывало входной зрачок объектива

градуируемого прибора. С помощью термопары и эталонного оптического пирометра ЭОП-66 измеряется температура излучающей полости модели АЧТ, затем регистрируется сигнал с приемника излучения градуируемого прибора и снова проводится замер температуры излучающей полости модели АЧТ. После этого устанавливается новое значение температуры излучающей полости модели АЧТ и повторяется цикл измерений.

Конструктивная схема модели абсолютно черного тела приведена на рисунке 2. Разработанная модель АЧТ представляет собой графитовую электропечь сопротивления трубчатого типа. Она состоит из герметичного водоохлаждаемого цилиндрического корпуса 1 из нержавеющей стали, закрытого водоохлаждаемыми крышками 2. Внутри корпуса расположена графитовая трубка 3 длиной 280 мм, внутренним диаметром 28 мм, толщиной стенки 1 мм, которая нагревается пропускаемым через нее электрическим током. Графитовые экраны 4 совместно с боковыми 5 и торцевыми 6 молибденовыми экранами формируют равномерное температурное поле вдоль трубки. Токоподвод к трубке осуществляется через графитовые блоки 7, навинчивающиеся на медные охлаждаемые тоководы 8, входящие в корпус через герметичные уплотнения 9. Подвод охлаждающей воды к корпусу модели АЧТ осуществляется через штуцеры 10. Излучающая полость модели АЧТ образуется стенками трубки 3 и специальной сменной перегородкой, выполненной либо в виде конуса 11, либо в виде плоской стенки с концентрическими канавками. Температура стенок излучающей полости измеряется термопарой 12, вводимой через герметичное уплотнение 13. Горячий спай термопары находится в вершине конической перегородки, а холодные концы погружены в термостат 14 с тающим льдом. Показания термопары 12 контролируются с помощью оптического пирометра ЭОП-66, при температурах выше 2300 К измерение температуры излучающей полости модели АЧТ осуществляется только пирометром. Пакет диафрагм 15 отсекает излучение неизотермического участка графитовой трубки. Выходное окно 16, закрепленное в охлаждаемой проточной водой медной втулке 17, изготовлено из пластинки флюорита толщиной 4 мм. На корпусе 1 расположены три штуцера га-

зовакуумной системы, обеспечивающей вакуумирование и заполнение инертным газом внутренней полости корпуса модели АЧТ. Установка "Модель АЧТ" подключена к сети переменного тока через сварочный трансформатор ТСД-1000 мощностью 76 кВт, который позволяет нагревать графитовую трубку в атмосфере аргона до температуры 3200 К.



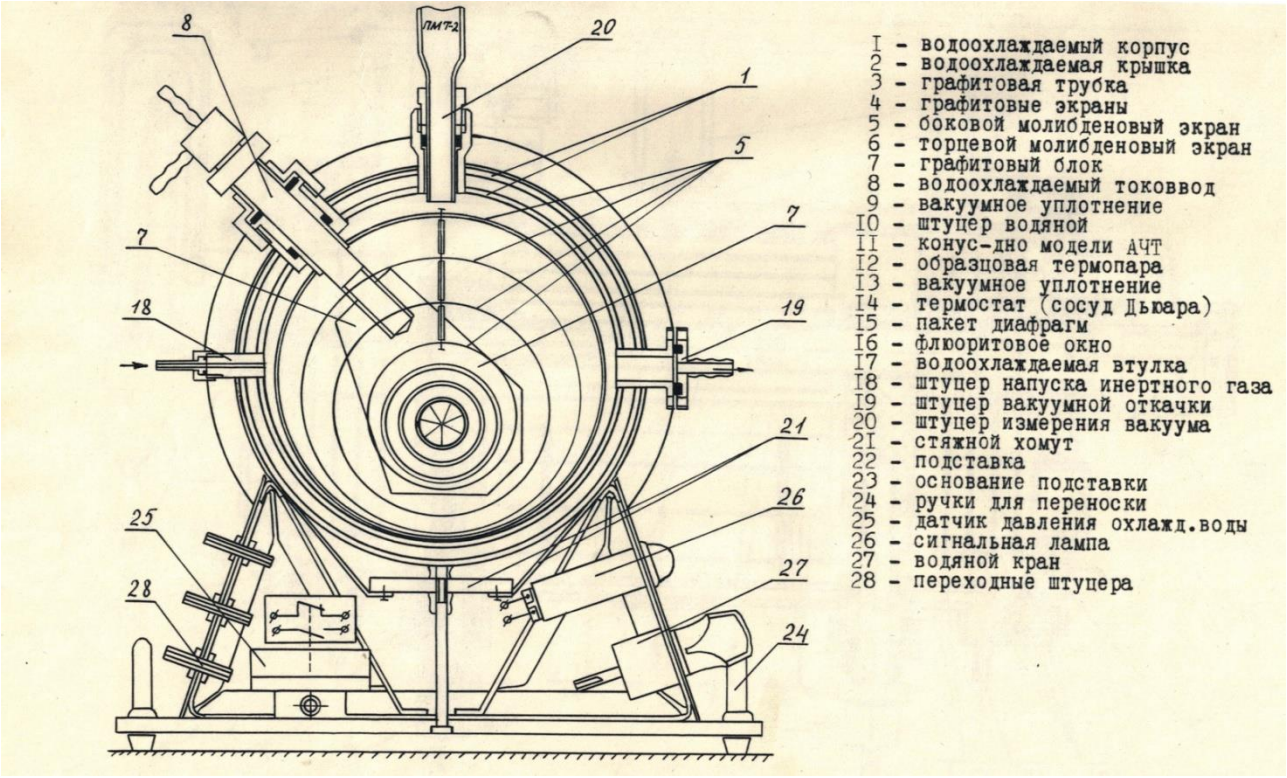


Рисунок 2. Конструктивная схема модели АЧТ

При необходимости расширения рабочего диапазона спектрометров и радиометров в область более высоких температур использовалась методика градуировки приборов с применением "серых" ослабляющих фильтров. В этом случае градуировка приборов проводилась дважды, с ослабляющим "серым" фильтром и без него, до максимальной рабочей температуры АЧТ. По этим градуировкам определялась зависимость коэффициента усиления оптико-электронного тракта измерительного прибора от величины лучистого потока, попадающего на приемник излучения, и с учетом полученной зависимости проводилась экстраполяция градуировочных зависимостей в область более высоких температур (до 4500 К).

На рисунке 3 приведены фотографии модели абсолютно черного тела и эталонного оптического пирометра ЭОП-66.

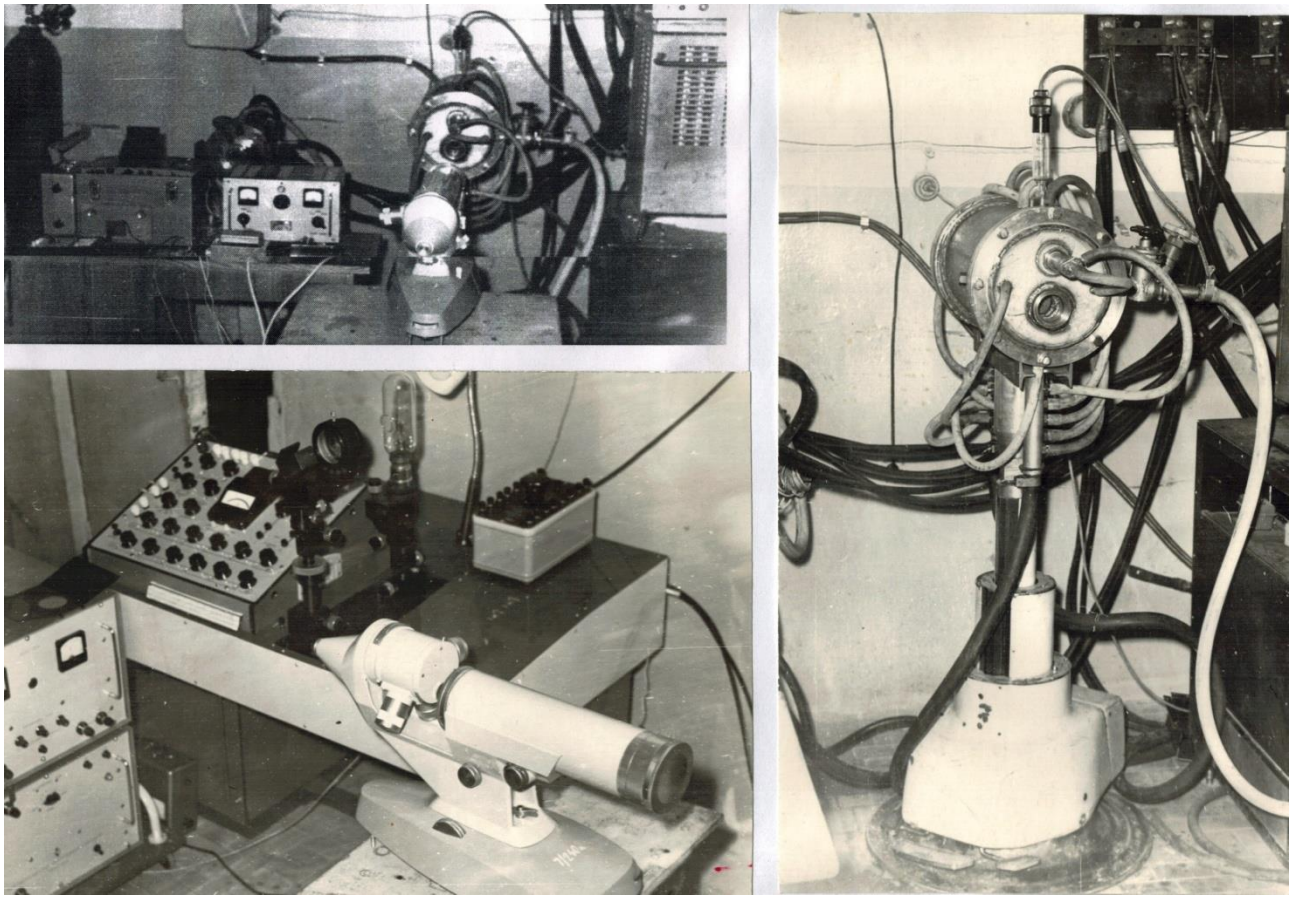


Рисунок 3. Фотографии модели АЧТ

Расчеты, выполненные по методике, изложенной в работе [4, с. 30], показали, что эффективная излучательная способность данной модели абсолютно черного тела равна 0,985 ± 0,005. Контрольные измерения, выполненные с помощью радиационного термоэлемента РТН-16С, изготовленного и прошедшего государственную поверку во Всесоюзном научно-исследовательском институте оптико-физических измерений, подтвердили результаты расчетов.

Система автоматики обеспечивает отключение установки от сети при падении давления в системе охлаждения ниже допустимого уровня. Длина корпуса модели АЧТ составляет 570 мм, внешний диаметр 292 мм, масса около 50 кг.

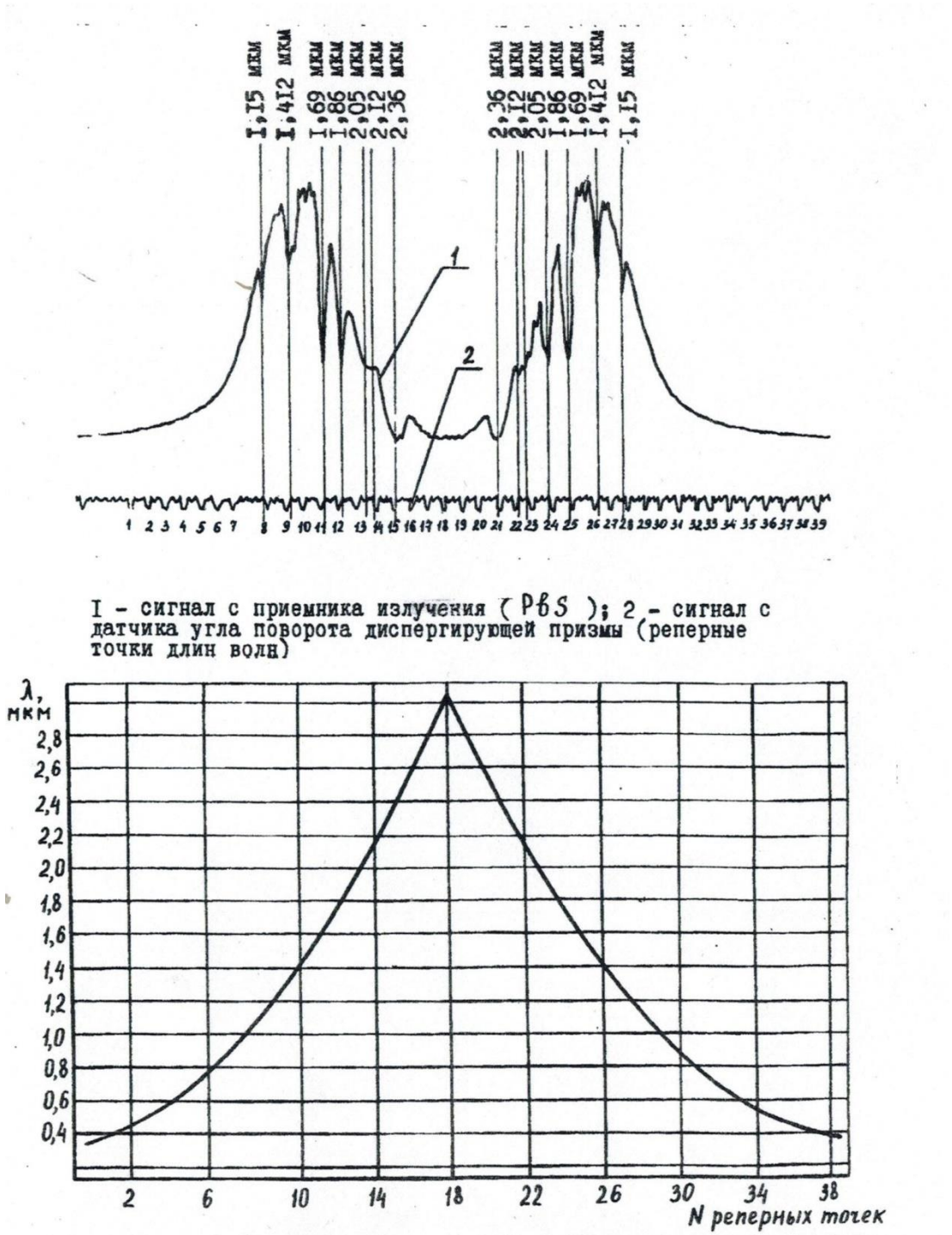


Рисунок 4. Градуировкаспектрометра по длинам волн

Градуирование спектрометров по длинам волн решается в два этапа. На первом этапе, при проектировании прибора, проводился теоретический расчет хода лучей разных длин волн при соответствующих параметрах оптических элементов монохроматора. На втором этапе, после изготовления спектрометра и юстировки его оптической системы, проведено градуирование по эталонным спектрам (нормалям) излучения и поглощения. В качестве эталонных нормалей

использовались полосы поглощения хлороформа, полосы пропускания интерференционных светофильтров, спектры излучения безэлектродных ламп типа ППБЛ-38, излучение газового лазера ЛГ-126. В качестве примера на рисунке 4 приведен спектр поглощения хлороформа и градуировочная зависимость по длинам волн для одного из спектрометров.

Разработанная система метрологического обеспечения спектрорадиометрических измерений параметров теплового излучения высокотемпературных объектов позволяет проводить исследования в условиях стендовых и натурных испытаний энергетических установок.

Список литературы

1. Теплообмен излучением: Справочник / А. Г. Блох, Ю. А. Журавлев, Л. Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.

2. Кузьмин В.А. Тепловое излучение в двигателях и энергетических установках. – Киров: ООО «Фирма «Полекс»», 2004. – 231 с.

3. Спектрометрические и пирометрические приборы для исследования теплового излучения высокотемпературных объектов [Электронный ресурс] / Л. Т. Гребенщиков [и др.] // ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ. (НПК – 2016): всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2016.– 1 электрон.опт. диск (CDROM). – С. 1762-1774.

4. Излучательные свойства твердых материалов. Справочник. Под общей редакцией А. Е. Шейндлина.М., «Энергия». 1974. 472 с.

Расчет энергетических характеристик электромеханических систем по экспериментальным данным

Запольских С.Н.[a], Бобров А.С.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: zapose@mail.ru[a], asb.06@vyatsu.ru[b]

Аннотация: Методику расчета предполагается использовать для исследований энергетических характеристик электрических двигателей с постоянным потокосцеплением. Эти двигатели имеют более высокую удельную мощность и кпд по сравнению с традиционными двигателями. Расчет экспериментальных характеристик таких двигателей требует применения дифференциального и интегрального исчисления, поэтому для обработки экспериментальных данных используются математические системы MathCAD. В статье рассматривается особенности расчета энергетических характеристик электромеханических систем по экспериментальным временным диаграммам электрического тока, напряжения и положения вторичной части. Проведена оценка возможностей математической системы MathCAD для этих целей. Рассмотрены требования, предъявляемые к измерительной системе. Измерительная система, по крайней мере, должна иметь три измерительных канала, способных выдавать численные значения кривых единичных импульсов электрического тока, напряжения и положения вторичной части. Вместо датчика положения вторичной части можно ограничиться датчиком, определяющим момент времени достижения конечного положения вторичной части. Однако, для получения более полной информации о динамике движения вторичной части, желательно использовать датчик линейных перемещений. Кроме того, для определения индукции магнитного поля необходимо использовать еще два измерительных канала. Все эти пять каналов должны быть синхронизированы. Результаты работы, также, могут быть использованы и в учебных целях.

Ключевые слова: электромеханические системы, накопители магнитной энергии, системы с постоянным потокосцеплением, моделирование.

Методика расчета может быть использована для изучения энергетических характеристик электрических двигателей с постоянным потокосцеплением. Эти двигатели имеют более высокие энергетические по сравнению с традиционными двигателями. Для расчета экспериментальных характеристик таких двигателей применяется дифференциальное и интегральное исчисление, поэтому для обработки экспериментальных данных используется известные математические системы MathCAD.

Энергетические характеристики могут быть определены из уравнения электрической цепи [1, 2]. Любую электромеханическую систему, состоящую из источника питания, индуктивности и активного сопротивления можно представить в виде дифференциального соотношения:

$$i(t)R = U(t) - \frac{d\Psi(t)}{dt}, \qquad (1)$$

где $U(t)$ – напряжение источника питания; $i(t)$ – электрический ток в обмотке; $\Psi(t)=w\Phi(t)$ – потокосцепление; $\Phi(t)$ - магнитный поток; w – число витков обмотки; R – активное сопротивление.

Умножив левую и правую части уравнения (1) на $i(t)dt$, получим уравнение баланса энергий в виде бесконечно малых величин:

$$U(t)i(t)dt = i(t)^2 Rdt + i(\Psi)d\Psi. \qquad (2)$$

Работа, совершаемая источником питания, и тепловые потери в проводах определяются функциями:

$$W_E(t) = \int_{t_0}^{t} U(t)i(t)dt, \qquad (3)$$

$$W_{Dg}(t) = R\int_{t_0}^{t} i(t)^2 dt. \qquad (4)$$

Выражение $i(\Psi)d\Psi = wi(\Phi)d\Phi$ в (2) связано с изменением магнитного потока, в которое входит энергия магнитного поля, и энергия, за счет которой совершается механическая работа электромагнитной силы. Поэтому, оно может быть записано как

$$i(\Psi)d\Psi = dW_M + \delta W_{\grave{A}}. \qquad (5)$$

Энергия магнитного поля определяется известными выражениями:

$$W_M(t) = \frac{1}{2}\int_V B(t,V)H(t,V)dV = \frac{1}{2}i(t)\Psi(t), \qquad (6)$$

где B и H – индукция и напряжённость магнитного поля в объеме V.

Для бесконечно малых величин магнитная энергия запишется:

$$dW_M = \frac{1}{2} d(i\Psi) = \frac{1}{2} i(\Psi) d\Psi + \frac{1}{2} \Psi(i) di . \qquad (7)$$

Из (5), (6) и (7) можно найти механическую работу электромагнитной силы:

$$\delta W_A = i(\Psi) d\Psi - \frac{1}{2} d(i\Psi) = \frac{1}{2} i(\Psi) d\Psi - \frac{1}{2} \Psi(i) di . \qquad (8)$$

Таким образом, работа электромагнитной силы может быть записана в виде выражения:

$$W_A(t) = \frac{1}{2} \int_{\Psi_0}^{\Psi(t)} i(\Psi) d\Psi - \frac{1}{2} \int_{i_0}^{i(t)} \Psi(i) di . \qquad (9)$$

С пределами интегралов в виде функций, система MathCAD не работает, поэтому необходимо в подынтегральных выражениях от переменных Ψ и i перейти к переменной t и записать выражение (10) в виде

$$W_A(t) = \frac{1}{2} \int_0^t i(t) \frac{d\Psi(t)}{dt} dt - \frac{1}{2} \int_0^t \Psi(t) \frac{di(t)}{dt} dt . \qquad (10)$$

Та же самая работа электромагнитной силы может быть вычислена, по другой формуле, с другими интегралами, которые не содержат производных. Из уравнения баланса энергий следует, что

$$W_A(t) = W_E(t) - W_{Dg}(t) - W_M(t)$$

или

$$W_A(t) = \int_0^t i(t) U(t) dt - \int_0^t i(t)^2 dt - \frac{1}{2} i(t) \Psi(t) . \qquad (11)$$

Коэффициент полезного действия или эффективность преобразования работы источника питания в механическую работу электромагнитной силы могут быть записаны как:

$$\eta(t_f) = \frac{W_A(t_f)}{W_E(t_f)}, \qquad (12)$$

где t_f – время достижения вторичной частью нейтрального положения.

Потери энергии в сердечниках магнитопровода в электромеханических системах с постоянным потокосцеплением, как и в других системах, где отсутствует перемагничивание, связаны только с вихревыми токами и определяются скоростью изменения функции потокосцепления, и как показали исследования на численных моделях, эти потери не большие, поэтому в данной работе пока не учитываются.

Для обработки экспериментальных данных используются математические системы MathCAD [3]. Основными возможностями этих систем являются численные задачи, и поэтому методика расчета должна составляться уже для конкретных числовых данных. Эти данные могут быть смоделированы, а потом вместо них потом могут быть проставлены реальные экспериментальные данные. Однако это оказалось не простой задачей и, поэтому использовались экспериментальные результаты, полученные когда-то давно с помощью многоканального светового осциллографа К-117 при исследовании энергетических характеристик электромагнитов. С помощью этого осциллографа в свое время довольно таки просто можно было записать на бумажную ленту импульсы различных величин, в данном случае электрического тока и напряжения и получить осциллограмму перемещения якоря электромагнита. Ход якоря электромагнита был очень мал, менее 0,1мм, и поэтому скорость изменения тока и напряжения получились большими. Так как гальванометры, используемые в осциллографе, обладают инерционностью то результаты, полученные в начале движения, особенно для напряжения, которое очень быстро изменяется в начале хода якоря, оказываются смещенными вправо и заниженными. Это внесло дополнительную и не малую погрешность. Однако разрабатываемые принципы обработки экспериментальных данных и разрабатываемая методика предполагается быть использованной для обработки экспериментальных исследований электрического двигателя с постоянным потокосцеплением. У предполагаемого двигателя ход вторичной части значительно больше, более одного сантиметра, а экспериментальные данные предполагается получить с помощью современ-

ных цифровых осциллографов. В данной работе попутно обсуждаются возможности математической системы MathCAD, применяемой для этих целей.

Данные в пикселях получены с бумажной осциллограммы с помощью растрового редактора Photo-Paint и представлены в виде двух матриц. В нулевом столбце располагаются данные для времени, в первом – электрического тока, во втором – напряжения, в третьем - перемещение якоря. Для данных, вводимых таким способом, количество строк и столбцов в системе MathCAD ограничено, поэтому, если данных много, то они вводятся с помощью нескольких матриц, которые затем сшиваются с помощью специальных функций MathCAD, в данном случае с помощью функции **stack**. Далее осуществляется перерасчет значений данных, записанных в пикселях в секунды, амперы, вольты и метры. Для этого используются результаты градуировки: промежутку времени $t_C=8\cdot10^{-3}$с соответствует $P_C=159$ пикселей, току $i_C=0{,}526$А, напряжению $U_C=5{,}04$В и перемещению $x_C=0{,}394\cdot10^{-3}$м соответствует P=202 пикселя. Вновь полученные данные выводятся с помощью одной общей матрицы **A**, и по ним уже строятся графики и рассчитываются энергетические характеристики. Для этого вначале дискретные данные преобразуются в непрерывные с помощью функции регрессии сплайнами, состоящей из двух выражений **loess** и **interp** [4]. Параметр **k1,** входящий в эти функции, определяет величину сплайна и подбирается экспериментально: при его уменьшении кривая регрессии приближается к кривой интерполяции, при увеличении кривая начинает слишком сглаживаться и экспериментальные точки пропускаются. На рисунках приведены кривые регрессии и одновременно данные матрицы **A** в виде точек.

Последовательность обработки экспериментальных результатов может быть представлена в виде.

$$A1 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 3 & 0 \\ 10 & 0 & 6 & 0 \\ 15 & 2 & 77 & 0 \\ 20 & 9 & 182 & 0 \\ 25 & 20 & 273 & 0 \\ 33 & 41 & 306 & 0 \\ 35 & 48 & 305 & 0 \\ 40 & 61 & 286 & 0 \\ 45 & 75 & 256 & 0 \\ 50 & 91 & 236 & 0 \\ 55 & 104 & 222 & 0 \\ 60 & 112 & 212 & 1 \\ 65 & 118 & 205 & 3 \\ 70 & 125 & 193 & 5 \\ 75 & 128 & 184 & 9 \\ 80 & 131 & 175 & 15 \\ 85 & 131 & 166 & 23 \\ 90 & 129 & 158 & 30 \end{pmatrix} \quad A2 := \begin{pmatrix} 95 & 126 & 148 & 44 \\ 100 & 121 & 141 & 56 \\ 105 & 115 & 131 & 70 \\ 110 & 108 & 124 & 85 \\ 115 & 105 & 116 & 95 \\ 120 & 98 & 110 & 100 \\ 125 & 96 & 102 & 102 \\ 130 & 95 & 96 & 104 \\ 135 & 95 & 90 & 106 \\ 140 & 94 & 83 & 108 \\ 145 & 94 & 76 & 108 \\ 150 & 93 & 70 & 109 \\ 155 & 92 & 64 & 109 \\ 160 & 91 & 58 & 109 \\ 170 & 89 & 45 & 109 \\ 180 & 85 & 36 & 109 \\ 190 & 81 & 25 & 109 \\ 200 & 77 & 14 & 109 \\ 210 & 73 & 5 & 109 \\ 216 & 70 & 0 & 109 \end{pmatrix}$$

$A := \text{stack}(A1, A2)$

$t_C := 8 \cdot 10^{-3}$ $\quad P_t := 159$

$i_C := 0.526$ $\quad P := 202$

$U_C := 5.04$

$x_C := 0.394 \cdot 10^{-3}$

$$A^{\langle 0 \rangle} := \frac{t_C \cdot A^{\langle 0 \rangle}}{P_t} \quad A^{\langle 1 \rangle} := \frac{i_C \cdot A^{\langle 1 \rangle}}{P} \quad A^{\langle 2 \rangle} := \frac{U_C \cdot A^{\langle 2 \rangle}}{P} \quad A^{\langle 3 \rangle} := \frac{x_C \cdot A^{\langle 3 \rangle}}{P}$$

$A =$

	0	1	2	3
0	$0 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
1	$2.516 \cdot 10^{-4}$	$0 \cdot 10^{0}$	$7.485 \cdot 10^{-2}$	$0 \cdot 10^{0}$
2	$5.031 \cdot 10^{-4}$	$0 \cdot 10^{0}$	$1.497 \cdot 10^{-1}$	$0 \cdot 10^{0}$
3	$7.547 \cdot 10^{-4}$	$5.208 \cdot 10^{-3}$	$1.921 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
4	$1.006 \cdot 10^{-3}$	$2.344 \cdot 10^{-2}$	$4.541 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
5	$1.258 \cdot 10^{-3}$	$5.208 \cdot 10^{-2}$	$6.811 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
6	$1.66 \cdot 10^{-3}$	$1.068 \cdot 10^{-1}$	$7.635 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
7	$1.761 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-1}$	$7.61 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
8	$2.013 \cdot 10^{-3}$	$1.588 \cdot 10^{-1}$	$7.136 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
9	$2.264 \cdot 10^{-3}$	$1.953 \cdot 10^{-1}$	$6.387 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
10	$2.516 \cdot 10^{-3}$	$2.37 \cdot 10^{-1}$	$5.888 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
11	$2.767 \cdot 10^{-3}$	$2.708 \cdot 10^{-1}$	$5.539 \cdot 10^{0}$	$0 \cdot 10^{0}$
12	$3.019 \cdot 10^{-3}$	$2.916 \cdot 10^{-1}$	$5.29 \cdot 10^{0}$	$1.95 \cdot 10^{-6}$
13	$3.27 \cdot 10^{-3}$	$3.073 \cdot 10^{-1}$	$5.115 \cdot 10^{0}$	$5.851 \cdot 10^{-6}$
14	$3.522 \cdot 10^{-3}$	$3.255 \cdot 10^{-1}$	$4.815 \cdot 10^{0}$	$9.752 \cdot 10^{-6}$
15	$3.774 \cdot 10^{-3}$	$3.333 \cdot 10^{-1}$	$4.591 \cdot 10^{0}$	$1.755 \cdot 10^{-5}$
16	$4.025 \cdot 10^{-3}$	$3.411 \cdot 10^{-1}$	$4.366 \cdot 10^{0}$	$2.926 \cdot 10^{-5}$
17	$4.277 \cdot 10^{-3}$	$3.411 \cdot 10^{-1}$	$4.142 \cdot 10^{0}$	$4.486 \cdot 10^{-5}$
18	$4.528 \cdot 10^{-3}$	$3.359 \cdot 10^{-1}$	$3.942 \cdot 10^{0}$	$5.851 \cdot 10^{-5}$
19	$4.78 \cdot 10^{-3}$	$3.281 \cdot 10^{-1}$	$3.693 \cdot 10^{0}$	$8.582 \cdot 10^{-5}$
20	$5.031 \cdot 10^{-3}$	$3.151 \cdot 10^{-1}$	$3.518 \cdot 10^{0}$	$1.092 \cdot 10^{-4}$
21	$5.283 \cdot 10^{-3}$	$2.995 \cdot 10^{-1}$	$3.269 \cdot 10^{0}$	$1.365 \cdot 10^{-4}$
22	$5.535 \cdot 10^{-3}$	$2.812 \cdot 10^{-1}$	$3.094 \cdot 10^{0}$	$1.658 \cdot 10^{-4}$
23	$5.786 \cdot 10^{-3}$	$2.734 \cdot 10^{-1}$	$2.894 \cdot 10^{0}$	$1.853 \cdot 10^{-4}$
24	$6.038 \cdot 10^{-3}$	$2.552 \cdot 10^{-1}$	$2.745 \cdot 10^{0}$	$1.95 \cdot 10^{-4}$
25	$6.289 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$2.545 \cdot 10^{0}$	$1.99 \cdot 10^{-4}$
26	$6.541 \cdot 10^{-3}$	$2.474 \cdot 10^{-1}$	$2.395 \cdot 10^{0}$	$2.029 \cdot 10^{-4}$
27	$6.792 \cdot 10^{-3}$	$2.474 \cdot 10^{-1}$	$2.246 \cdot 10^{0}$	$2.068 \cdot 10^{-4}$
28	$7.044 \cdot 10^{-3}$	$2.448 \cdot 10^{-1}$	$2.071 \cdot 10^{0}$	$2.107 \cdot 10^{-4}$
29	$7.296 \cdot 10^{-3}$	$2.448 \cdot 10^{-1}$	$1.896 \cdot 10^{0}$	$2.107 \cdot 10^{-4}$
30	$7.547 \cdot 10^{-3}$	$2.422 \cdot 10^{-1}$	$1.747 \cdot 10^{0}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
31	$7.799 \cdot 10^{-3}$	$2.396 \cdot 10^{-1}$	$1.597 \cdot 10^{0}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
32	$8.05 \cdot 10^{-3}$	$2.37 \cdot 10^{-1}$	$1.447 \cdot 10^{0}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
33	$8.553 \cdot 10^{-3}$	$2.318 \cdot 10^{-1}$	$1.123 \cdot 10^{0}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
34	$9.057 \cdot 10^{-3}$	$2.213 \cdot 10^{-1}$	$8.982 \cdot 10^{-1}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
35	$9.56 \cdot 10^{-3}$	$2.109 \cdot 10^{-1}$	$6.238 \cdot 10^{-1}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
36	$1.006 \cdot 10^{-2}$	$2.005 \cdot 10^{-1}$	$3.493 \cdot 10^{-1}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
37	$1.057 \cdot 10^{-2}$	$1.901 \cdot 10^{-1}$	$1.248 \cdot 10^{-1}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$
38	$1.087 \cdot 10^{-2}$	$1.823 \cdot 10^{-1}$	$0 \cdot 10^{0}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$

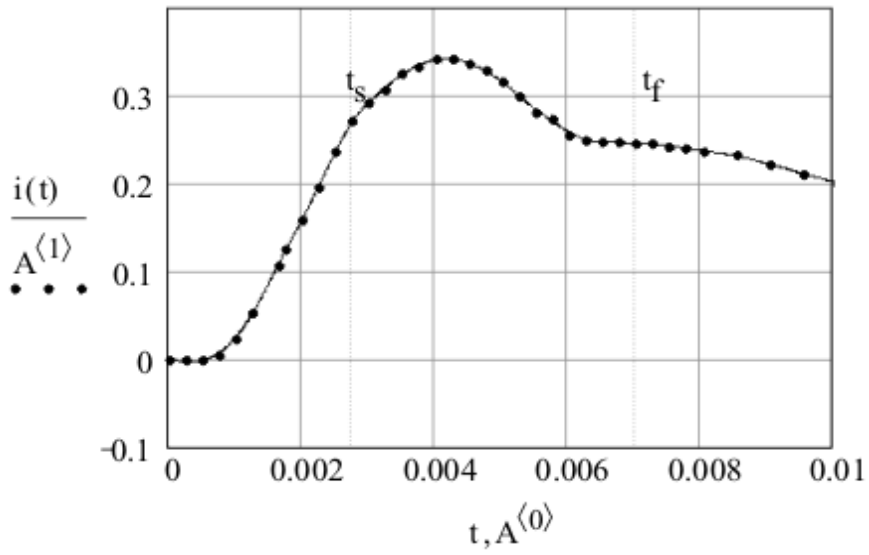
$k1 := 0.2$

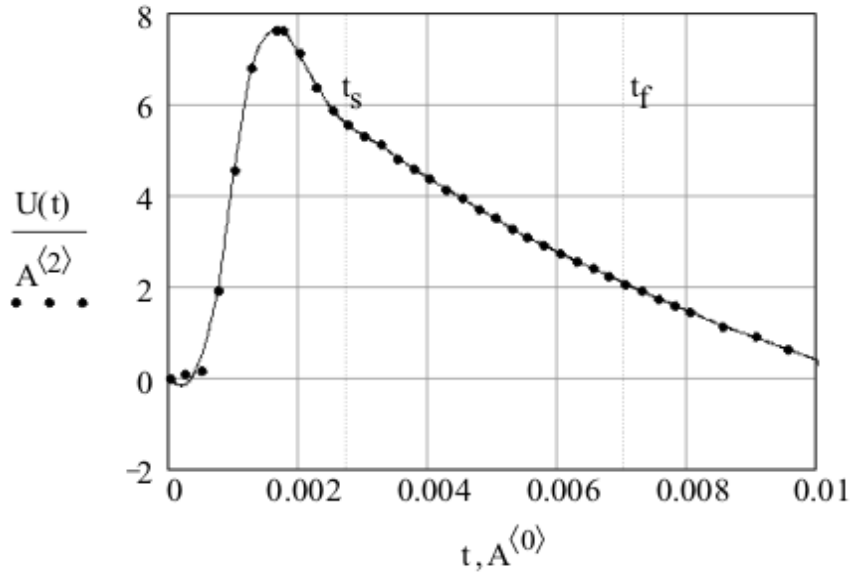
$s1 := \text{loess}\left(A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 1 \rangle}, k1\right)$ $\quad i(t) := \text{interp}\left(s1, A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 1 \rangle}, t\right)$

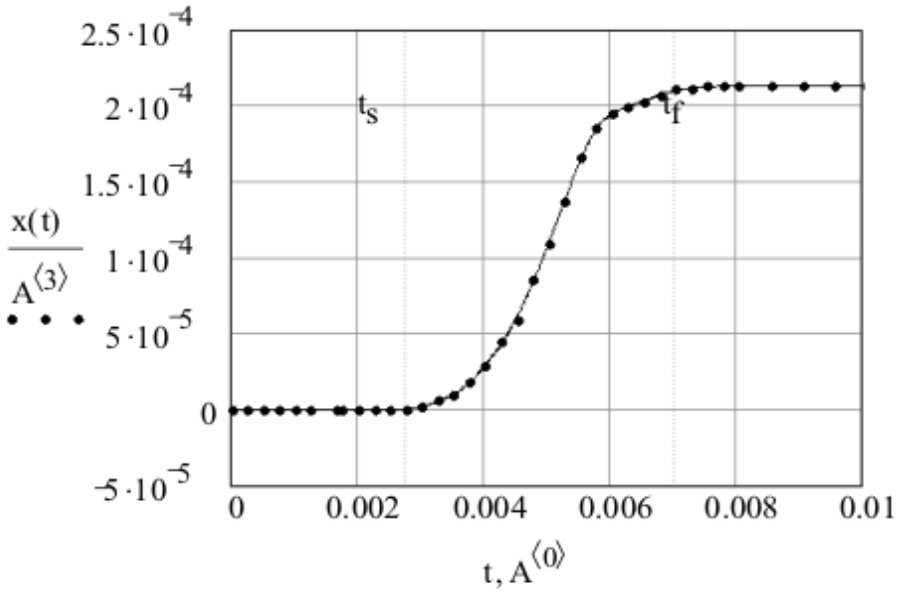
$s1 := \text{loess}\left(A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 2 \rangle}, k1\right)$ $\quad U(t) := \text{interp}\left(s1, A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 2 \rangle}, t\right)$

$s1 := \text{loess}\left(A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 3 \rangle}, k1\right)$ $\quad x(t) := \text{interp}\left(s1, A^{\langle 0 \rangle}, A^{\langle 3 \rangle}, t\right)$

$t_s := 2.767 \cdot 10^{-3}$ $t_f := 7.044 \cdot 10^{-3}$







Затем осуществляется расчет и вывод энергетических характеристик в виде графиков.

$$W_E(t) := \int_0^t U(t)\cdot i(t)\ dt$$

$$R := 6.1$$

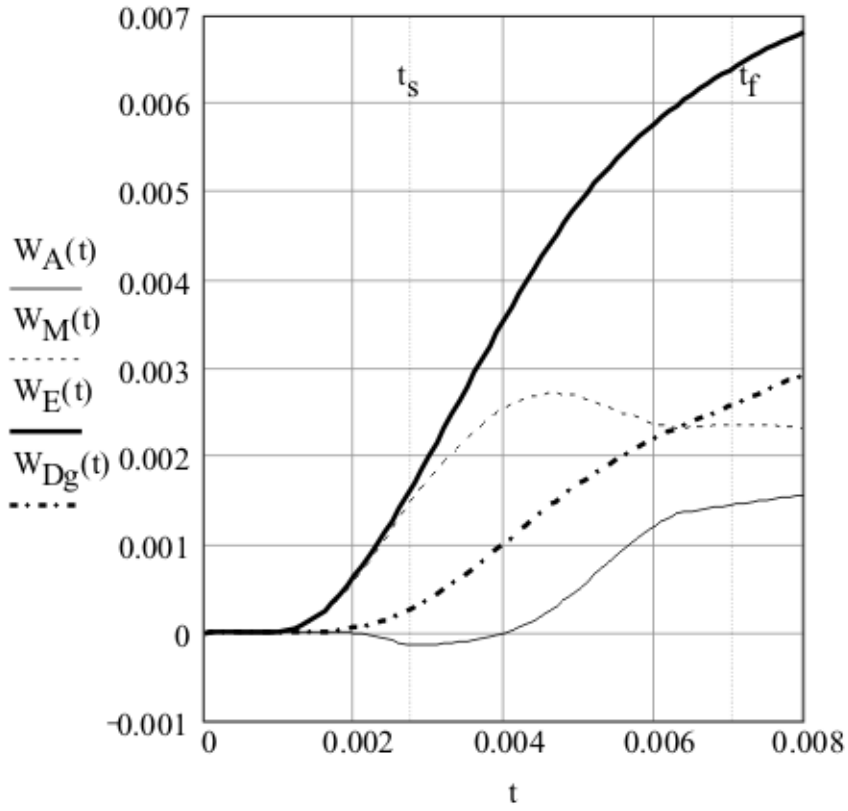
$$W_{Dg}(t) := R\cdot\int_0^t i(t)^2\ dt$$

$$\Psi(t) := \int_0^t U(s)\ ds - R\cdot\int_0^t i(s)\ ds$$

$$W_M(t) := \frac{1}{2}\cdot i(t)\cdot\Psi(t) \qquad W_M(t_f) = 2.359\times 10^{-3}$$

$$W_A(t) := W_E(t) - W_{Dg}(t) - W_M(t) \qquad W_A(t_f) = 1.448\times 10^{-3}$$

$$\eta := \frac{W_A(t_f)}{W_E(t_f)} \qquad \eta = 2.262\times 10^{-1}$$



Система MathCAD значительно расширяет наши возможности, но возможности самой системы не безграничны. Для проверки правильности работы и оценки возможностей математической системы MathCAD к решению одной и той же задачи, желательно, подходить разными путями, поэтому работа электромагнитной силы вычислялась другим способом, по формуле (11). В эту формулу входят другие интегралы, а в подынтегральных выражениях, кроме того, содержатся производные. Если в первом случае система затрачивала на расчет 2-3 секунды, то теперь на это понадобилось уже около пяти минут. Кривая для электромагнитной силы совпадает с предыдущей кривой, но получилась не много издерганной. По-видимому, кривые регрессии получились не совсем гладкими, хотя это сразу по кривым не заметно, и при их построении коэффициент **k1** необходимо брать несколько больше и лучше подбирать его отдельно для каждой кривой.

При исследовании энергетических характеристик электромеханических систем с постоянным потокосцеплением необходимо иметь информацию об индукции магнитного поля в сердечниках магнитопровода. Это можно сделать с помощью датчика, представляющего из себя обмотку из тонкого провода с небольшим известным числом витков, плотно намотанную на сердечник магнитопровода электромеханической системы с известным сечением. Для этой обмотки по формуле (1) с помощью системы MathCAD аналогично вычисляется потокосцепление, а затем индукция магнитного поля.

Таким образом, рассмотрен способ расчета энергетических характеристик электромагнитных систем по экспериментальным данным с помощью математической системы MathCAD. Проведена оценка возможностей математической системы MathCAD для этих целей. Рассмотрены требования, предъявляемые к измерительной системе. Измерительная система, по крайней мере, должна иметь три измерительных канала, способные выдавать численные значения кривых единичных импульсов электрического тока, напряжения и положения вторичной части. Для определения индукции магнитного поля используются еще два измерительных канала. Все эти пять каналов должны быть синхронизированы.

Список литературы

1. Запольских С.Н., Борисов, А.А., Бобров, А.С. Физические принципы преобразования энергий в электромагнитных системах с предварительным накоплением магнитной энергии// Advanced science, 2017. № 1. Физико-математические науки.

2. Запольских С.Н., Борисов, А.А., Хлебов, А.Г. Исследование энергетических характеристик электромагнитных систем с предварительным накоплением магнитной энергии на численных моделях // Advanced science, 2017. № 2. Физико-математические науки.

3. Гурский Д.А. Вычисление в MathCAD. Минск: ООО «Новое знание», 2003. 523 с.

4. Запольских С.Н. Методы построения кривых регрессии по экспериментальным данным. Киров: ВятГУ, 2015. 41 с.

Оптимизация системы воспламенения стендового гибридного ракетного двигателя

Каргапольцев В.В.[a], Будин А.Г[b], Зырянов И.А.[c]
магистр кафедры теплотехники и гидравлики[a]
ассистент кафедры инженерной физики[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]

Аннотация: В работе решается задача оптимизации проведения экспериментов с модельным гибридным ракетным двигателем, а именно модернизация системы зажигания. Для решения поставленной задачи произведен анализ существующих систем зажигания стендовых гибридных реактивных двигателей. Показано, что инициация горения производятся с помощью запальных картриджей, электрической искры или дуги, а также с помощью каталитического разложения окислителя.

В рамках решения задачи выбран электродуговой способ зажигания, предложено конструктивное решение, позволяющее уменьшить время подготовки модели реактивного двигателя к эксперименту и упростить алгоритм сборки модели. Предложена схема реализации данного метода. В качестве источника питания системы зажигания предложено использовать сварочный инвертор и осциллятор. В качестве электродов используются автомобильные свечи зажигания. Предложена схема модернизации стендового двигателя.

Ключевые слова: система зажигания, гибридный ракетный двигатель.

Ракетный двигатель (РД) – реактивный двигатель, источник энергии и рабочее тело которого находится в самом средстве передвижения [1]. Гибридный ракетный двигатель (ГРД) - один из видов РД в котором горючее и окислитель находятся в разном агрегатном состоянии. Положительными сторонами такой концепции являются: способность управления величиной тяги, многократный запуск и остановка двигателя, сравнительно низкая стоимость.

Тем не менее, гибридные ракетные двигатели имеют ряд недостатков (низкая скорость горения и полнота сгорания твердого топлива), которые возможно устранить только в рамках проведения активных экспериментальных исследований, направленных на устранение существующих отрицательных черт данного типа двигателя. Одним из методов оптимизации режимов работы ГРД – создание электрического поля в камере сгорания. Для этих целей разработан и создан стенд с модельным ГРД, описанный в [1].

Использование стендового двигателя выявило ряд проблем в организации и проведении экспериментов, а именно проблемы с запуском двигателя. Для зажигания топливного блока на стенде используется нихромовая спираль. При подготовке эксперимента возникают сложности с установкой зажигающего элемента, что приводит к нестабильности работы системы зажигания и большой длительности сборки двигателя.

В связи с этим работе ставится задача оптимизации системы воспламенения в имеющемся модельном ГРД.

В стендовых ГРД применяется несколько типов систем зажигания, которые условно можно разделить по методу инициирования: зажигание электрической искрой, зажигание электрической дугой, зажигание пиротехническим картриджем, каталитическое зажигание.

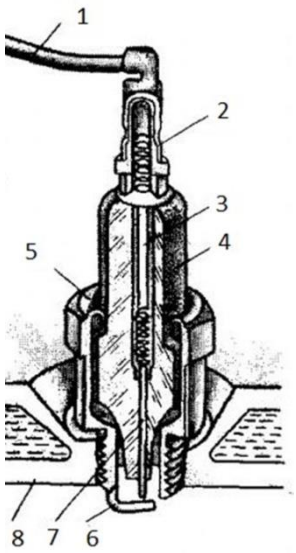


Рисунок 1. Схема свечи зажигания. 1 — высоковольтный провод; 2 – корпус; 3 — стержень; 4 — наконечник; 5 — изолятор; 6 — боковой электрод; 7 — центральный электрод; 8 — корпус РД.

Зажигание электрической искрой осуществляется путем воспламенения газообразной горючей смеси от искры возникающей между электродами расположенными в камере сгорания. Принцип действия системы следующий. В камеру сгорания в поток окислителя подается запальный газ, который проходит через свечу зажигания. Импульс тока высокого напряжения, подведенный к свече по проводу 1 (рис. 1), поступает на центральный электрод 7 через наконечник 4, встречая на своем пути искровой промежуток, т. е. пространство между центральным 7 и боковым 6 электродами, преодолевает его в виде ис-

кры, зажигая при этом топливо [2,3]. Далее горящая газовая смесь зажигает топливный блок.

Для осуществления данного метода необходимо наличие импульсного источника питания высокого напряжения и тока, а также системы подачи запального газа.

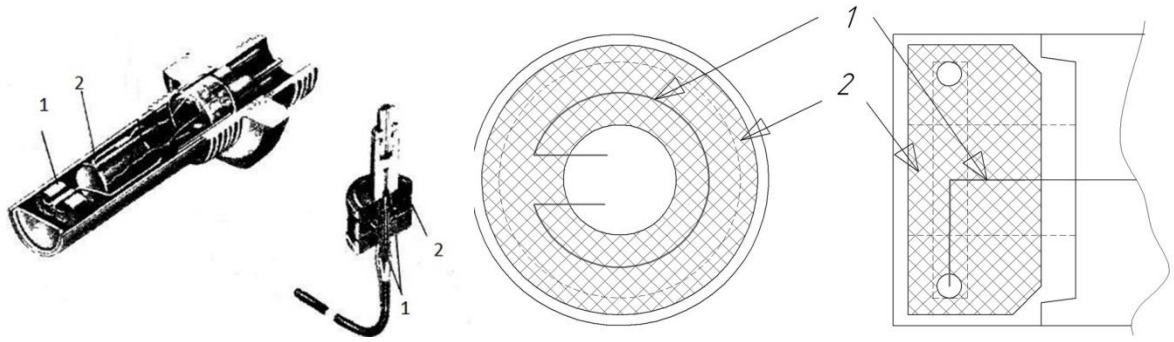
Другой метод зажигания, применяемый в ГРД, - зажигание электрической дугой. Для воспламенения смеси топлива и окислителя используется искровой электрический разряд, по своей сути, представляющий из себя плазму. Данный метод используется, например, в [4].

Электрическая дуга между двумя электродами в газе при атмосферном давлении образуется следующим образом. Между электродами создается высокое напряжение. При увеличении напряжения до определённого уровня, в газе между возникает электрический пробой. Напряжение электрического пробоя зависит от расстояния между электродами, состава газа, конфигурации электродов и т.д.

Для инициирования пробоя при имеющемся напряжении электроды либо приближают друг к другу, либо подают на них переменное напряжение высокой частоты. Во время пробоя между электродами обычно возникает искровой разряд, импульсно замыкая электрическую цепь. В области разряда существенно повышается температура, что приводит к инициированию горения. Для осуществления данного метода необходим мощный источник питания и система электродов.

Третий вариант запуска ГРД - зажигание пиротехническим картриджем. Суть метода состоит в установке в камере сгорания легковоспламеняющегося заряда, горение которого инициируется либо искрой, либо нагреванием. Используются различные виды пиротехнических инициаторов. Примеры представлены на рис. 2. На рис. 2,а (1 – электрозапалы; 2 – плавкий элемент) показаны конструкции пиротехнических зажигательных устройств для газогенератора и камер сгорания ракетного двигателя [5]. Зажигательное устройство имеет вид прессованного столбика из тонкого порошка металла (обычно бора,

алюминия, магния, а также смеси этих или подобных им металлов), окислителя типа перхлората калия и связующих. Пиротехнический состав обычно воспламеняется электрозапалом.



а) б)

Рисунок 2. Пиротехнические инициаторы горения.

На рис. 3,б представлена схема пиротехнического картриджа используемая в стендовом двигателе, представленном в [6]. Картридж в данном случае состоит из нихромовой проволочки 1, согнутой в форме кольца, покрытого смесью 70% перхлората аммония и 30% нитроцеллюлозного лака - 2. Кольцо нагревается электрическим током. Разогрев кольца при пропускании электрического тока приводит к самовоспламенению ПХА, в результате чего воспламеняется заряд.

Применение данного метода требует наличия специфических горючих смесей.

Последним методом инициирования горения в стендовых ГРД является каталитический метод. Метод основан на частичном разложении окислителя на катализаторе. Продукты, получаемые в результате разложения, имеют высокую температуру, достаточную для воспламенения топлива. Данный метод применяется в основном в системах, где в качестве окислителя используется H_2O_2, N_2O, N_2O_2[7].

Представленные методы инициирования имеют свои достоинства и недостатки. Так, применение зажигания электрической искрой требует существенной модернизации газовой схемы имеющегося стенда, а именно введение дополнительной системы подачи запального газа. Зажигание пиротехническим картриджем фактически повторяет имеющуюся схему зажигания, а применение

каталитического метода невозможно в виду используемого окислителя. Таким образом, для оптимизации работы стенда выбран электродуговой метод.

Зажигание предлагается осуществлять с помощью электродов, установленных вблизи поверхности топливного блока. Для создания предполагается использовать сварочный инвертор и осциллятор. Принципиальная схема системы зажигания приведена на рис.3. Принцип действия системы следующий. Воспламенение топлива в камере сгорания проходит в две стадии:

- на первой стадии на электроды подают постоянное напряжение от инвертора и высокочастотное переменное напряжение от осциллятора, между электродами создается высокочастотный разряд, формируется электрическая дуга;

- на второй стадии выключают осциллятор и поддерживают дугу в камере сгорания за счет работы инвертора. Дуга, благодаря своим свойствам, воспламеняет топливный блок, после чего инвертор отключается.

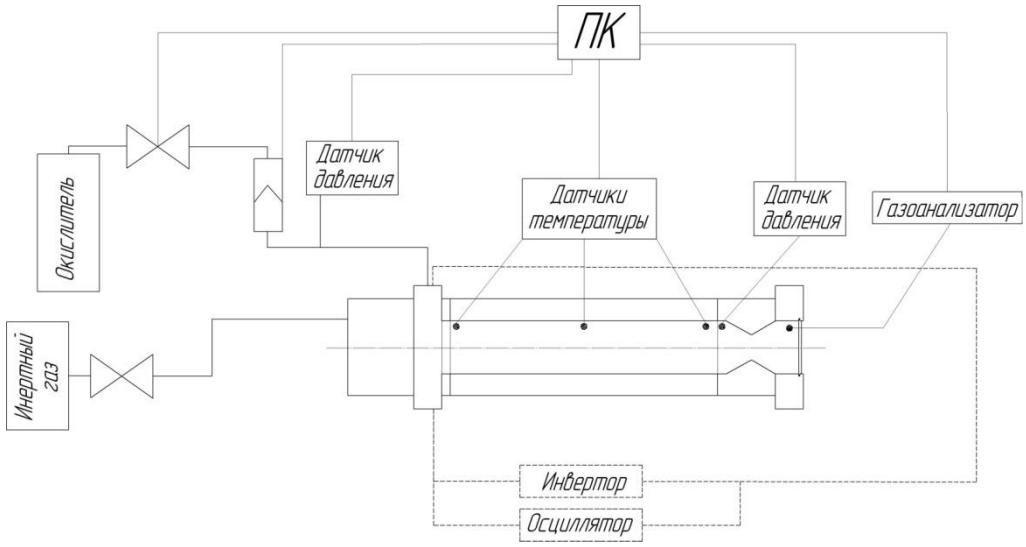


Рисунок 3. Схема стендового ГРД.

Реализация предлагаемого метода требует модернизации стендового ГРД. Создание электрической дуги требует введения электродов в камеру сгорания. В качестве электродов предлагается использовать центральные электроды автомобильных свечей зажигания. Электроды предлагается установить на резьбовое соединение в крепление топливного блока. Схема установки свечей зажигания в корпус ГРД приведена на рис. 4. Выбор элементов обусловлен необходимостью изоляции токоведущих частей системы от корпуса двигателя, а также

с целью герметизации камеры сгорания. Предложенная схема зажигания будет рассчитана на несколько запусков, что позволит снизить время на подготовку эксперимента.

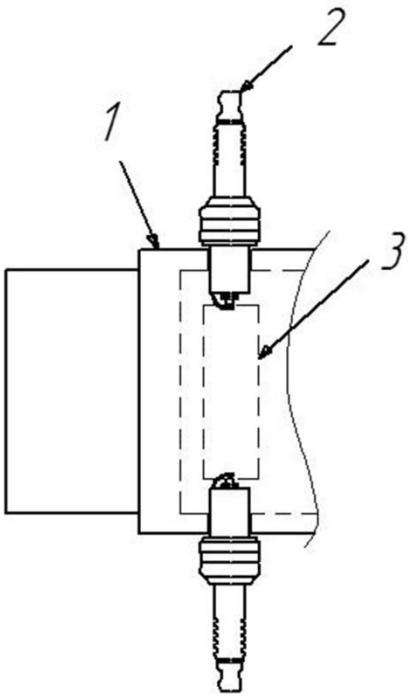


Рисунок 4. Схема установки свечей зажигания в корпус ГРД. 1 –корпус ГРД; 2 – свеча зажигания; 3 – зона возникновения электрической дуги.

Таким образом, в работе проведен анализ существующих систем воспламенения топливного блока в стендовом ГРД. Для решения задачи оптимизации проведения экспериментов выбран метод зажигания электрической дугой. Разработана схема системы зажигания, предложена конструкция и система крепления электродов к модельному ГРД.

Список литературы

1. Решетников С.М., Зырянов И.А., Позолотин А.П., Будин А.Г. Природа и закономерности влияния электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева, Казань, 2015, №1. С.52-57

2. Зажигание топлива электрической искрой. URL: http://texnika.megapetroleum.ru/zazhiganie-topliva-elektricheskoj-iskroj (дата обращения 16.01.2018).

3. А. В. Потапкин, T.-S. Lee. Экспериментальное исследование тяговых характеристик гибридного ракетного двигателя при различных способах подачи окислителя// Физика горения и взрыва, 2004. Т. 40. №- 4. С.15-22.

4. Lee C. Internal Flow Dynamics and Regression Rate in Hybrid Rocket Combustion //International Journal Aeronautical and Space Sciences. 2012. Т. 13. №. 4. С. 507-514.

5. Пиротехническое зажигание. URL: http://gazogenerator.com/ vspomogatelnye-sistemy-raketno-kosmicheskoj-texniki/pirotexnicheskoe-zazhiganie (дата обращения: 11.01.2018)

6. Investigational hybrid rocket engine design for rit meteor orbital launch systems/ Hibbard C. et al. // Multi-Disciplinary Engineering Design Conference Kate Gleason College of Engineering Rochester Institute of Technology Rochester, New York, 2005. URL: http://edge.rit.edu/content/Reports/public/2005-06/Technical_ Papers/P06006_Technical_Paper.pdf (дата обращения: 11.01.2018)

7. Brown T. R., Lydon M. C. Testing of Paraffin-Based Hybrid Rocket Fuel Using Hydrogen Peroxide Oxidizer //AIAA Region 5 Student Conference, Wichita, USA, 2005. URL: http://csmarts.colorado.edu/COSGC_Projects/symposium_ archive/2005/docs/115.pdf (дата обращения: 11.01.2018)

Актуальность использования торфа в теплоэнергетике Кировской области

Кузьмин В. А.[a], Заграй И. А.[b], Десятков И. А.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры инженерной физики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
аспирант кафедры инженерной физики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: Zagray@vyatsu.ru[b]

Аннотация: ЗАО «ВяткаТорф», находящееся на территории Кировской области, является крупнейшим торфодобывающим предприятием России для нужд энергетического использования. Представлены данные по запасам и добыче торфа на четырех производственных участках Кировской области (Дымный, Пищальский, Каринский, Гороховский). Перечислены факторы, влияющие на объемы производства-потребления топливного торфа. Основным потребителем фрезерного торфа выступает Кировская ТЭЦ-4, входящая в структуру ПАО «Т Плюс» филиал «Кировский». Станция может работать (параллельно или по очереди) на четырех видах топлива: фрезерный торф, природный газ, уголь, мазут. Основным критерием при работе энергетических котлов ТЭЦ-4 на фрезерном торфа является их надежная и экономичная работа. Указаны основные причины потребления местного вида топлива (торфа), обуславливающие актуальность его использования в теплоэнергетике Кировской области.

Ключевые слова: торф, добыча торфа, месторождения торфа, сжигание торфа.

Торф является широко распространенным полезным ископаемым в России, его запасы в масштабах страны уступают только запасам угля. На территории России сосредоточено более 40% мировых запасов торфа, однако по темпам добычи в настоящее время она уступает другим странам.

В настоящее время ЗАО «ВяткаТорф» [1], находящееся на территории Кировской области, является крупнейшим торфодобывающим предприятием России. На него приходится примерно 50% объёмов торфодобычи в стране. Предприятие специализировано для добычи торфа под нужды энергетического использования. Качество продукции соответствует ГОСТ 350902-96 «Торф топливный для пылевидного сжигания».

Объем добычи на производственных участках ЗАО «ВяткаТорф» достигает 800 тысяч тонн торфа натуральной влажности. Расчётные мощности пред-

приятия позволяют увеличить эту цифру в несколько раз. Площадь активно эксплуатируемой части используемых месторождений составляет 2500 га, балансовые запасы торфа на 1 января 2008 года – около 154 млн. тонн.

На территории Кировской области торф добывается на 4-х производственных участках: Дымный (поселок Светлополянск Верхнекамского района), Пищальский (поселок Мирный Оричевского района), Каринский (поселок Октябрьский Слободского района), Гороховский (поселок Комсомольский Котельнического района) (рис.1, табл. 1).

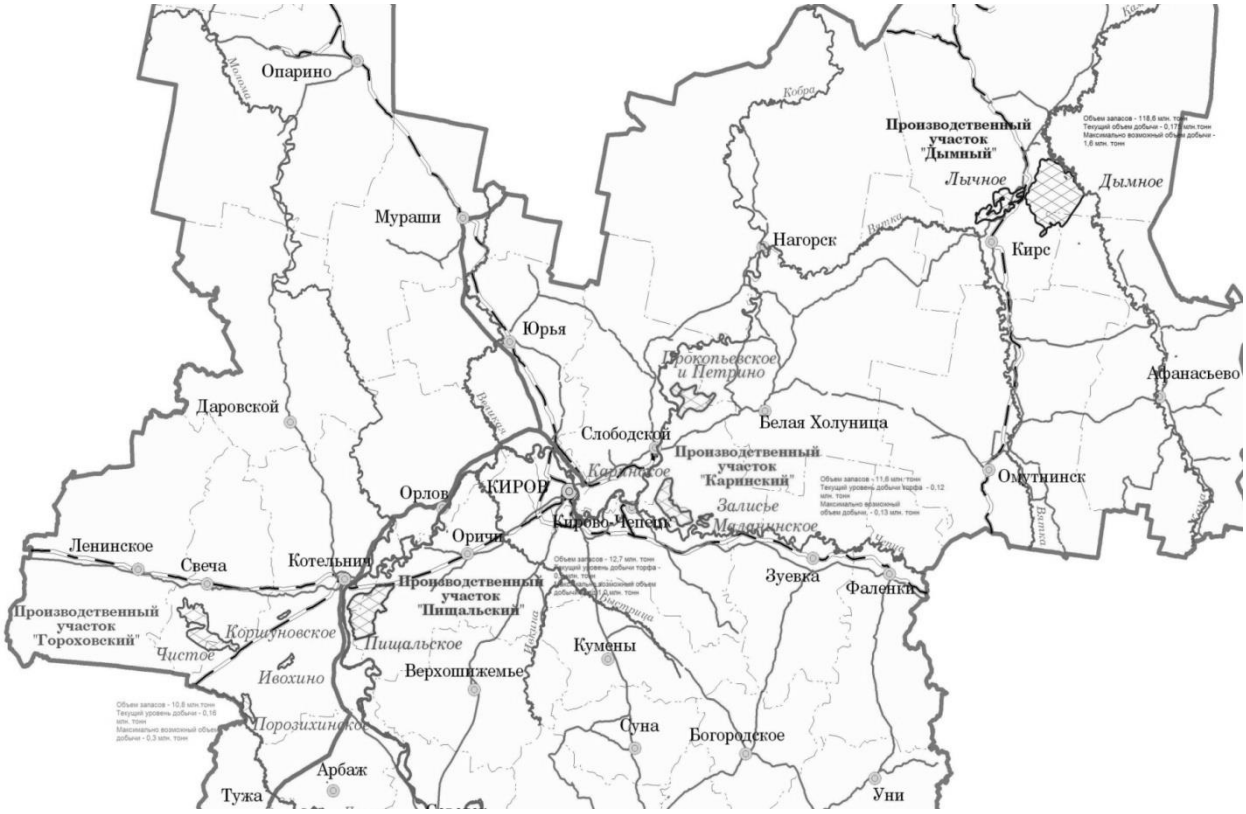


Рисунок 1. Схема производственных участков ЗАО «ВяткаТорф»

Таблица 1

Запасы и добыча торфа на производственных участках Кировской области по данным ЗАО «Вятка Торф»

Производственный участок	Объем запасов торфа (форма Росстат № 5-гр), млн. тонн	Существующий объем добычи, млн.тонн/год	Потенциально достижимый объем добычи торфа, млн.тонн/год
Дымный	118,1	0,1	1,2
Пищальский	11,4	0,2	0,4
Каринский	10,9	0,1	0,11
Гороховский	10,5	0,06	0,35

Основными факторами, которые влияют на объемы производства энергетического торфа, являются:

1. Погодные условия. Если погода летом (в сезон добычи торфа) характеризуется большим количеством осадков, то торфопредприятие не может добыть и высушить большие объемы продукции.

2. Изношенность подвижного состава ЗАО «ВяткаТорф». Большая часть вагонного парка физически устарела и нуждается в замене. Автомобильные перевозки не могут покрыть объемы, которые потеряны из-за уменьшения вагонного парка.

3. Спрос на топливный торф со стороны потребителей данного ресурса.

Основным потребителем фрезерного торфа выступает Кировская ТЭЦ-4. Другими потребителями энергетического торфа являются 4 котельные, территориально приближенные к месторождениям, но объемы поставки торфа на данные объекты несопоставимы с объемами поставки торфа на ТЭЦ-4. За 2016 год потребление торфа Кировской ТЭЦ-4 составило 368233 тонны натурального топлива.

Кировская ТЭЦ-4, также, как и ЗАО «ВяткаТорф», входит в структуру ПАО «Т Плюс» филиал «Кировский». Данная теплоэлектроцентраль является крупнейшим потребителем энергетического торфа в Российской Федерации. При этом станция является уникальной для энергетики Российской Федерации – это единственная теплоэлектроцентраль, которая может работать (параллельно или по очереди) на четырех видах топлива: фрезерный торф, природный газ, уголь, мазут (мазут является резервным топливом и должен использоваться только в чрезвычайных ситуациях). Основным критерием при работе энергетических котлов на фрезерном топливе является их надежная и экономичная работа. На электростанции установлены 9 котлоагрегатов типа БКЗ-210-140Ф. Один из котлоагрегатов реконструирован по НТВ-технологии с целью повышения объемов сжигания бурого угля. Основные данные и общий вид котла БКЗ-210-140Ф представлены на рис. 2.

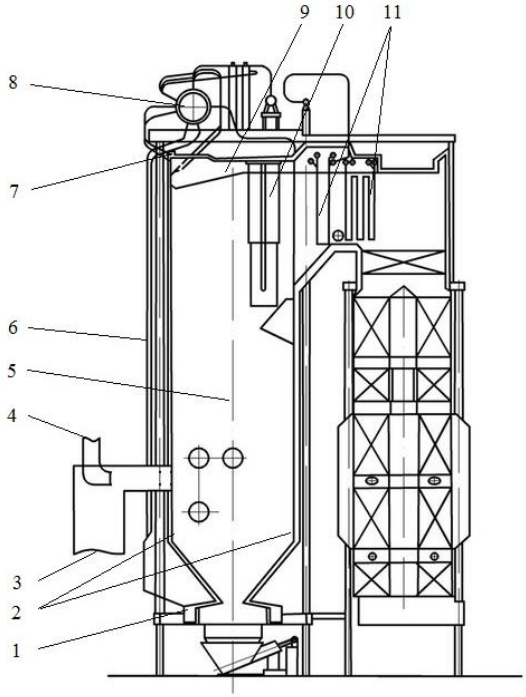


Рисунок 2. Схема котла БКЗ-210-140Ф: 1,7 – нижние и верхние коллекторы; 2 – экранные трубы; 3 – шахта мельницы, по которой поступает пылевоздушнаня смесь (первичное дутьё); 4 – подвод подогретого воздуха (вторичное дутьё); 5 – топочная камера; 6 – опускные трубы; 8 – барабан котла; 9 – потолочный пароперегреватель; 10 – ширмовый пароперегреватель; 11 – конвективный пароперегреватель (I и II ступени) [2]

Котлоагрегат БКЗ-210-140Ф Барнаульского котельного завода предназначен для работы при следующих параметрах [2]:

Паропроизводительность – 58,3 кг/с;

рабочее давление перед главной паровой задвижкой – 13,7 МПа;

температура перегретого пара – 813 К;

температура питательной воды – 503 К;

водяной объём котла – 64 $м^3$;

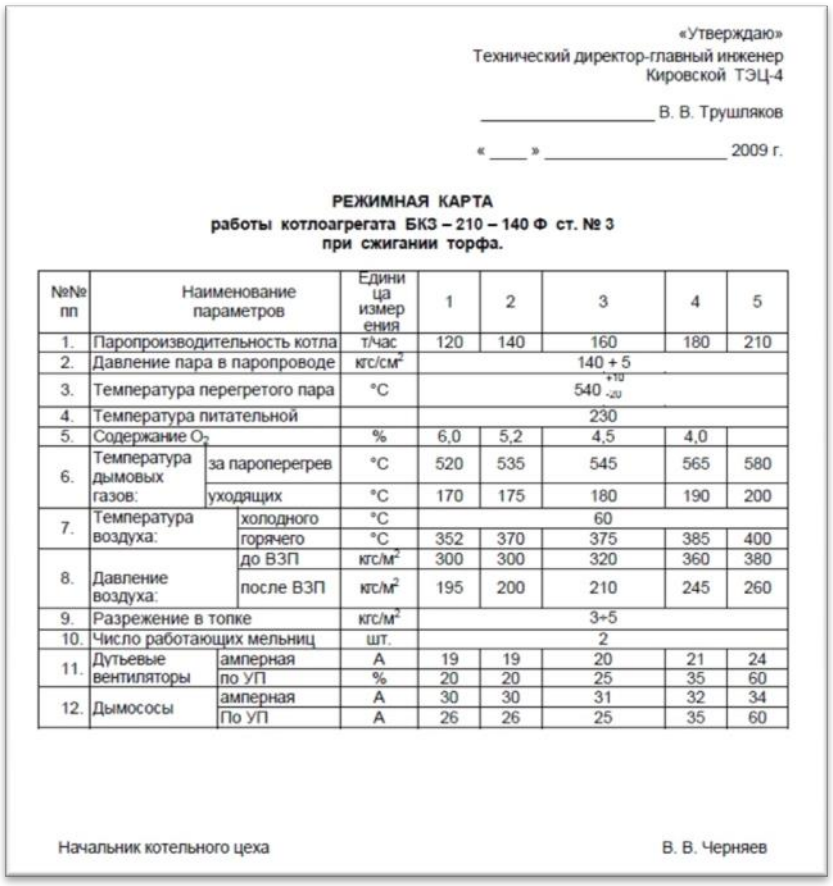
паровой объём котла – 34 $м^3$;

объём топочной камеры – 992 $м^3$.

Одним из основных регламентирующих документов для машиниста котла является режимная карта [2]. Это документ регламентирует основные парамет-

ры работы котлоагрегата при различной паропроизводительности. Пример режимной карты представлен на рис. 3.

Учитывая, что 80% расходов электрической станции приходится на закупку топлива, экономичность работы котлоагрегатов приобретает ключевое значение в работе теплоэлектроцентрали [3].



«Утверждаю»
Технический директор-главный инженер
Кировской ТЭЦ-4

_____ В. В. Трушляков

«____» _____ 2009 г.

РЕЖИМНАЯ КАРТА
работы котлоагрегата БКЗ – 210 – 140 Ф ст. № 3
при сжигании торфа.

№№ пп	Наименование параметров		Единица измерения	1	2	3	4	5
1.	Паропроизводительность котла		т/час	120	140	160	180	210
2.	Давление пара в паропроводе		кгс/см^2	140 + 5				
3.	Температура перегретого пара		°С	540 $^{+10}_{-20}$				
4.	Температура питательной			230				
5.	Содержание O_2		%	6,0	5,2	4,5	4,0	
6.	Температура дымовых газов:	за пароперегрев	°С	520	535	545	565	580
		уходящих	°С	170	175	180	190	200
7.	Температура воздуха:	холодного	°С	60				
		горячего	°С	352	370	375	385	400
8.	Давление воздуха:	до ВЗП	кгс/м^2	300	300	320	360	380
		после ВЗП	кгс/м^2	195	200	210	245	260
9.	Разрежение в топке		кгс/м^2	3÷5				
10.	Число работающих мельниц		шт.	2				
11.	Дутьевые вентиляторы	амперная	А	19	19	20	21	24
		по УП	%	20	20	25	35	60
12.	Дымососы	амперная	А	30	30	31	32	34
		По УП	А	26	26	25	35	60

Начальник котельного цеха В. В. Черняев

Рисунок 3. Пример оформления режимной карты [2]

На сегодняшний день руководство филиала «Кировский» ПАО «Т Плюс» планирует увеличивать объемы сжигания торфа в котлах ТЭЦ-4 только в случае повышения эффективности сжигания этого вида топлива. Уменьшения объемов потребления не планируется, в силу нескольких причин:

1. Котлы БКЗ-210-140Ф, установленные на теплоэлектроцентрали, изначально спроектированы на сжигание фрезерного торфа. Сжигание непроектных видов топлива (Кузнецкого, Богословского углей) приводит к повышенному износу поверхностей нагрева и недожогам топлива, значительно выше номинальных показателей.

2. ЗАО «ВяткаТорф» выполняет важную социальную функцию, обеспечивая наличие рабочих мест в нескольких районах Кировской области.

3. Природный газ при существующей газотранспортной системе не может полностью закрыть потребности ТЭЦ-4 в топливе, особенно во время зимних отопительных нагрузок и во время ремонтов газотранспортной системы.

4. Стоимость бурого и каменного угля, мазута значительно выше стоимости фрезерного торфа, что определяет экономическую позицию по поддержанию запасов данного вида топлива.

Текущая экономическая ситуация характеризуется, с одной стороны, повышенной ценой на каменный и бурый уголь, а с другой стороны, доминирующей ролью природного газа как топлива для ТЭЦ. На рис. 4 представлена картина потребления природного газа Кировской ТЭЦ-4.

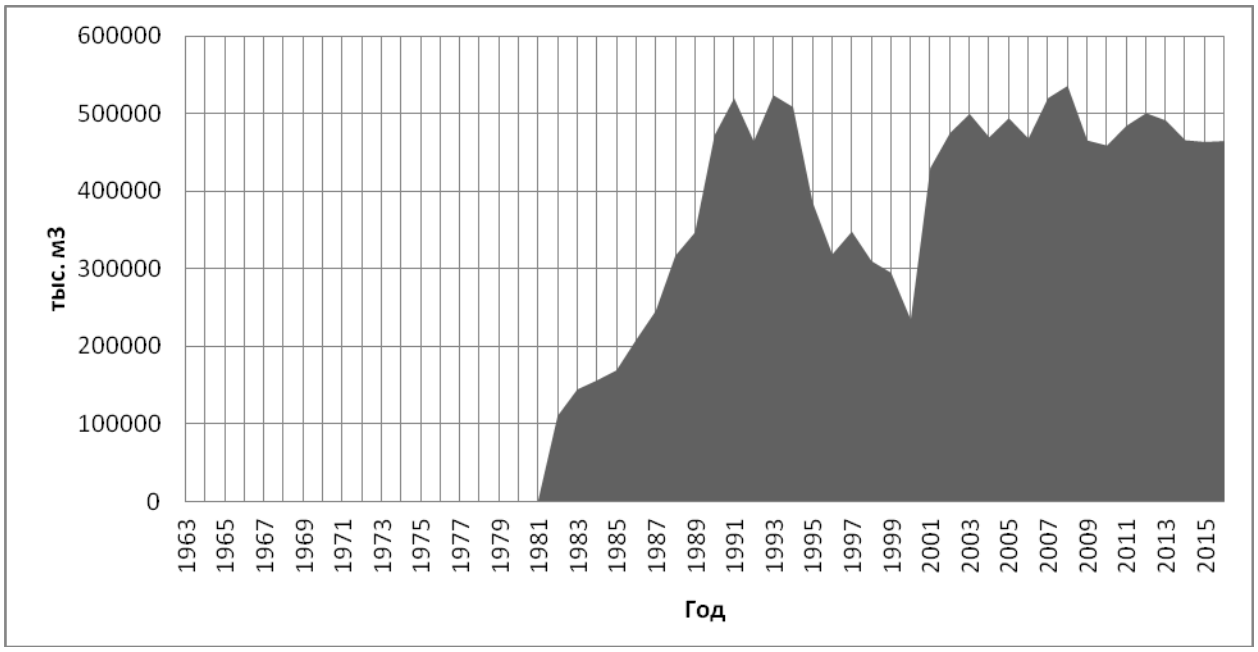


Рисунок 4. Динамика потребления природного газа Кировской ТЭЦ-4 с момента ее постройки

Но, при всех достоинствах природного газа как энергетического топлива, фрезерный торф в Кировской области составляет ему достойную конкуренцию. Это связано с тем, что:

1. Фрезерный торф в Кировской области добывается в промышленных масштабах, тем самым производитель добивается низкой себестоимости продукта.

2. Расстояние от места добычи топлива до места потребления составляет от 5 до 250 километров, в зависимости от локации месторождения и рассматриваемого потребителя. Для ТЭЦ-4 расстояние составляет от 60 до 250 км. Добыча топлива в такой близости от потребителей является экономически выгодной.

3. Существуют перспективы и наработки по вопросам оптимизации как транспортной составляющей затрат, так и улучшения технологии сжигания торфа на ТЭЦ-4.

На рис. 5 представлена картина потребления фрезерного торфа Кировской ТЭЦ-4.

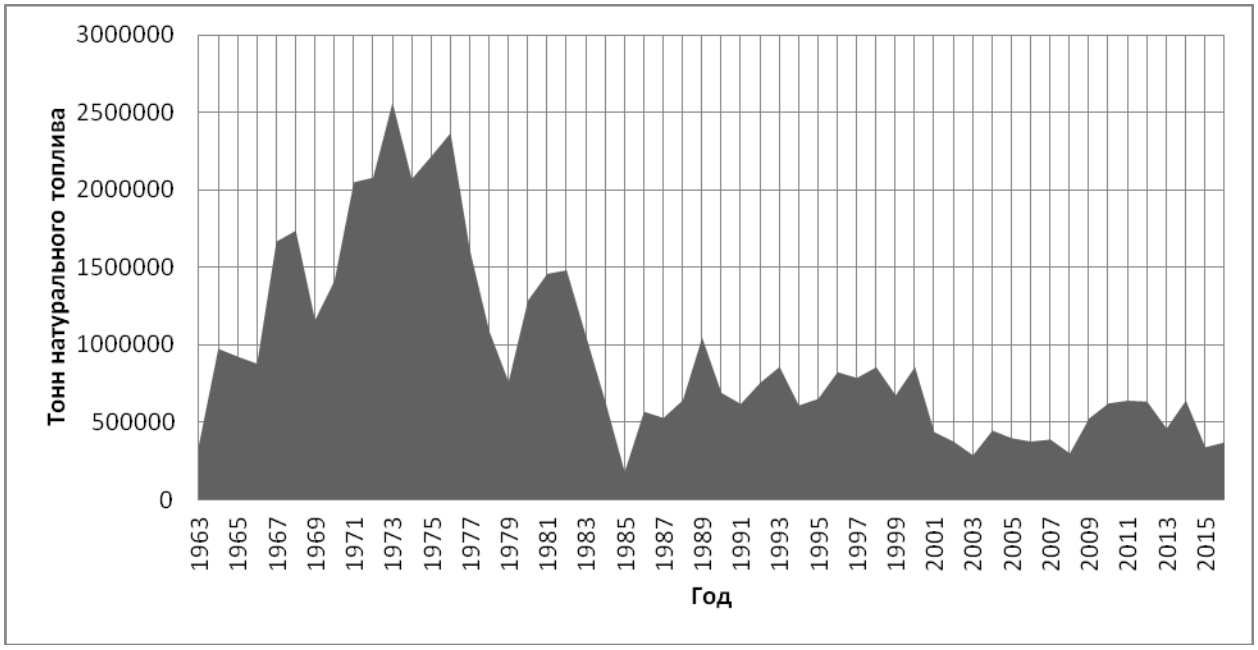


Рисунок 5. Динамика потребления фрезерного торфа Кировской ТЭЦ-4 с момента ее постройки

Таким образом, на территории Кировской области торфяная энергетика является одной из системообразующих отраслей из-за выгодного расположения торфяных месторождений относительно потребителей. Детальное исследование торфа как энергетического топлива в Кировской области является перспектив-

ным. Внедрение технологий по повышению энергоэффективности действующих котлов при работе на фрезерном торфе позволит региону выйти на новый виток экономического роста, затормозить или снизить тарифы на отопление, создать новые рабочие места на территориях, богатых торфом и другими видами биотоплива.

Список литературы

1. ВяткаТорф. URL: http://vyatkatorf.ru/about.html (дата обращения: 06.02.2018)

2. Инструкция по эксплуатации котлоагрегата высокого давления типа БКЗ-210-140Ф при работе на твердом топливе // Кировский филиал, Обособленное структурное подразделение Кировская ТЭЦ №4. Киров, 2005. 41 с.

3. Деев Л. В., Балахничев Н. А. Котельные установки и их обслуживание // Практ. пособие для ПТУ. М.: Высш. шк., 1990. 239 с.

4. Мейкляр М. В. Паровые котлы электростанций. Изд. 4-е, перераб. М., Энергия, 1974. 312 с.

Характеристики фрезерного торфа, поставляемого на Кировскую ТЭЦ-4

Кузьмин В. А.[a], Заграй И. А.[b], Десятков И. А.[c]
доктор технических наук, профессор кафедры инженерной физики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
аспирант кафедры инженерной физики[c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b,c]
E-mail: Zagray@vyatsu.ru[b]

Аннотация: В работе рассматриваются характеристики фрезерного торфа (влажность, зольность, содержание серы и низшая теплота сгорания) по четырем производственным участкам Кировской области (Дымный, Пищальский, Каринский, Гороховский). Анализируется качество торфа, поставляемого на Кировскую ТЭЦ-4. Повышенная влажность (более 52 %) поступающего торфа снижает калорийность топлива и понижает эффективность работы котельного агрегата. Установлено, что наиболее качественным является торф, поступающий с Пищальского месторождения. Перечислены минимальные мероприятия, способствующие улучшению технико-экономических показателей работы котлов при использовании торфа в энергетике региона.

Ключевые слова: фрезерный торф, влажность, зольность, содержание серы, низшая теплота сгорания, засоренность.

На территории Кировской области торф добывается на 4-х производственных участках: Дымный (поселок Светлополянск Верхнекамского района), Пищальский (поселок Мирный Оричевского района), Каринский (поселок Октябрьский Слободского района), Гороховский (поселок Комсомольский Котельнического района). Основным предприятием по добыче фрезерного торфа в Кировской области является ЗАО «ВяткаТорф».

Основным источником данных о характеристиках торфа для проектировщиков и обслуживающего персонала ТЭЦ-4 являются данные, представленные в справочниках [1, 2].

Приведенные в данных справочниках данные – это усредненные характеристики фрезерного торфа по всем месторождениям Кировской области. Справочник [1] выпущен в 1979 году, в то время как добыча торфа на территории области все это время не прекращалась. Менялись поля, с которых добывался фрезерный торф и объемы добычи по месторождениям. Следовательно, можно

сделать предположение, что приведенные в табл. 1 – 3 данные не дают полную картину по характеристикам торфа месторождений Кировской области. Для того, чтобы топочные режимы были организованы должным образом, необходимо знать подробные характеристики топлива по каждому месторождению.

Таблица 1

Характеристики торфа Кировской области [1]

Технический анализ						Приведенные характеристики, 10^3 кг%/ккал	
W^P,%	A^C,%	$S^C_{ОБ}$,%	$V^Г$,%	$Q^P_Н$,МДж/кг	$Q^P_Н$,ккал/кг	$W^П$	$A^П$
46,7	11,5	0,5	67,8	9,17	2190	21,32	2,80

Таблица 2

Характеристики горючей массы торфа Кировской области [1]

$S^Г$,%	$C^Г$,%	$H^Г$,%	$N^Г$,%	$O^Г$,%	$Q^Г_В$, МДж/кг	$Q^Г_В$, ккал/кг	$Q^Г_Н$, МДж/кг	$Q^Г_Н$, ккал/кг
0,6	58,1	5,9	2,8	32,6	23,32	5570	21,90	5230

Таблица 3

Химический состав и плавкостные характеристики золы торфа Кировской области [1]

Химический состав золы на бессульфатную массу, %									Плавкость золы, °С		
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	t_1	t_2	t_3
47,0	14,5	20,4	12,1	2,2	0,7	0,8	0,4	1,9	1240	1270	1380

Для оптимизации работы по использованию фрезерного торфа, поставляемогона Кировскую ТЭЦ-4, теплотехническая служба филиала «Кировский» ПАО «Т Плюс» анализирует основные характеристики поступающего торфа. Торф, поступающий с 4-х производственных участков «ВяткаТорф» железнодорожными составами, проходит, при необходимости, размораживающее устройство (разогрев паром), разгрузсарай, загружается на конвейеры и, пройдя роторные длинномеры, направляется в дробильный корпус. Раздробленное топливо поступает на ленточный конвейер, с которого направляется на конвейер бункерной галереи. У приводных станций конвейеров осуществляется отбор пробы пробоотборной установкой с подачей её в проборазделочную установку (1 раз в два часа).

Анализ влажности и зольности, поступающего торфа, проводится топливной лабораторией ТЭЦ-4 ежедневно, а определение низшей теплоты сгорания – раз в декаду. Анализ образцов выполнен химической лабораторией Кировской ТЭЦ-4 согласно ГОСТ 11305-2013 «Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги», ГОСТ 11306-2013 «Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности», ГОСТ 8606-2015 «Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка», ГОСТ 147-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания (с Поправкой)».

Для выполнения исследований использовалось следующее оборудование: электрошкаф сушильный лабораторный СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3,5-И1 (50-350 С); низкотемпературная лабораторная электропечь (50-350 С); весы лабораторные электронные АФ-Р220СЕ (0-220 г); калориметр АБК-1В (4770-9550 кал); электропечь камерная СНОЛ-2.2,5.1,8/10-ИЗ (400-1000 С).

В табл. 4 – 6 представлены характеристики торфа (влажность W^p, зольность A^p, содержание серы S^p и низшая теплота сгорания $Q^p_н$), поступающего с трех производственных участков на Кировскую ТЭЦ-4 филиала «Кировский» ПАО «Т Плюс». Пробы взяты из автомашин, входящих на территорию КТЭЦ-4 с месторождений «Дымное», «Пищальское» и «Каринское». Систематические исследования торфа Гороховского производственного участка на Кировской ТЭЦ-4 не проводятся. Имеются данные только по одной пробе (участок добычи «Отворье»), взятой непосредственно на торфопредприятии в феврале 2017 г.: W^p = 50 %, A^p = 5,9 %, S^p = 0,3 %, $Q^p_н$ = 2304 ккал/кг.

Таблица 4

Характеристики торфа, поступающего с производственного участка «Дымный»

Взятие пробы	W^p, %	A^p, %	S^p, %	$Q^p_н$, ккал/кг
Январь 2016	54,2	6,2	0,30	1767
Февраль 2016	50,5	6,9	0,27	1946
Март 2016	51,9	9,0	0,32	1779
Май 2016	46,8	4,9	0,25	2424
Сентябрь 2016	49,8	6,7	0,26	2084
Октябрь 2016	49,2	7,2	0,29	2091
Ноябрь 2016	45,9	6,5	0,25	2314
Декабрь 2016	43,1	7,2	0,25	2406
Январь 2017	44,6	7,1	0,26	2295
Средний показатель	48,4	6,9	0,27	2123

Таблица 5

Характеристики торфа, поступающего с производственного участка «Пищальский»

Взятие пробы	W^p, %	A^p, %	S^p, %	$Q^p_н$, ккал/кг
Январь 2016	51,9	6,8	0,35	1853
Февраль 2016	49,1	6,8	0,33	2002
Март 2016	51,3	7,1	0,37	1878
Апрель 2016	52,0	6,5	0,33	1876
Май 2016	48,9	5,6	0,32	2236
Октябрь 2016	49,0	6,6	0,38	2092
Ноябрь 2016	48,4	5,3	0,32	2203
Декабрь 2016	46,8	6,7	0,32	2189
Январь 2017	45,9	6,5	0,32	2205
Средний показатель	49,3	6,4	0,34	2059

Таблица 6

Характеристики торфа, поступающего с производственного участка «Каринский»

Взятие пробы	W^p, %	A^p, %	S^p, %	$Q^p_н$, ккал/кг
Январь 2016	52,6	4,9	0,27	1916
Февраль 2016	52,6	6,2	0,28	1915
Март 2016	49,2	6,3	0,33	2005
Ноябрь 2016	46,2	7,7	0,27	2137
Декабрь 2016	46,9	5,9	0,27	2182
Январь 2017	44,1	7,3	0,27	2276
Средний показатель	48,6	6,4	0,28	2071

На основании представленных данных, можно заключить, что средние значения по калорийности превышают 2000 ккал/кг, что позволяет сжигать фрезерный торф в пылевидном состоянии без подсветки природным газом при удовлетворительном состоянии котельных агрегатов [3 – 5].

Данные по влажности поступающего торфа составляют от 43,1 до 54,2%, что в широких пределах изменяет калорийность топлива и оказывает влияние на эффективность работы котельного агрегата. С другой стороны, существенное снижение влажности топлива невозможно согласно противопожарным мероприятиям (исходя из требований взрыво- и пожароопасности). Для того, чтобы оценить взрыво- и пожароопасность фрезерного торфа в зависимости от его влажности, необходимо комплексное исследование в партнерстве с Всероссийским теплотехническим институтом (ОАО «ВТИ»).

При рассмотрении характеристик торфа, поступающего на ТЭЦ-4 с различных месторождений, выявлено, что наиболее качественным является торф, поступающий с Пищальского месторождения. Торф сухой, лёгкий, имеющий наименьший разброс по влажности (45,9 – 52%).

Торф Каринского месторождения имеет большие включения мохообразной волокнистой массы (рис. 1). Наличие волокон ухудшает сыпучесть такого торфа, вследствие чего прохождение его по топливоподаче сопряжено с большими трудностями. Размол такого торфа ухудшается, особенно при повышенной влажности. В этом же торфе встречается большое количество длинномеров, попадание которых в дробилки из-за долгого размалывания вызывает их разогрев и тление.

Торф Гороховского месторождения сырой, состоящий из очень мелких фракций, имеющий большие включения щепы, коряг и других древесных остатков (рис. 2). Мелкие фракции топлива сильно увлажняются и слипаются.

Торф Дымного месторождения очень влажный. Максимальное значение влажности (54,2 %) превышает границу допустимойпо ГОСТу влажности 52%.

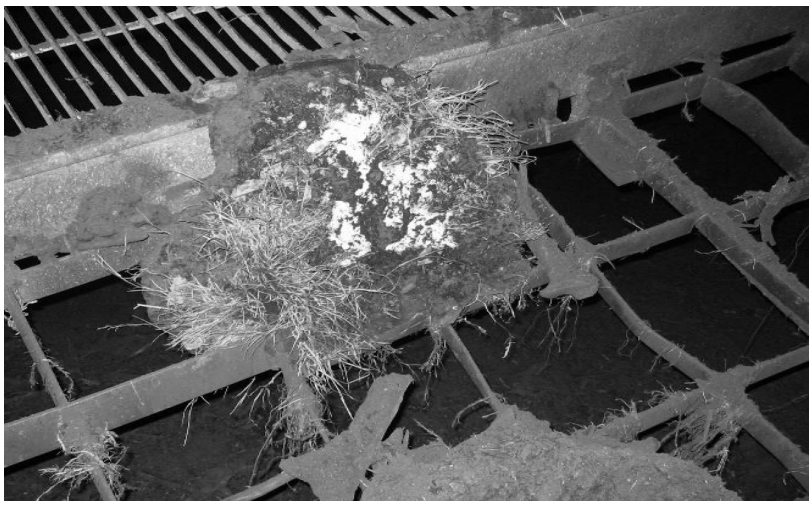


Рисунок 1. Засоренность фрезерного торфа Каринского месторождения



Рисунок 2. Засоренность фрезерного торфа Гороховского месторождения

Торф с влажностью, близкой к 60%, при сжигании которого процесс горения неустойчив, энергетической ценности не имеет. В этом случае приходится значительно увеличивать долю природного газа, используемого для подсветки. Так, например, при увеличении влажности торфа с 49 до 55% (сжигание торфа и газа на котле №3 Кировской ТЭЦ-4) для поддержания номинальной нагрузки приходится увеличивать расход природного газа с 6,0 до 7,0 тыс.м^3/час. Повышенная влажность топлива приводит к нарушениям нормальных технологических процессов, снижению надёжности и экономичности энергооборудования.

Исходя из полученных данных,можно заключить, что существенное улучшение технико-экономических показателей работы котлов при использовании торфа может быть обеспечено:

1. Увеличением процентного соотношения поставляемого торфа лучшего качества (Пищальское месторождение) по отношению к торфам худшего качества, особенно торфа, поставляемого с производственных участков «Дымный» и «Каринский».

2. Улучшением контакта в работе торфопредприятий и электростанции, поддержанием поставщиками качества торфа, соответствующего ГОСТу 11804-76, а именно: содержание влаги W^p – не более 52 %, зольность A^c – не более 23 %, засорённость посторонними горючими примесями – не более 8 %.

Если исходить из позиции инженера, обслуживающего сложный производственный процесс, эти выводы верны и достаточны, так как основные документы, используемые в работе любой производственной эксплуатационной службы – это ГОСТ и справочные материалы. Мы же рассматриваем вопрос с позиции исследователей, поэтому собранные нами исходные данные должны быть более системными, не должны в основе своей опираться на справочный материал и расчетные характеристики.

Для этого необходимо проведение комплексного исследования по химическому составу минеральной и горючей части торфа, теплотехническим и плавкостным характеристикам торфа всех месторождений Кировской области.

Список литературы

1. Энергетическое топливо СССР. Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ: справочник / И. И. Матвеева и др. Москва: Энергия, 1979. 126 с.

2. Справочник потребителя биотоплива / Виллу Варес и др. Таллин: Изд-во Таллиннского технического университета, 2005. 183 с.

3. Деев Л. В., Балахничев Н. А. Котельные установки и их обслуживание. М.: Высш. шк, 1990. 239 с.

4. Резников М. И. Паровые котлы тепловых электростанций. М.: Энероиздат, 1981. 240 с.

5. Инструкция по эксплуатации котлоагрегата высокого давления типа БКЗ-210-140Ф при работе на твёрдом топливе. ОАО «ТГК-5», Кировский филиал, обособленное структурное подразделение «Кировская ТЭЦ-4». Киров: 2005. 42 с.

Формальная кинетика термической деструкции полимеров

Морозова З.Г.[a], Фролов В.М.[b]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[a]
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]

Аннотация: Рассмотрена термическая деструкция полимеров различных классов ПММА – полиметилметакрилат (линейный полимер метилметакрилата); углеводородные каучуки: каучуки низкой непредельности: БК – изобутилен-изопреновый каучук; СКЭПТ – этиленпропиленовый каучук (тройной сополимер с 1-2% дициклопентадиена) и непредельные: СКИ – изопреновый каучук, СКД – бутадиеновый (дивинильный) каучук и СКИДЛ – каучук – сополимера полиизопрена и полибутадиена в широком температурном интервале (300-900К) методом ОВГ. Определены кинетические уравнения, описывающие макрокинетику процесса термического распада исследуемых материалов, определен состав газообразных продуктов деструкции, рассчитаны значения энергии активации и фактора частоты, позволяющие количественно оценить термостойкость материалов. Полученные кинетические характеристики выявили особенности механизма разрушения макромолекулы каучуков. Показано влияние на термостойкость каучеков количества метильных групп в составе макромолекулы полимера

Ключевые слова: каучуки, кинетические уравнения, энергия активации, термостойкость.

В настоящее время существует ряд областей промышленности, где в процессе эксплуатации материалов реализуются типичные свойства полимеров: сочетание прочности с твердостью, эластичность, высокая амортизационная способность; и вместе с тем указанный материал подвергается воздействию экстремально высоких температур. Указанные условия эксплуатации предъявляют высокие требования к термостойкости материала.

Для оценки термостойкости материалов используются качественные параметры: температура интенсивного разложения, теплота полимеризации и т.д. Все эти характеристики связаны с качественным наблюдением термического разложения при нагревании вещества в процессе повышения температуры без рассмотрения возможных механизмов реакции термической деструкции

Для понимания отношения полимеров к тепловому воздействию необходимо исследование кинетики разложения и состава продуктов распада.

Количественные характеристики необходимые для рассмотрения возможных механизмов реакций термического разрушения исследуемых веществ можно получить при формально-кинетическом подходе к решению задач химической кинетики.

В формально-кинетическом подходе к рассмотрению конкретных задач основное внимание концентрируется на построении кинетической математической модели сложного процесса распада путем определения констант реакций, энергий активации процессов, порядка реакций. Для уточнения предлагаемой модели термического распада большое значение имеет определение состава продуктов распада. В качестве экспериментальных данных для получения количественных характеристик процесса термического разрушения материала используется динамическая зависимость изменения концентрации продуктов распада в пиролизате от температуры. Корректная математическая обработка полученных данных не только позволяет выявить адекватную математическую модель макропроцесса, но и в ряде случаев восстановить кинетические характеристики элементарных стадий [1].

Скорость реакции термического разложения $\frac{d\varepsilon}{dt}$ определяется уравнением (1):

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = K(1-\varepsilon), \qquad (1)$$

где K- константа скорости реакции, ε - степень разложения материала.

Константа скорости реакции зависит от температуры (Аррениусовская анаморфоза) и определяется уравнением (2):

$$K = K_0 \exp(-\frac{E_A}{RT}), \qquad (2)$$

где K_0 - предэкспоненциальный множитель, фактор частоты (не зависит от температуры),

E_A – энергия активации реакции,

$R = 8,3$ (*Дж /моль К*) – универсальная газовая постоянная,

T – температура, при которой происходит реакция.

С учетом уравнений (1) и (2) скорость реакции определяется уравнением (3):

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = K_0 \exp(-\frac{E_A}{RT})(1-\varepsilon) \qquad (3)$$

Значения энергии активации E_A и фактора частоты K_0 определяются экспериментально из логарифмической зависимости константы скорости реакции от обратной температуры – $ln\ K = f\ (1/T)$ (Аррениусовской анаморфозы).

Согласно [2] по виду аррениусовского графика можно судить о кинетике протекания реакций распада. Вид возможных кривых $ln\ K = f\ (1/T)$ приведен на рис.1. В основу расчета кинетики сложных реакций положен принцип независимости различных реакций : скорость каждой из протекающих в системе реакций прямо пропорциональна концентрациям реагирующих веществ и независима от других реакций. Исходя из этого, любую сложную химическую реакцию можно представить как систему последовательных, параллельных и последовательно-параллельных реакций. Для исследования кинетики термического разложения веществ и полимеров в частности, используются различные методы термического анализа [3]. Под руководством профессора Решетникова С.М. была разработана методика

изучения термического разложения полимеров методом ОВГ (определение выделяющихся газов). В опыте регистрируются летучие продукты распада по их теплопроводности или давлению. Данный метод может быть применен для исследования кинетики термического распада вещества в любой газовой среде, при изотермических и динамических температурных условиях. Для определения качественного и количественного состава газообразных продуктов термической деструкции применялся метод газовой хроматографии [4].

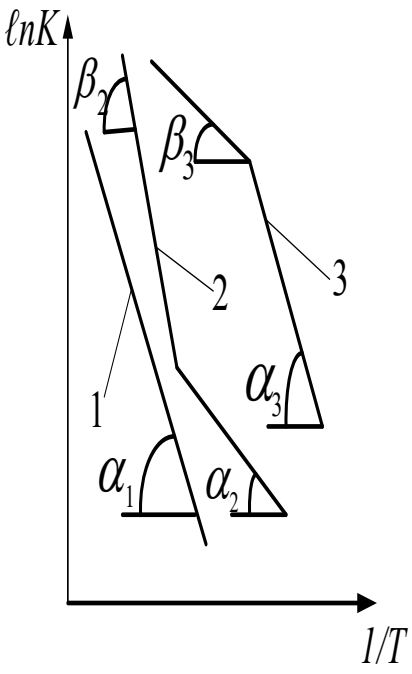


Рисунок 1. Вид аррениусовской анаморфозы в зависимости от кинетики реакции/14,17/
1 - простая реакция,
2 - последовательные реакции,
3 - параллельные реакции

Исследование термической деструкции полимеров проводилось в широком температурном интервале 300 – 900К, инертной среде. С использованием данной методики изучалась термическая деструкция полимеров различных классов. В данной работе в качестве объектов исследования взяты: ПММА – полиметилметакрилат (линейный полимер метилметакрилата); углеводородные каучуки: каучуки низкой непредельности: БК – изобутилен-изопреновый каучук; СКЭПТ – этиленпропиленовый каучук (тройной сополимер с 1-2% дициклопентадиена) и непредельные: СКИ – изопреновый каучук, СКД – бутадиеновый (дивинильный) каучук и СКИДЛ – каучук – сополимера полиизопрена и полибутадиена.

Эксперименты проводились на установке, изготовленной на базе хроматографа «Цвет-100М», с использованием специальной пиролитической ячейки проточного типа, позволяющей непрерывное измерение кинетических характеристик процесса деструкции материалов при изменении степени разложения $0<\varepsilon<1$. Скорость термической деструкции полимера оценивалась по скорости выделения газообразных продуктов распада (метод ОВГ). Регистрация продуктов распада полимеров проводилась с помощью детектора по теплопроводности (ДТП) и пламенно-ионизационный детектор (ДИП) [2].

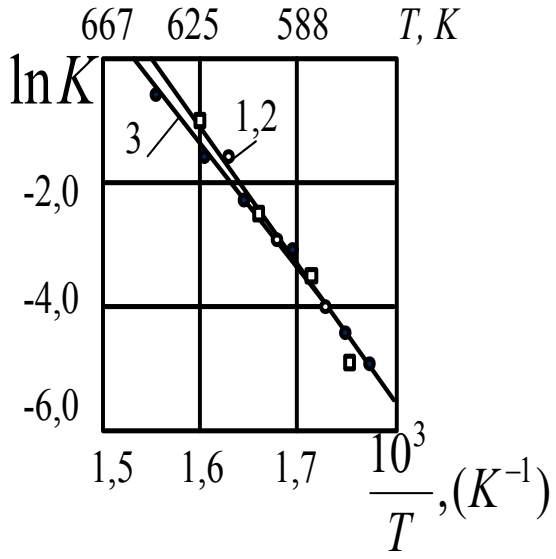


Рисунок 2. Аррениусовская анаморфоза константы скорости термического разложения ПММА при различных темпах нагрева 8 К/мин – кривая 1; 16 К/мин – кривая 2; 24 К/мин – кривая 3

Полиметилметакрилат (ПММА) использован в работе в качестве тарировочного вещества, для проверки и отладки методики экспериментов.

Исследования термического разложения ПММА проводились по неизотермической методике при различных темпах нагрева (8 К/мин; 16 К/мин; 24 К/мин), рассчитанная зависимость *ln K = f (1/T)* приведена на рис.2. различных темпов нагрева, кинетические уравнения рассчитаны по зависимости – *ln K = f (1/T)*.

Из приведенных на рис.2 кривых следует, что темп нагрева не влияет на кинетику термического разложения полиметилметакрилата. Кинетическое уравнение реакции термического разложения ПММА:

$$K = 10^{(13\pm1)} \exp\left[-\frac{(20\pm1)10^3}{T}\right](мин^{-1})$$

Из вида зависимости *ln K = f (1/T)*. (Рис.1) следует, что реакция термодеструкции полимера относится к типу простой реакции первого порядка. Энергия активации процесса распада $E_A = (170 \pm 10) кДж / моль$.

Результаты экспериментов по исследованию состава газообразных продуктов термического распада полиметилметакрилата с использованием хроматографа «Цвет-100М» приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Состав продуктов пиролизата ПММА (массовые проценты)

Вещество	Температура термического разложения , K					
	700	800	900	1000	1100	1200
Оксид углерода	-	4,5	13,0	25,3	37,0	40,0
Диоксид углерода	-	3,5	12,8	15,8	12,3	11,0
метан	-	2,0	4,4	11,4	23,5	27,0
этилен	-	-	2,4	8,3	14,4	15,3
пропилен	-	-	1,0	3,7	2,4	1,3
метанол	-	0,7	1,8	4,1	0,3	0,3
этанол	-	-	0,5	2,6	1,7	0,5
метилакрилат	-	-	2,1	3,1	2,8	0,6
Метилизобутират	-	-	0,5	0,6	0,3	0,2
Метилметакрилат	100	82,3	61,5	23,1	5,3	3,8

Состав продуктов пиролизата ПММА зависит от температуры. При температурах до 700K в продуктах распада присутствует только мономер – метилметакрилат (ММА). При температурах выше 700K количество мономера уменьшается, при резком возрастании количества легких газов (оксида углерода, диоксида углерода, метана).

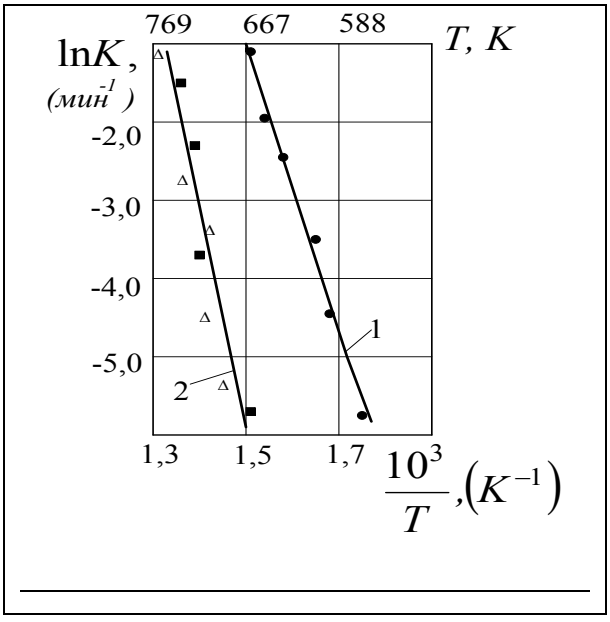


Рисунок 3. Аррениусовская анаморфоза скорости разложения при термодеструкции каучуков: 1 – для БК, 2 – для СКЭПТ

Полученные результаты по изучению кинетики термического распада ПММА показывают, что процесс деструкции полимера в температурном интервале 400-700K протекает по механизму деполимеризации с образованием единственного продукта - мономера.. Полученное значение энергии активации позволяет предположить, что мономер возникает при разрыве связей С ─ С в основной цепи. При повышении температуры 700-1200K состав продуктов распада ПММА изменяется. В составе продуктов распада увеличивается количество легких продуктов распада с одновременным уменьшением количества метилметакрилата, это указывает на активное разложение мономера по типу цепной реакции, протекающей по закону случая.

Полученные результаты совпадают с литературными данными [5,6]

По разработанной методике исследовалась термическая деструкция каучуков различных классов. Термическое разложение каучуков на основе предельных углеводородов (БК – изобутилен-изопреновый каучук; СКЭПТ – этиленпропиленовый каучук) и каучуков на основе непредельных углеводородов (СКИ – изопренового каучука, СКД – бутадиенового (дивинильного) каучука и СКИДЛ – каучука – сополимера полиизопрена) эксперименты проводились в температурном интервале 500-900K. Результаты исследования в виде аррениусовской анаморфозы константы скорости разложения углеводородных каучуков приведены на рис.3 и рис.4. На рис.3 представлены зависимости $ln\ K = f\ (1/T)$ для каучуков БК (кривая 1) и СКЭПТ (кривая 2). Вид полученных зависимостей для обоих веществ идентичен и соответствует простой цепной реакции первого порядка.

Кинетические уравнения имеют вид: для бутилкаучука БК:

$$K = 1{,}3 \cdot 10^{(12\pm1)} \exp\left[-\frac{(19 \pm 1)10^3}{T} \right] \ (мин^{-1}),$$

для синтетического этиленпропиленового каучука СКЭПТ:

$$K = 1{,}6 \cdot 10^{(19\pm1)} \exp\left[-\frac{(34 \pm 2)10^3}{T} \right] (мин^{-1}).$$

Рассчитанные значения энергии активации – для БК: $E_A = 160\ кДж/моль$, для СКЭПТ: $E_A = 280\ кДж/моль$.

Оценка термостойкости по температуре активного разложения $T_Д$ полимера [4] показала большую термостойкость синтетического этиленпропиленового каучука: для БК – $T_Д$ = 607К, а для СКЭПТ $T_Д$ = 685К.

Результаты исследования термического разложения непредельных каучуков в виде зависимости $ln\ K = f(1/T)$ приведены на рис.4. Приведенные на рис.4 зависимости получены по неизотермической методике при темпе нагрева 8К/мин. Характер полученных кривых для каучуков СКИ и СКД идентичен, соответствует простой реакции первого порядка. Кинетические уравнения для этих полимеров имеют вид: для изопренового каучука – СКИ:

$$K = 6 \cdot 10^{(17\pm1)} \exp\left[-\frac{(25 \pm 1)10^3}{T} \right] (мин^{-1}),$$

для бутандиенового каучука – СКД: $K = 1{,}3 \cdot 10^{(13\pm1)} \exp\left[-\frac{(28 \pm 2)10^3}{T} \right] (мин^{-1})$

Энергия активации для каучука СКИ и СКД совпадают в пределах допустимой ошибки:

для изопренового каучука – СКИ: $E_A = (220 \pm 20) кДж/моль$

для бутадиенового каучука – СКД: $E_A = (230 \pm 20) кДж/моль$

Термостойкость бутадиенового каучука СКД выше ($T_Д$ = 675К), чем у изопренового каучука СКИ ($T_Д$ = 607К).

Зависимость константы скорости термической деструкции каучука СКИДЛ от обратной температуры приведена на рис.4 (кривая 3). Вид кривой зависимости *ln K = f (1/T)* показывает, что процесс распада протекает, как система параллельных реакций [1].

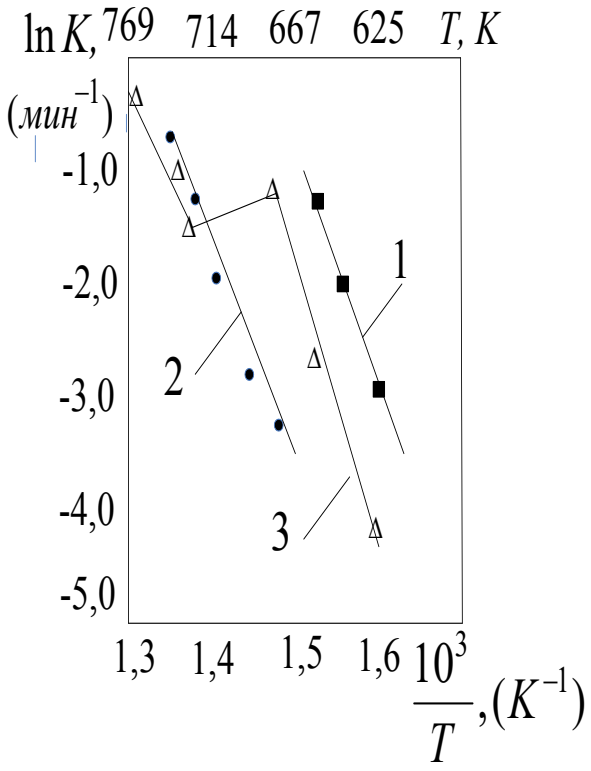


Рисунок 4. Аррениусовская анаморфоза скорости разложения при термодеструкции каучуков
1 – для СКИ; 2 – для СКД 3 – для СКИДЛ

Кинетические уравнения, описывающие первую и вторую стадии разложения, имеют вид:

для первой стадии:

$$K = 1{,}8 \cdot 10^{(12\pm1)} \exp\left[-\frac{(21\pm1)10^3}{T}\right] (мин^{-1})$$

, для второй стадии:

$$K = 7 \cdot 10^{(13\pm1)} \exp\left[-\frac{(24\pm1)10^3}{T}\right] (мин^{-1})$$

Энергия активации термического разложения СКИДЛ – для первой стадии $E_A = (170\pm10) кДж/моль$, энергия активации для второй стадии – $E_A = (200\pm10) кДж/моль$ в пределах ошибки полученные значения близки к энергии активации распада СКИ и СКД, что подтверждает предположение о механизме распада по системе параллельных реакций. Полученные значения энергии активации близки к энергии разрыва С – С связи основной цепи.

Расчет энергий активации данных процессов показывает, что инициирование процесса термического разрушения каучука происходит при разрушении С – С связи основной цепи в β-положении к двойной связи, ослабленной наличием метильной группы.

Сравнение кинетических параметров реакции термического разложения каучуков низкой непредельности (БК, СКЭПТ) и непредельных каучуков (СКИ, СКД, СКИДЛ) показывает, что большая термостойкость наблюдается у каучуков, построенных из сополимеров, по сравнению с каучуками – на основе мономеров. У предельного каучука СКЭПТ все С – С связи основной цепи имеют приблизительно одинаковую прочность и это обуславливает наибольшую энергию активации и наибольшую термостойкость материала из всех рассмотренных полимеров. Наименьшую термостойкость проявляет бутилкаучук БК, что обусловлено увеличением числа метильных групп в цепи макромолекулы полимера и наличием ослабленной С – С связи в β-положении к двойной связи.

Исходя из уравнения Эйринга [6], величина частотного фактора K_0 в уравнении реакции термического распада каучуков характеризует изменение энтропии молекулы при образовании переходного комплекса. Если $K_0=10^{13}$ энтропия молекулы при образовании переходного комплекса не меняется; если $K_0<10^{13}$ формирование переходного комплекса идет с уменьшением энтропии – возможны циклические образования; если $K_0>10^{13}$ формирование переходного комплекса связано с увеличением энтропии – число степеней свободы у переходного комплекса больше, чем у исходной молекулы. Расчеты K_0 показывают, что переходный комплекс для БК и СКД формируется с уменьшением подвижности элементов макромолекулы; а для СКЭПТ и СКИ при формировании переходного комплекса подвижность элементов макромолекулы возрастает.

Применение формальной кинетики к рассмотрению термического разложения полимеров различных классов позволило получить кинетические уравнения реакции распада, позволяющие количественно оценить термостойкость материалов. Полученные кинетические характеристики этого процесса выявили

ряд особенностей механизма разрушения макромолекулы. Установлено, влияние на термостойкость каучуков количества метильных групп в составе макромолекулы полимера.

Список литературы

1. Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров. М.:Мир,1967. 328с.
2. 2.Эвери Г. Основы кинетики и механизмы химических реакций. М.:Мир.1978. 214с.
3. Уэндландт У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 526с.
4. Решетников С.М., Морозова З.Г. Высокотемпературное разложение ПММА и ММА. // В сб.: Химия и технология Элементоорганических полупродуктов и полимеров. Волгоград: изд. ВПИ, 1981. С. 3-5.
5. Салимгареева В.Н., Колесов С.В. Термическая деструкция и стабилизация полиметилметакрилата // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, В. 7. С. 3-11
6. Термическая и термоокислительная деструкция полиметилметакрилата в присутствии фуллерена. / Л.А. Шибаев и др. // Высокомолекулярные соединения. 2002. Т. 44 А, № 5. С. 815–823.
7. Эйринг Г., Лин С.Г., Лин С.М. Основы химической кинетики. М.: Мир,1983. 528с.

Исследование кинетики разложения охладителей

Фролов В. М.[a], Морозова З. Г.[b]
доцент технических наук, доцент кафедры инженерной физики[a]
доцент технических наук, доцент кафедры инженерной физики[b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a,b]
E-mail: Veniamin_frolov@mail.ru[a]

Аннотация: Для решения ряда практических задач необходимо понизить температуру продуктов сгорания твердого топлива. Один из известных способов уменьшения температуры предусматривает введение внутрь топлива специальных добавок – охладителей, которые забирают часть тепла для нагревания и испарения. В статье приведены результаты термического разложения некоторых охладителей, которые необходимы для прогнозирования скорости горения топлив.

Ключевые слова: терморазложение, охладители, оксалат аммония, сульфат аммония, оксамид, гидразодикарбонамид.

Калориметрическим методом с использованием калориметра ДАК1-1А изучено термическое разложение охладителей или замедлителей горения для изменения закона горения [1,2]. Эти добавки, вводимые в смесевое топливо, являются стоками тепла в конденсированной фазе, изменяя тем самым скорость горения. Разлагаясь и поглощая тепло, эти вещества понижают также температуру продуктов сгорания. В отличие от катализаторов химических реакций охладители не влияют непосредственно на скорость горения, это влияние косвенное через уменьшение суммарного тепловыделения в конденсированной фазе, уменьшения температуры разложения. Катализаторы горения действуют непосредственно на скорость реакции и уже, как следствием этого влияния, уменьшаются тепловой эффект реакций и температура поверхности конденсированной фазы.

В таблице приведены исследованные охладители, где указаны температурные интервалы ΔT, в которых проводились эксперименты, экспериментально полученные средние теплоемкости C в заданном интервале температур, конечные степени разложения $\varepsilon_к$, которые наблюдались при исследовании. В конце таблицы приведены экспериментально измеренные $Q_{экс}$ и теоретически

рассчитанные $Q_{теор}$ тепловые эффекты разложения охладителей. Как видно из таблицы, получено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Теплоты разложения и теплоемкости охладителей

Охладитель	ΔT, К	*С, кДж/(кгК)*	$\varepsilon_к$, %	$Q_{экс}$, *кДж/кг*	$Q_{теор}$, *кДж/кг*
Оксалат аммония $C_2O_4(NH_4)_2{*}H_2O$	470 ÷ 500	6,98	80÷ 100	1025	1041
Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$	510 ÷ 530	1,76	2÷ 9	2920	3303
Оксамид $H_2NCOCONH_2$	500 ÷ 540	1,94	30÷ 100	1110	1036
Гидразодикарбонамид (ГДА)	500 ÷ 540	1,77	70÷ 100	1440	

Расчет тепловых эффектов произведен на основании следующих химических реакций:

$$C_2O_4(NH_4)_2{*}H_2O \rightarrow 2CO_2 + H_2 + 2NH_3 + H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_4 \rightarrow 2NH_3 + SO_3 + H_2O$$

$$H_2NCOCONH_2 \rightarrow CO_2 + C + N_2H_4$$

Энтальпии образования соединений из простых веществ в стандартных условиях и методика расчета взяты из [3,4].

Кинетика термораспада охладителей исследована в изотермическом режиме по тепловыделению.

Теплота процесса термораспада определяется с точностью 10%. Экспериментальные кривые тепловыделения оксалата аммония, оксамида и гидразодикарбонамида (ГДА) представлены на рис. 1 ÷ 3 соответственно, которые иллюстрируют характер распада. Оксалат аммония распадается в две стадии. Первоначально на первой стадии выделяется около 10 % воды, на второй стадии происходит разрыв связи C – C в анионе $C_2O_4^{2-} \rightleftarrows 2CO_2^-$, при этом возможно получение CO_2:

$$CO_2^- \rightarrow CO_2 + e^-.$$

Оксамид и ГДА распадаются в одну стадию.

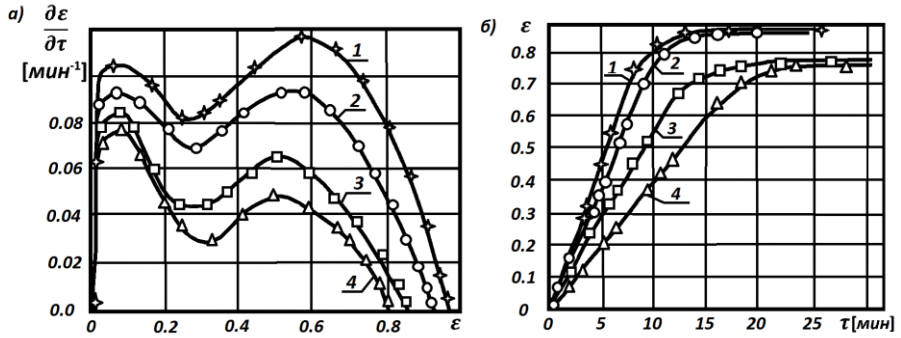


Рисунок 1. Терморазложение оксалата аммония:
а) кинетика кривых тепловыделения;
б) зависимость степени разложения от времени:
1 - ✧ 498 К; 2 - ○ 493 К; 3 - □ 485 К; 4 - △ 478 К.

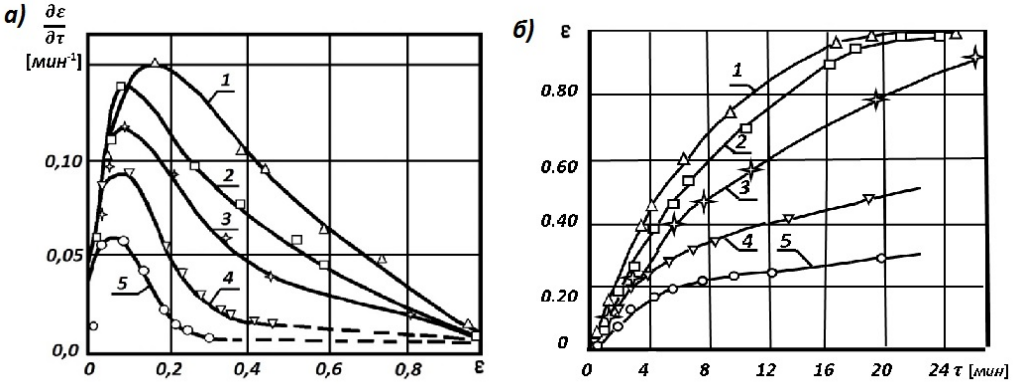


Рисунок 2. Терморазложение оксамида:
а) кинетика кривых тепловыделения;
б) зависимость степени разложения от времени:
1 - △ 542 К; 2 - □ 534. К; 3 - ✧ 524. К; 4 - ▽ 519. К; 5 - ○ 508 К.

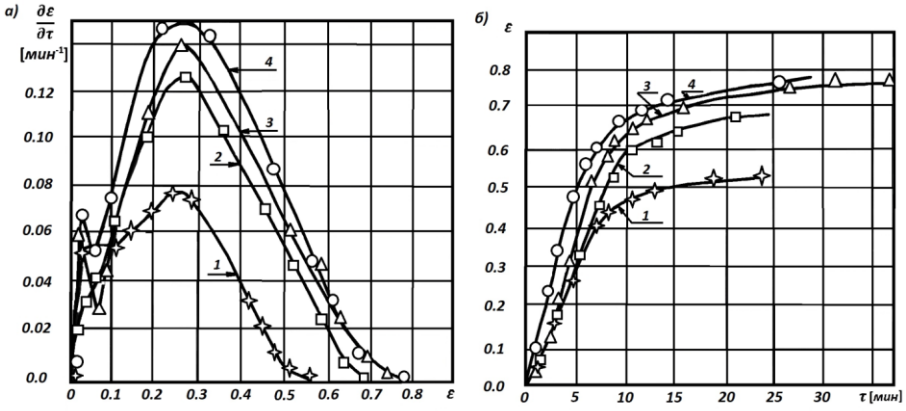


Рисунок 3. Терморазложение гидразодикарбонамида:
а) кинетика кривых тепловыделения;
б) зависимость степени разложения от времени:
1 - ✧ 519. К; 2 - □ 524. К; 3 - △ 529. К; 4 - ○ 534 К.

Скорости терморапада исследованных охладителей подчиняются закону реакции первого порядка. На рис. 4 приведена аррениусовская анаморфоза константы скорости тепловыделения охладителей от температуры.

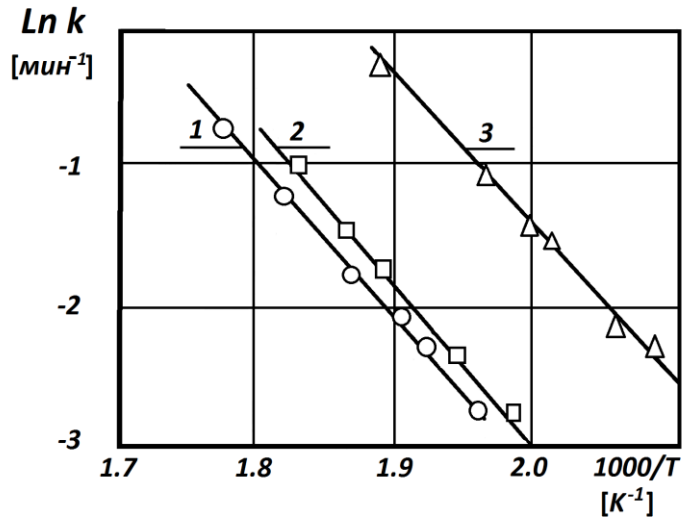


Рисунок 4. Зависимость константы скорости разложения охладителей от температуры: 1 - ○ оксамид, 2 - □ ГДА, 3 - △ оксалат аммония.

Получены следующие кинетические уравнения:

оксалат аммония: $k = 3{,}2 * 10^8 \exp\left(-\frac{10500}{T}\right)$ (мин$^{-1}$);

оксамид: $k = 2{,}3 * 10^8 \exp\left(-\frac{11200}{T}\right)$ (мин$^{-1}$);

ГДА: $k = 1{,}7 * 10^9 \exp\left(-\frac{12200}{T}\right)$ (мин$^{-1}$)

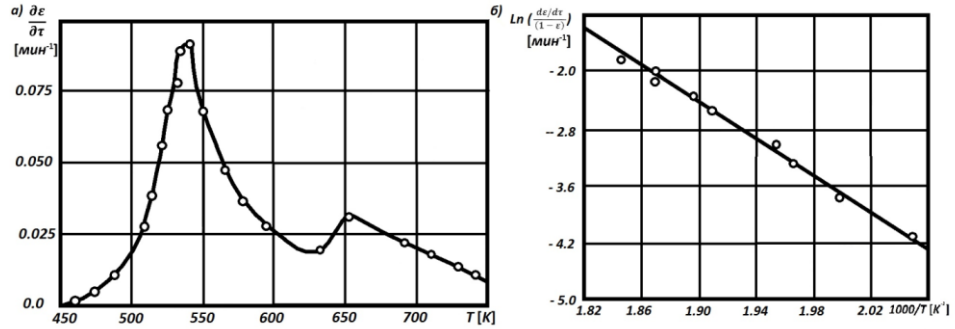


Рисунок 5. Кинетика кривой газовыделения (*а*) и аррениусовская анаморфоза разложения сернокислого аммония (б).

Малая степень разложения сульфата аммония не позволяет получить достоверные результаты при рабочих температурах калориметра ДАК1-1А, поэтому кинетика термораспада сернокислого аммония исследована по скорости газовыделения. Кинетическая кривая этого охладителя приведена на рис. 5. Константа скорости газовыделения сульфата аммония получена в виде уравнения $k = 7{,}8 * 10^9 \exp\left(-\frac{15630}{T}\right)$ (мин$^{-1}$).

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования кинетики терморазложения охладителей, применяемых при горении смесевых систем.

2. Получены кинетические уравнения термического разложения охладителей, Скорости термораспада охладителей подчиняются закону реакции первого порядка.

Список литературы

1. Решетников С.М., Решетников И.С. Анатомия горения. М.: НГСС, 2014. 247 с.

2. Решетников С.М,, Фролов В.М., Скрыпник Е.А. Изучение термораспада оксалата аммония и расчет его газификации в условиях волны горения // Теплообмен и трение в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов : сб. статей, КАИ, Казань, 1990, С. 81-85.

3. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. Л.: Химия, 1977. 389 с.

4. Краткий справочник физико-химических величин. / под ред. Мищенко К.П., Ревиало А.А. : Химия, 1974. 200 с.