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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2021)

Сборник статей

**XXI Всероссийская
научно-практическая конференция
12 апреля–30 апреля 2021 г.**

**Том 2
Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле**

**Киров
2021**

ББК Ч215.16(082)
УДК [54+59+62+004](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; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук, директор Научного издательства; **Л. К. Патрушева**, канд. пед. наук, доц., руководитель Центра публикационной активности; **М. В. Кожина**, начальник Отдела интеллектуальной собственности; **Д. В. Седов**, проректор по информатизации и цифровому развитию; **Л. В. Капитурова**, заведующий Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, начальник Управления информационной работы и комуникаций; **А. Н. Чикишева**, канд. экон. наук, начальник Отдела аспирантуры, докторантуры и НИРС, **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц., директор Института биологии и биотехнологии; **Д. А. Козулин**, канд. хим. наук, и. о. директора Института химии и экологии; **И. В. Губин**, канд. техн. наук, доц., директор Политехнического института; **О. В. Кошкин**, и.о. директора 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; **Н. К. Савельева**, канд. экон. наук, доц., директор Института экономики и менеджмента; **М. С. Ившин**, канд. экон. наук, директор Юридического института; **Д. Н. Семериков**, начальник Управления делопроизводства.

Редакционная коллегия сборника:

С. Г. Литвинец, канд. с.-х. наук, доц.; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук; **О. В. Байкова**, д-р. филол. н., проф.; **Е. А. Бармина**, канд. экон. наук, доц.; **С. Б. Башмакова**, канд. педагогических наук, доц.; **Е. А. Братухина**, канд. экон. наук; **Н. В. Булдакова**, д-р. пед. н., доц.; **Р. Л. Веснин**, канд. техн. наук; **Е. О. Галицких**, д-р. пед. наук, проф.; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; Е. В. Динер, доц., д-р пед. наук, проф.; **М. В. Долженкова**, доц., канд. техн. наук; **Е. В. Зонова**, канд. филол. наук, доц.; **А. А. Зыкин**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Каранина**, д-р экон. наук, доц.; **Ю. А. Колесова**, канд. пед. наук, доц.; **В. Е. Круковский**, канд. юр. наук; **В. А. Крысова**, канд. пед. наук, доц.; **А. В. Кузьмин**, канд. хим. наук, доц.; **Ю. В. Ланских**, канд. техн. наук; **О. Б. Лисовская**, канд. техн. наук, доц.; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц.; **А. А. Машковцев**, д-р ист. наук, доц.; **А. П. Метелев**, канд. техн. наук, доц.; **Л. В. Морилова**, канд. техн. наук, доц.; **А. В. Новиков**, канд. техн. наук, доц.; **Н. В. Палешева**, канд. экон. наук, доц.; **О. Н. Пересторонина**, канд. биол. наук, доц.; **С. А. Пупышева**, канд. геогр. наук, доц.; **Е. В. Разова**, канд. пед. наук, доц.; **И. В. Романова**, канд. пед. наук, доц.; **О. А. Рублева**, канд. техн. наук, доц.; **Д. Г. Сергеев**, канд. техн. наук, доц.; **Д. М. Суворов**, канд. техн. наук, доц.; **В. Н. Тимошенко**, канд. техн. наук, доц.; **О. В. Фокина**, канд. экон. наук, доц.; **А. Г. Хлебов**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Н. В. Цветкова**, канд. психолог. наук; **А. Б. Чаганов**, канд. техн. наук; **М. Г. Швецова**, канд. филол. наук, доц.; **Е. В. Щербинина**, канд. культурологии, доц.; **Ю. В. Юркин**, канд. техн. наук.

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. В 2 т. Т.2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. – Электрон. текстовые дан. – Киров : Вятский государственный университет, 2021. URL: http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2021-tom-2.pdf.

ISBN 978-5-98228-245-3 (Т. 2.)
ISBN 978-5-98228-243-9

ББК Ч215.16(082)
УДК [54+59+62+004](082)

Минимальные системные требования

Браузер Internet Explorer и др.;
скорость подключения к сети Интернет 1 мбит/сек и выше;
Acrobat Reader и др.

ISBN 978-5-98228-245-3 (Т. 2.)
ISBN 978-5-98228-243-9

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алалыкин А. А., Соловьева М. С., Мартинсон Е. А.
Подтверждение структуры лекарственного препарата «Мирамистин» методом высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии 9

Белозёров В. С., Ананченко Б. А., Конышев И. В., Бывалов А. А.
Влияние времени фиксации макрофагов J-774 глутаровым альдегидом на силу взаимодействия в системе «липополисахарид *Yersinia pseudotuberculosis* – макрофаг J-774» с использованием атомно-силовой микроскопии 17

Бессолицына Е. А.
Разработка ПЦР-тест системы для видовой идентифекации бактерий рода Borrelia 24

Конышев И. В., Ананченко Б. А., Бывалов А. А.
Силовые характеристики взаимодействия бактерий *Yersinia pseudotuberculosis* и *Yersinia pestis* с моноклональными антителами, оцененные методом оптического пинцета 28

Мартинсон Е. А., Устюжанинова Л. В., Шишкина Д. Р., Безруков А. С.
Влияние азотфиксаторов на прорастание семян 34

Мартинсон Е. А., Устюжанинова Л. В., Шишкина Д. Р., Безруков А. С.
Выделение азотфиксаторов из почв Кировской области 41

Меркучева О. Н., Шабалкина С. В.
Особенности естественного возобновления *Pinus sylvestris* L. в различных сосняках Медведского бора (Кировская область) 45

Наговицын Д. А., Мистерова А. В., Рогожкин С. О., Герасимов А. С.
Получение штамма-продуцента рекомбинантного основного фактора роста фибробластов bFGF2 52

Рогожкин С. О., Сазанова Е. В., Чичерин В. А., Мистерова А. В., Стариков П. А., Герасимов А. С.
Конструирование экспрессионных векторов для получения рекомбинантного мутантного дифтерийного токсина CRM197 57

Устюжанинова Л. В., Богатырев А. М.
Исследование различных вариантов утилизации жома борщевика Сосновского с помощью микроорганизмов 65

Устюжанинова Л. В., Вятер В. А.
Исследование возможности получения пива и пивных напитков, обогащенных пробиотиками 72

Устюжанинова Л. В., Завалин Р. Ю.
Сравнительный анализ существующих биоинсектицидов РФ 79

Устюжанинова Л. В., Земцова У. О., Вятер В. А.
Лактобактерии как компонент косметических средств 86

Устюжанинова Л. В., Ильина Т. А.
Старение пивных дрожжей и факторы, влияющие на этот процесс 93

Устюжанинова Л. В., Матушкин В. А.
Исследование эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами 101

Устюжанинова Л. В., Солодянкина А. В., Вятер В. А.
Методы борьбы с плесневыми грибами 108

Устюжанинова Л. В., Солодянкина А. В., Синцов К. Н.
Идентификация плесневых грибов – возбудителей порчи деревянных изделий 116

Устюжанинова Л. В., Фоминых Ю. А.
Сравнительный анализ существующих микробиологических препаратов
для улучшения плодородия почв.....123
Устюжанинова Л. В., Фоминых Ю. А., Вятер В. А.
Экспериментальное обоснование выбора питательной среды
для ферментации бактерий рода *Bacillus* с целью получения биопрепарата.....129
Устюжанинова Л. В., Шинку А. А.
Современные проблемы микробиологической безопасности
колбасных изделий и пути их решения 137
Чичерин В. А., Рогожкин С. О., Герасимов А. С.
Использование метода резонансного переноса энергии биолюминесценции
для изучения фармакологии рецепторов сфингозин-1-фосфата 144

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бурков А. А., Краев А. Д.
Исследование свойств биоразлагаемой композиции на основе
полилактида и натурального каучука 151
Бушуев А. Н., Кряжевских В. А., Солодянкина И. С., Трухин В. С.
Синтез полимерных материалов на основе поливинилиденфторида,
способных к переработке методом 3D-печати.....155
Веснин Р. Л., Пятина В. В., Вохмянин М. А.
Получение пенополиуретанов из переработанных отходов пластмасс.....159
Елькин О. В., Солодянкина И. С., Кряжевских В. А., Толстобров И. В.
Синтез сополимера винилиденфторида.....164
Еремеева Т. В., Лобанова Л. Л., Хранилов Ю. П., Юдинцев И. С.
Обеззараживание воды для бассейнов: расчеты возможной растворимости меди.....168
Камалов К. О., Ахмаров Ф. И., Дубовцев Д. Ю.
Исследование способов удаления мышьяка
из технологических растворов медеплавильного производства 173
Мухаметова Г. М., Бурухина Т. Ф., Васильев В. В.
Оптимизация состава раствора для химического осаждения Ni-P покрытий
из растворов на основе глицинатно-сукцинатных комплексов никеля.....180
Мухаметова Г. М., Гридчин С. Н., Бурухина Т. Ф.
Система глицин-янтарная кислота для эффективного химического никелирования 187
Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В.
Влияние лигнина на время желатинизации резольной фенолформальдегидной смолы 193
Фуфаева В. А., Никифорова Т. Е.
Высокоэффективное извлечение ионов меди(II) из водных растворов
композиционными сорбентами на основе хитозана.....198
Шилов И. Б., Седлова Н. Г., Анфилатов Е И.
Исследование эпоксидного соединения в резинах
на основе каучуков общего назначения.....206
Широкова Е. С., Созинов П. А.
Получение мембран из поливинилиденфторида методом замораживания 211

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Коровина О. Ю., Сомин В. А.
Радиоактивность донных отложений водных объектов
юго-западной части Алтайского края 217

Саврасова А. Б., Гладышева О. В., Кальченко Е. Ю.
Оценка экологического состояния почвы микрорайона Придонской города Воронежа 221

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Баширова Ю. Н.
Особенности изучения моделирования в биологии студентами естественно-научного профиля 224

Канищев И. С.
Сокращение времени и повышение точности при глубоком машинном обучении путем модификации среды оптимизации гиперпараметров 231

Костин С. В.
О взаимосвязи различных разделов высшей математики при ее преподавании 237

Кощеев М. И.
Программирование микроконтроллера для нейросетевой обработки сигналов 252

Кропанев Н. Д., Котельникова А. В.
BERT для анализа тональности длинных текстов на примере Kaggle Russian News Dataset 256

Пащенко Д. Э., Котельникова А. В., Котельников Е. В.
Использование словарей оценочной лексики для анализа новостных сообщений 260

Ревякина Д. А., Пескишева Т. А.
Модели BERT и XLNet для вопросно-ответных систем 268

Смирнова Т. Н., Лабинов В. А.
Проблемы игровых проектов на основе Windows Presentation Foundation 275

Торгашова С. В., Разова Е. В.
Анализ влияния признака «основной диагноз» на предсказание нарушений при экспертизе качества медицинской помощи 282

Тутынин В. А.
Модификация метода деления дизъюнктов с использованием ведущего литерала 289

Чупраков П. Г., Ярков П. Р.
Разработка программы для поиска глобального экстремума функций 296

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Абдулвелеева Р. Р., Блинов К. А.
Разработка кроссплатформенного приложения для многофункционального центра 302

Абдулвелеева Р. Р., Иванин Е. М.
Разработка сервиса по коллективному управлению многоквартирными домами «Милый дом» 308

Абдулвелеева Р. Р., Казанцев В. Г.
Разработка кроссплатформенного приложения для мобильных операционных систем Smart Novotroitsk 314

Адеков А. Л., Десятков И. А.
Проблемы малой теплоэнергетики Кировской области 319

Апатов К. Ю., Ворошилов Д. А., Керов А. Б., Мирошин С. А.
Автономный штамповый блок для пневмоформовки листовых материалов в состоянии сверхпластичности 329

Апатов К. Ю., Пентин И. С., Байбородов Е. С., Канайкина Т. А.
Роботизация процессов сборки изделий машиностроения 336

Батенков К. А.
Формализация критериев и показателей качества в телекоммуникациях 343

Белоусова М. Н., Наземцев К. А.
Использование учебного оборудования для моделирования технологического процесса сортировки пищевой продукции 349
Бессолицын А. В., Вальс Р. П.
Оценка погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала по данным восьмибитного АЦП 354
Бондаренко И. Р., Ибоян Д. Л.
Определение граничного значения частоты вращения инструмента для механической обработки внутренней поверхности труб 359
Бондаренко И. Р., Пирназаров М. Ю.
Применение имитационного моделирования процесса резания при фрезеровании с помощью программного пакета Deform 3D 363
Бузиков Ш. В., Плотников С. А., Козлов И. С.
Определение выбросов токсичных веществ дизелями сельскохозяйственных машин 368
Бурьянов И. А.
Конструктивные особенности кожухов-пылеуловителей для локализации пылевых выделений при работах на заточных станках 375
Варламов А. А., Гулькина Е. О.
Испытание нагрузкой до разрушения сталеполистиролбетонных конструкций 384
Галяутдинов З. Р., Галяутдинов Д. Р.
Экспериментальные исследования податливых опор при кратковременном динамическом нагружении 391
Головёнкин В. А., Климов Е. А.
Значения основных параметров синхронных коммутационных аппаратов низкого напряжения 399
Головенкин В. А., Фоминых А. А., Фадеев В. В., Бушуев А. М.
Методика расчёта магнитных потоков поляризованной магнитной системы с балансированным якорем 406
Дубровина О. А., Саркисов Д. Ю.
Исследование работы железобетонных балок, усиленных обоймами 415
Егоян А. А., Рублева О. А.
Особенности изготовления столешницы из древесины дуба с использованием эпоксидной смолы в условиях индивидуального производства 420
Еремеев М. А., Горбачев И. Е., Смирнов С. И., Латыпов И. Т.
Методика обнаружения вредоносных действий злоумышленника на основе классификации журналов событий при расследовании компьютерных инцидентов 426
Жолобов Н. С., Булычев Л. Л.
Выбор архитектуры рекомендательной системы для сервиса агрегатора фитнес-клубов 435
Звягин Д. С.
Результаты вычислительного эксперимента по применению матричного подхода в стохастических сетях Петри 442
Каргапольцев В. В.
Разработка экспериментального стенда для наблюдения воздействия электростатического поля на поверхность горения полимера в высокоэнтальпийном потоке 447
Клековкина Е. В., Рублева О. А.
Повышение сортности березовой фанеры за счет обработки лицевых слоев специальными составами 453
Курбатова А. Ю., Кузнецова Д. А., Соловьева И. А.
Вибрационная болезнь как профессиональное заболевание работников машиностроительной отрасли 459

Куколев А. А., Пиотровский Д. Л., Подгорный С. А.
Нейронные сети в распознавании образов синусоидальных сигналов 464
Кумпяк О. Г., Галяутдинов З. Р.
Прочность и деформативность опертых по контуру железобетонных плит с распором 472
Курбатова А. С., Шарафутдинов Н. Р., Генин В. С., Васильева Л. Н.
Организация выполнения лабораторных работ для бакалавриата по курсу «SCADA-системы» в условиях дистанционного обучения 479
Ланских Ю. В., Куимова С. И.
Нейросетевая кластеризация распределения эмоциональных реакций на внешние раздражители по результатам сканирования электромагнитной нейронной активности 485
Леготин А. Б., Попова Е. А.
Исследование двухскоростного двигателя вентилятора 492
Литвинов С. В.
Система подстройки к геофизическим условиям радиолокационной станции загоризонтного обнаружения 496
Макурина А. А., Паршина Е. И.
Оценка декоративности древесных растений в зеленых насаждениях города Сыктывкара 504
Насолдина И. Ю.
Проблема обеспечения безопасной эвакуации из многоэтажных зданий и сооружений людей, относящихся к маломобильной группе населения 510
Нижегородова М. В., Дождиков И. С.
Модель объекта проектирования в рамках САПР виртуальных тренажеров 518
Нижегородова М. В., Доманов К. И.
Программная реализация аналитики роликов YouTube в интересах образовательного учреждения 525
Новиков А. В., Хорошинина Е. Н., Новоселова О. А., Вальс Р. П.
Проблемы и перспективы цифровой энергетики Кировской области 531
Онучина К. В., Рублева О. А.
Анализ методов проектирования технологических потоков, применяемых в планировании деревоперерабатывающих производств 539
Охоткин Г. П., Игнатьев Д. А.
Моделирование радиотехнических устройств при воздействии помех 544
Охоткин Г. П., Игнатьев Д. А.
Оценка применимости модернизации технологической радиорелейной связи 550
Пахмурин О. Р., Чуржакова Д. В.
Выбор типа фундамента для здания с монолитным железобетонным каркасом в зависимости от напряженно-деформированного состояния 558
Плотников С. А., Мотовилова М. В., Петухович Е.Д.
Исследование выбросов отработавших газов при работе двигателя 4ЧН 11,0/12,5 на максимальном крутящем моменте 565
Погудин М. А., Медведева Е. В.
Методы распознавания мультиспектральных изображений поверхности Земли 572
Погудина А. С., Остальцева Д. В., Певзнер М. З.
Использование лазерной обработки для управления свойствами материалов 579
Поздин В. Н., Выймова Е. А.
Алгоритм автоматизированного нормоконтроля работ обучающихся образовательного учреждения 584
Прозоров Д. Е., Романенко Е. А.
Основные тренды развития беспроводных сетей передачи данных 589

Прокашев Н. М., Шемпелев А. Г.
Анализ и сравнение методик расчёта башенных градирен для разработки совместной математической модели «градирня-конденсатор» 608
Рублева Е. С., Лисовская О. Б.
Влияние содержания стеарина на свойства модельных восков 615
Серебрянников А. В., Павлов О. П.
Использование принципа нисходящего преподавания в ссузах и вузах по техническим направлениям 622
Соловьев П. В., Созонова Е. И.
Проект тракта загрузки твердых коммунальных отходов в реактор утилизации 626
Сташева М. А., Мурзаева М. У.
Идентификация трикотажных переплетений 633
Суворов Д. М., Лыскова Е. А.
Анализ систем теплоснабжения с локальными тепловыми насосами, имеющими паротурбинные ТЭЦ в качестве источника 638
Сунцов Д. Л.
Влияние вида синтетического этиленпропиленового каучука на физико-механические свойства радиационно-защитного материала 645
Тарбеева Н. А., Рублева О. А.
Анализ процессов декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов 654
Тимина Н. В., Горынцев А. А., Карандин Г. А.
Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин 661
Туливетрова А. А., Савельева Н. В., Васильева Л. Н.
П роектирование системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino Uno для регистрации и передачи данных по беспроводной сети Bluetooth 668
Уморина Ж. Э., Дютина Е. Е.
Искусственный интеллект в проектировке зданий и управлении ими 673
Фокин А. А.
Влияние концентрации пластификатора на тангенс угла механических потерь в эластомерах на основе бутилкаучука 678
Чумаров С. Г., Чернов В. К.
Модель OFDM-системы для компенсации эффекта замираний в канале связи 682
Шестаков А. В., Власов А. А.
Моделирование процесса плавного пуска частотно-управляемого асинхронного двигателя с учетом влияния реальных факторов 688
Шубин И. Н., Зеленин А. В., Попова А. А., Алиев Р. Э., Мишуков Е. Д.
Разработка перспективного универсального сорбента на основе компактированного высокопористого углеродного материала 696
Шубин И. Н., Попова А. А., Алиев Р. Э., Мишуков Е. Д.
Особенности проектирования оборудования для получения функционализированных углеродных наноматериалов 701
Юркин Ю. В., Варанкина Д. А., Волоскова И. О., Рогожкин Р. С.
Метод определения истинной плотности сверхлегких наполнителей 705

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Подтверждение структуры лекарственного препарата «Мирамистин» методом высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии

А. А. Алалыкин [a], М. С. Соловьева [b], Е. А. Мартинсон [c]
кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии [a]
студент группы БТм-2101-02-00 [b]
кандидат технических наук, директор института биологии и биотехнологии [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: aa_alalykin@vyatsu.ru [a], stud114071@vyatsu.ru [b], martinson@vyatsu.ru [c]

Аннотация. В настоящее время на фармацевтическом рынке представлено немалое количество воспроизведённых лекарственных препаратов. В связи с этим крайне важной задачей становится разработка методик для установления или подтверждения структур веществ, входящих в состав лекарственных препаратов. «Мирамистин» является лекарственным препаратом, обладающим широким спектром действия: бактерицидным, противовирусным и противогрибковым. Так как в данный момент противовирусные препараты пользуются большим спросом во всём мире, разработка методики для подтверждения структуры именно такого препарата является актуальной задачей.

Цель исследования заключалась в подтверждении соответствия химической структуры основного вещества исследуемого образца мирамистину методом высокоэффективной жидкостной хромтомасс-спектрометрии.

Задачами исследования являлось сравнение структур основного вещества в имеющихся образцах и установление структуры основного вещества, входящего в состав исследуемого образца, с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии.

В ходе исследования был проведён сравнительный анализ исследуемого образца и лекарственного препарата «Мирамистин». По продуктам фрагментации ионов с m/z 403,45 было установлено соответствие активных веществ, входящих в состав обоих образцов. Также было подтверждено, что основное вещество в образцах представляет собой бензилдиметил [3-(миристоиламино) пропил] аммонийхлорид. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использованного аналитического метода для решения поставленных задач.

Ключевые слова: мирамистин, жидкостная хроматомасс-спектрометрия, сравнительный анализ, подтверждение структуры вещества.

Введение. Фармацевтическая промышленность по всему миру ведёт непрерывную работу как по созданию новых лекарственных препаратов, так и по улучшению качества и эффективности лекарственных средств, разработанных ранее. Вместе с тем ряд фармацевтических компаний занимается производством воспроизведённых лекарственных препаратов. На отечественном фармацевтическом рынке в последние годы значительно увеличилось количество таких препаратов. Это требует повышенного внимания к контролю их безопасности, эффективности и качества. Согласно ФЗ № 61 «Об обращении лекарствен-

ных средств», одним из критериев качества воспроизведённых препаратов является соответствие качественного и количественного состава действующего вещества референтному лекарственному препарату [1]. В связи с этим актуальной задачей становится разработка подходов к установлению структуры веществ, входящих в состав лекарственных препаратов.

В настоящее время в России, как и всём мире, наблюдается большой спрос на препараты, обладающие противовирусной активностью, что обусловлено достаточно напряжённой эпидемиологической обстановкой. К таким препаратам относится «Мирамистин», обладающий широким спектром действия: бактерицидным, противовирусным и противогрибковым. В качестве активного вещества в нём выступает бензилдиметил [3-(миристоиламино) пропил] аммонийхлорид. Практический интерес представляло проведение сравнительного анализа основного вещества в одном из предоставленных на исследование образце препарата, предположительно являющегося мирамистином, и образце, выпущенном под торговым названием «Мирамистин».

Высокоэффективная жидкостная хроматомасс-спектрометрия (ВЭЖХ-МС/МС) является современным методом, применяемым для решения большого количества разнообразных задач по исследованию широкого спектра веществ. Принципиальные преимущества метода позволяют достаточно быстро и точно установить природу исследуемого вещества. Именно это и обусловило использование метода ВЭЖХ-МС/МС для проведения данного анализа.

Цель исследования заключалась в подтверждении соответствия химической структуры основного вещества исследуемого образца мирамистину методом ВЭЖХ-МС/МС. Задачами исследования являлись сравнение структур основного вещества в имеющихся образцах и установление структуры основного вещества, входящего в состав исследуемого образца, с использованием метода ВЭЖХ-МС/МС.

Методы исследования. Объектом исследования являлся образец препарата в виде сухого бесцветного порошкообразного вещества, предположительно являющийся мирамистином (исследуемый образец). В качестве образца

сравнения был использован лекарственный препарат «Мирамистин» – раствор для местного применения 0,01 % производства ООО «Инфамед К» Россия. Образцы исследовали параллельно в одинаковых условиях.

Для проведения исследования был использован метод ВЭЖХ-МС/МС. Этот метод сочетает в себе жидкостное хроматографическое разделение компонентов с масс-спектрометрическим анализом. Благодаря этому достигается эффективное разделение разнообразных органических веществ, в том числе и термолабильных. Вместе с тем масс-спектрометрия является одним из наиболее мощных и информативных методов исследования структуры органических соединений и анализа сложных веществ и их смесей. Этот метод позволяет определять молекулярную массу, состав молекул и их фрагментов, их связь между собой, устанавливать механизмы фрагментации. На основании этих данных устанавливаются корреляционные зависимости между структурными характеристиками молекул и ионов, образующихся в результате распада молекул при ионизации. В современных хроматомасс-спектрометрах реализуется, как правило, метод тандемной (двухстадийной) масс-спектрометрии. Принцип работы прибора основан на разделении смеси на компоненты в процессе продвижения по колонке с поочерёдным выходом из неё и попаданием в масс-спектрометр. Первый масс-фильтр (квадруполь) осуществляет разделение первичных ионов, образующихся на первой стадии в результате «мягкой» электрораспылительной ионизации компонентов пробы – ионов-прекурсоров. Далее эти ионы поступают во второй квадруполь, где подвергаются фрагментации за счет энергии соударения с атомами инертного газа (аргона). Образующиеся на второй стадии фрагментные ионы называются ионами-продуктами (дочерними ионами) Далее вторичные ионы-продукты проходят фильтрацию в третьем масс-фильтре (квадруполе) и попадают на детектор. В зависимости от выбранного режима работы масс-фильтров и соударительной ячейки исследователь может получать спектры как ионов-прекурсоров, образующихся на первой стадии из анализируемых компонентов, так и продуктов их последующих превращений на второй стадии.

Для определения структуры основного вещества брали навеску сухого вещества исследуемого образца (около 1 мг) и растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Полученный раствор, содержащий около 10 мкг / мл вещества, фильтровали через шприцевой полиамидный фильтр «Chromafil Xtra PA-20/13» с диаметром пор 0,2 мкм и помещали в виалу автосамплера для последующего анализа.

Образец сравнения разводили дистиллированной водой в 10 раз. Полученный раствор, содержащий около 10 мкг / мл мирамистина, фильтровали через шприцевой полиамидный фильтр «Chromafil Xtra PA-20/13» с диаметром пор 0,2 мкм и помещали в виалу автосамплера для последующего анализа.

Образцы исследовали на тандемном жидкостном хроматомасс-спектрометре LCMS-8040 («Шимадзу», Япония) с системой трёх квадруполей. Прибор оснащён хроматографической колонкой «Dr. Maisch Reprosil-Pur Basic C18» 100×2 мм с размером зерен неподвижной фазы 3 мкм и ионным источником типа «электроспрей». Анализ проводили в положительной полярности при следующих параметрах. Ионизирующее напряжение 3,5 кВ; коллизионный газ – аргон. Температура интерфейса 400 °С; температура линии десольватации 250 °С. Расход газа-распылителя (азот) 3 л/мин; расход газа-осушителя (азот) 15 л/мин. Дозируемый объём пробы 5 мкл. Температура термостата колонок 35 °С. Режим элюирования – бинарный градиент. Фаза А – очищенная вода I типа, фаза Б – ацетонитрил: начальное содержание 50 %, увеличение до 85 % с 0,1 по 15 мин., выдержка при 85 % с 15 по 30 мин. Режимы сбора данных Q3 Scan и Product Ion Scan. Последующую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения LabSolutions LCMS 5.86.

Результаты исследований и их обсуждение. Первоначально образцы анализировали в режиме сканирования m/z в диапазоне от 100 до 1000 с регистрацией полного ионного тока (TIC). Пики основного вещества на хроматограммах присутствуют в интервале 15–25 мин. В случае исследуемого образца отмечается два пика с временами удерживания 16,4 и 19,1 мин. Мирамистин из образца сравнения выходит единым пиком при 20,2 мин. Полученные хроматограммы представлены на рис. 1.

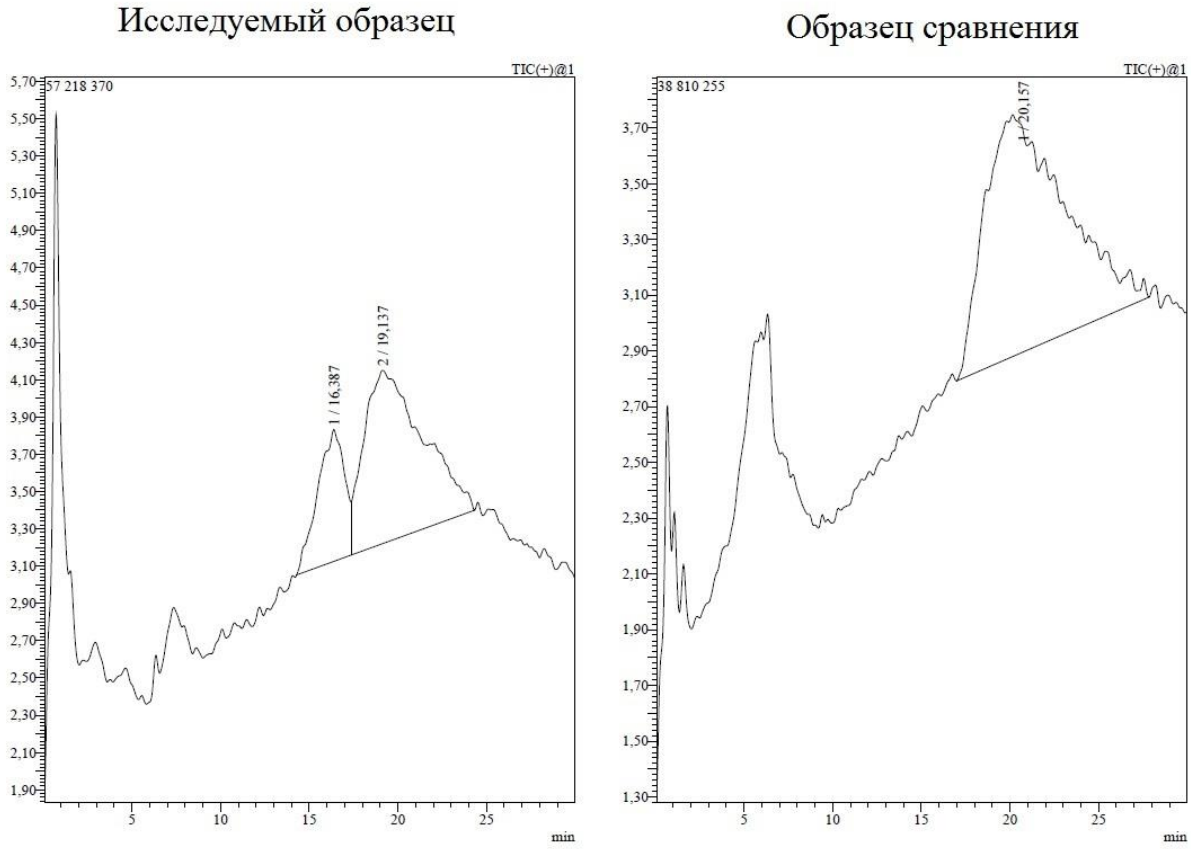


Рис. 1. Хроматограммы образцов в режиме Q3 Scan

В составе масс-спектров нефрагментированных ионов для указанных хроматографических пиков присутствует интенсивный сигнал по m/z 403,45. Это значение предположительно соответствует катиону бензилдиметил[3-(миристоиламино)пропил]аммония, образующемуся в результате диссоциации солеобразного хлорида мирамистина (рис. 2) в водном растворе.

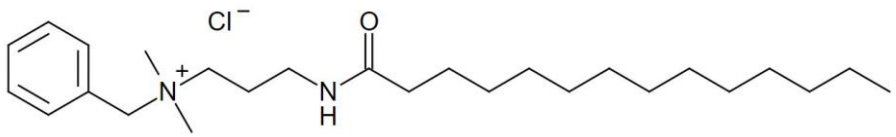


Рис. 2. Структурная формула мирамистина (хлорида бензилдиметил [3-(миристоиламино)пропил]аммония)

Для подтверждения данного предположения была проведена фрагментация ионов с m/z 403,45 при различных величинах энергии коллизии. В результате были получены масс-спектры фрагментных ионов (вторичные масс-спектры). Результаты фрагментации первичных ионов приведены на рис. 3.

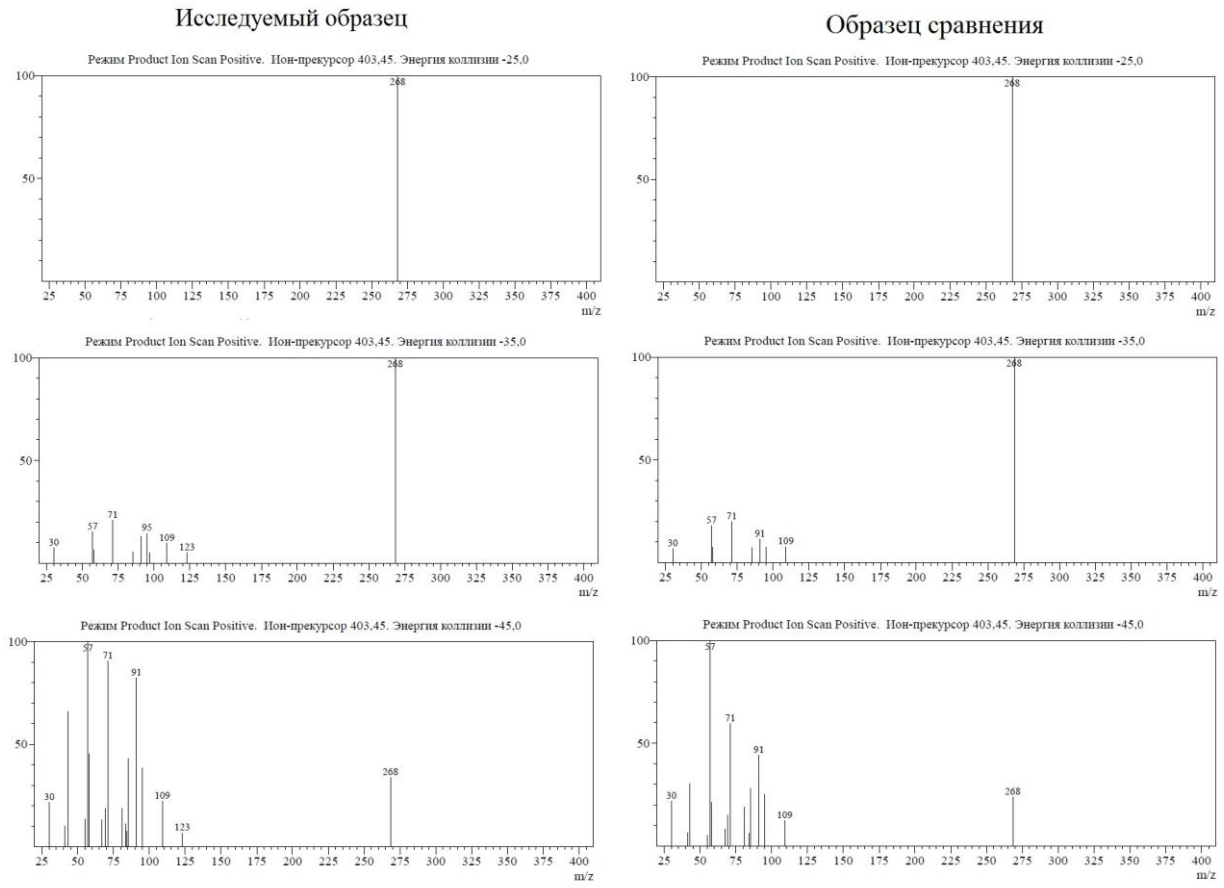


Рис. 3. Масс-спектры фрагментных ионов (вторичные масс-спектры) исследованных образцов

Наиболее интенсивный сигнал во всех случаях наблюдается по m/z 268, что, вероятно, связано с образованием миристоиламинопропильного катиона в результате разрыва одной из наименее прочных связей углерод-азот. Следует отметить, что ион с m/z 268 является единственным в случае фрагментации при низкой энергии коллизии (-25В). При этом второй продукт фрагментации представляет собой нейтральную молекулу бензилдиметиламина. Схематично места разрыва связей в исходном катионе показаны на рис. 4.

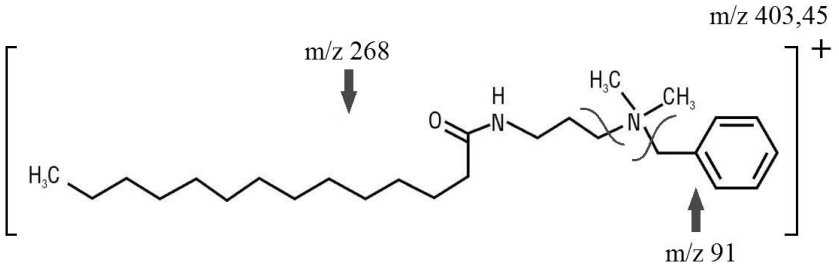


Рис. 4. Основные направления фрагментации катиона мирамистина

Результатом разрыва второй углерод-азотной связи при более высоких энергиях коллизии является возникновение бензильного катиона, дающего сигнал по m/z 91 в масс-спектрах. С увеличением энергии происходит более глубокое разрушение исходной структуры, сопровождающееся появлением большого количества «лёгких» ионов-продуктов (m/z 30, 43, 57, 71, 85) и уменьшением доли образования «тяжёлого» иона с m/z 268. Поскольку в перечисленном ряду наблюдается разница между соседними значениями в 14 а.е.м., то можно предположить, что данные фрагментные ионы имеют однотипную структуру и отличаются друг от друга на одно звено $-CH_2-$. Причиной образования такого ряда является деструкция в различной степени углеводородной цепи ацильного остатка миристиновой кислоты.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что частицы с m/z 403,45 отображающиеся в масс-спектрах нефрагментированных ионов, имеют структуру бензилдиметил[3-(миристоиламино)пропил]аммония и относятся к катионам мирамистина. Пики основного вещества на хроматограммах как исследуемого образца, так и образца сравнения обусловлены выходом из колонки катионов мирамистина, заряд которых уравновешен различными противоионами. В данном случае противоионами могут выступать хлорид-анионы (Cl^-) из исходных анализируемых соединений, а также гидроксид-анионы (OH^-), присутствующие в воде, что, возможно, является причиной расщепления пика основного вещества в случае исследуемого образца. Соотнесение масс-спектров нефрагментированных ионов и продуктов фрагментации позволяет сделать вывод об идентичности химической структуры основного вещества исследуемого образца и образца сравнения, а также о том, что оно является бензилдиметил[3-(миристоиламино)пропил]аммонийхлорид.

Выводы. Выявлена идентичность химической структуры основного вещества исследуемого образца и образца сравнения.

Установлено, что основное вещество исследуемого образца имеет химическую структуру мирамистина.

Показано, что метод ВЭЖХ-МС/МС является эффективным инструментом для решения задач, связанных с идентификацией и сравнением структур

веществ, что может быть использовано для установления фармэквивалентности лекарственных препаратов.

Библиографический список

1. Федер. закон от 12.04.2010 № 61: ред. от 22.12.2020. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Влияние времени фиксации макрофагов J-774 глутаровым альдегидом на силу взаимодействия в системе «липополисахарид *Yersinia pseudotuberculosis* – макрофаг J-774» с использованием атомно-силовой микроскопии

В. С. Белозёров [a], Б. А. Ананченко [b], И. В. Конышев [c], А. А. Бывалов [d]
аспирант ВятГУ [a]
кандидат химических наук, руководитель НОЦ «Нанотехнологии» ВятГУ [b]
кандидат биологических наук, инженер НОЦ «Нанотехнологии» ВятГУ [c]
доктор медицинских наук, с.н.с. Центра превосходства «Фармацевтическая биотехнология» [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: belozerovvs@mail.ru [a], boris.f5112@gmail.com [b],
konyshevil@yandex.ru [c], byvalov@nextmail.ru [d]

Аннотация. Метод силовой спектроскопии на базе атомно-силового микроскопа (АСМ), наряду с магнитной и оптической ловушками, позволяет качественно и количественно оценить силовые характеристики взаимодействия между лигандом и рецептором, антигеном и антителом и т. д. Изучение процессов, лежащих в основе межмолекулярного взаимодействия «лиганд – рецептор», позволяет установить роль того или иного рецептора клеток макроорганизма в инфекционном и вакцинальном процессах. В данной работе оценивается эффективность методов функционализации АСМ-зонда препаратом липополисахарида (ЛПС) *Yersinia pseudotuberculosis* с использованием бифункционализированного полиэтиленгликоля (ПЭГ), а также определяются силовые характеристики взаимодействия «лиганд – рецептор» в зависимости от времени фиксации клеток J-774 глутаровым альдегидом.

Цель работы − оценить влияние времени фиксации макрофагов J-774 глутаровым альдегидом на определяемую силу взаимодействия в модельной системе «ЛПС – эукариотическая клетка» с использованием атомно-силовой микроскопии.

В результате проведённых исследований было оценено влияние глутарового альдегида на морфологические особенности клеток J-774, а также зависимость силы определяемого взаимодействия от времени фиксации клеток глутаровым альдегидом. Данные, полученные в представленной работе, могут быть использованы для совершенствования методических подходов к оценке механизмов межмолекулярных взаимодействий в системе «лиганд – рецепторы клетки».

Ключевые слова: функционализация, силовая спектроскопия, адгезия, атомно-силовая микроскопия, макрофаг, липополисахарид.

Введение. Одной из основных проблем при лечении инфекционных заболеваний в настоящее время является антибиотикорезистентность патогенов. В этой связи разработка новых эффективных противобактериальных препаратов становится всё более сложной задачей. Дальнейшее изучение механизмов взаимодействия патогена с клетками хозяина позволит предложить новые подходы к совершенствованию средств и методов лечения и профилактики инфекционных заболеваний.

Использование такого биофизического подхода, как атомно-силовая микроскопия, позволяет количественно оценивать силовые характеристики взаимодействия между лигандом и клеточными рецепторами на молекулярном уровне, а так-

же производить сканирование поверхности клетки для изучения её морфологических особенностей. Данные, полученные в ходе изучения процессов взаимодействия между лигандом и рецептором, а также оценка силовых характеристик формируемой связи могут быть востребованы, в частности, при создании лекарственных средств, действие которых основано на блокировании такого взаимодействия.

Одним из важнейших этапов оценки силовых характеристик взаимодействия с использованием АСМ в модельной системе «лиганд – рецепторы клетки» является подготовка образцов фиксированной на твердой фазе клеточной культуры. Использование живых эукариотических клеток для проведения силовой спектроскопии осложняется непродолжительностью периода работы с клетками, связанного с их физиологическими особенностями, высокой эластичностью клетки и наличием на ее поверхности нитевидных структур различного размера. Использование фиксирующих агентов, например глутарового альдегида, позволяет не только зафиксировать клетку на поверхности стекла, но и повысить упругость клетки и минимизировать влияние поверхностных структур на эксперимент. Также известно, что обработка клеток глутаровым альдегидом приводит к стабилизации структуры рецепторов на поверхности клетки [1].

В АСМ используются кантилеверы (зонды), имеющие константы жесткости в диапазоне 10^1–10^5 пН·нм$^{-1}$, что позволяет определять силы взаимодействия в диапазоне от нескольких пН до нескольких десятков нН [2].

Принципиальная схема устройства атомно-силового микроскопа представлена на рис. 1.

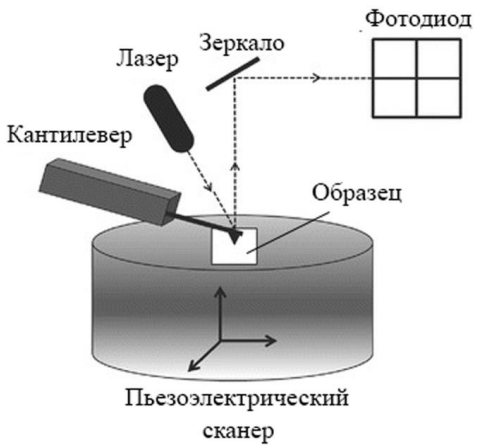


Рис. 1. Принципиальная схема устройства атомно-силового микроскопа [3].

Принцип работы атомно-силового микроскопа основан на регистрации фотодетектором сигнала лазера, отражённого от поверхности консоли кантилевера. Взаимодействие зонда с поверхностью образца приводит к изгибу консоли кантилевера, что, соответственно, приводит к отклонению лазерного луча, падающего на фотодетектор.

Цель исследования – оценить влияние времени фиксации макрофагов J-774 глутаровым альдегидом на определяемую силу взаимодействия в модельной системе «лиганд – рецепторы клетки» с использованием атомно-силовой микроскопии.

Методы исследования. Изучение морфологических особенностей клеток и оценка силовых характеристик производились с использованием атомно-силового микроскопа Ntegra Prima (Россия) с применением измерительного вкладыша AU-028 для проведения эксперимента в жидкости и АСМ-зондов серии PNP-DB (NanoWorld, Switzerland), имеющих радиус закругления ~10 нм и жёсткость консоли ~0.48 нН/нм.

В работе использовались клетки линии J-774 в четырех вариантах: живые и фиксированные на стекле 0,1 % глутаровым альдегидом при разном времени фиксации – 5, 15 и 30 минут. Клетки выращивали в среде RPMI-1640 при температуре 37 °С в 5 % CO_2.

В качестве лиганда использовался ЛПС, выделенный из культуры бактериальных клеток *Yersinia pseudotuberculosis*, выращенной при +10 °С.

Покрытие поверхностей кантилевера липополисахаридом проводили в два этапа: модификация и функционализация. На стадии модификации производилось аминирование поверхностей кантилевера с использованием APTES. На стадии функционализации иммобилизованные на кантилевере аминогруппы ковалентно связывали с бифункционализированным полиэтиленгликолем (Acetal-PEG-NHS) через сукцинимидные группы (NHS-), к свободному концу которого присоединяли липополисахарид [4].

Перед определением силы связывания выбиралась клетка, сканировалась её поверхность для определения границ клетки, затем в режиме силовой спек-

троскопии определялась сила взаимодействия между липополисахаридом и поверхностью клеток. Для этого клетка подводилась к поверхности зонда до момента контакта, после достижения сигнала на фотодетекторе в 2 нА выдерживалась пауза в течение одной секунды, затем сканер с образцом отводился от кантилевера. Пример силовой кривой, полученной в ходе отведения клетки от кантилевера, представлен на рис. 3. Разрыв межмолекулярных связей соответствовал моменту резкого повышения сигнала на хронограмме (точки 1 и 2 на рис. 2), превышающего средний шум базисной линии в 6 раз.

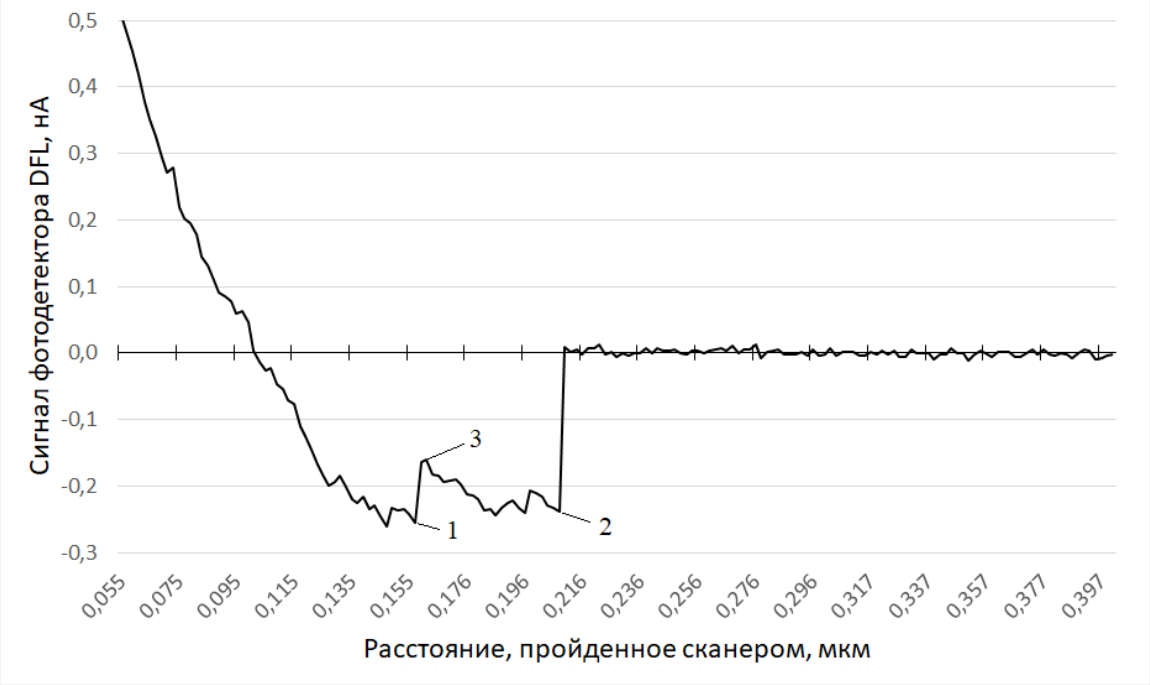
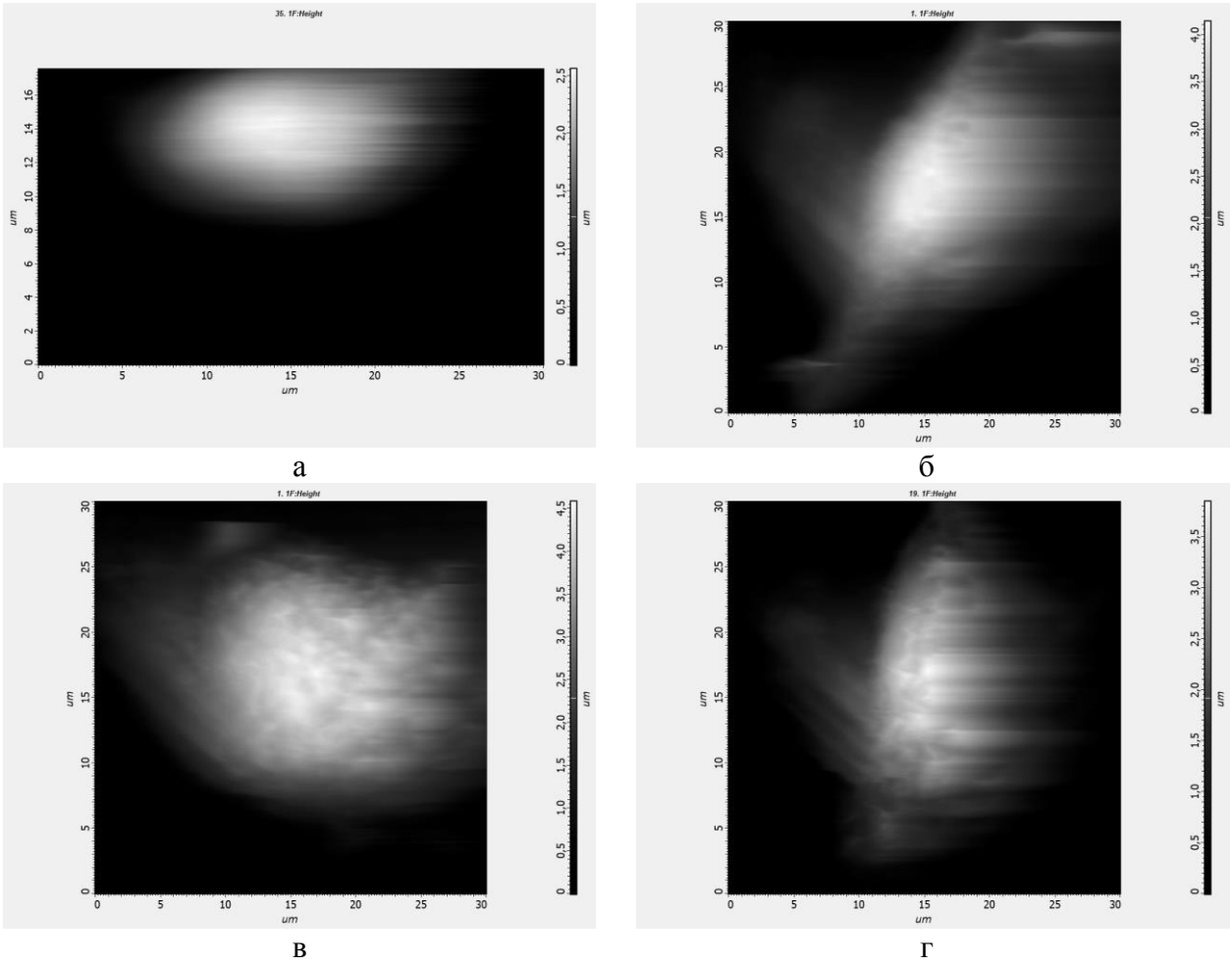


Рис. 2. График отведения образца от АСМ-зонда

Сила отрыва определялась по двум основным критериям: 1 – расстоянию по оси «y» от момента резкого изменения сигнала в положительную сторону до изменения сигнала в противоположную сторону (амплитуда между точками 1 и 3 на рис. 2) и 2 – расстоянию по оси «y» от первой из указанных временных точек до базисной линии. В качестве дополнительного критерия оценки влияния глутарового альдегида на свойства клеток была выбрана длина полимера, под которым понимается расстояние от поверхности клетки до острия кантилевера в момент разрыва последней связи. Все измерения проводились в фосфатном буферном растворе, pH 7.3.

Результаты исследований, их обсуждение. Сканы поверхности клеток, полученные методом атомно-силовой микроскопии, представлены на рис. 2. После обработки клеток глутаровым альдегидом наблюдается увеличение их упругости, поверхность клеток становится более рельефной. Увеличение времени фиксации свыше 15 минут не приводит к дальнейшим изменениям морфологических особенностей клеток.



а б в г

Рис. 3. Сканы поверхности клеток J774, полученные методом атомно-силовой микроскопии: (а) – живая клетка (размер скана – 30х18 мкм); (б) клетка, фиксированная в течение 5 минут (размер скана – 30х30 мкм); (в) клетка, фиксированная в течение 15 минут (размер скана – 30х30 мкм); (г) клетка, фиксированная в течение 30 минут (размер скана – 30х30 мкм)

Результаты измерения силы связи между кантилевером, сенсибилизированным ЛПС, и поверхностью макрофага, иммобилизованного на стеклянной пластинке, представлены в виде средних значений амплитуды всех разрывов связей, средних значений амплитуды всех разрывов связей до базисной линии и средней длины полимера (см. таблицу).

Зависимость силовых характеристик взаимодействия в системе «ЛПС – клетка J-774» от времени фиксации клеток глутаровым альдегидом (X_{mean}±I_{99})

Время фиксации клеток, мин	Амплитуда всех отрывов по критерию 1, нН	Амплитуда всех отрывов по критерию 2, нН	Длина полимера, нм
5	5,230±0,686	7,932±1,051	343,0±44,8
15	9,541±1,251	25,733±2,559	407,7±63,6
30	13,958±1,456	33,057±2,542	238,6±43,7

Примечание: I_{99} – доверительный интервал (p = 0.99).

Увеличение времени фиксации клеток J-774 глутаровым альдегидом приводит к увеличению силы взаимодействия между липополисахаридом и поверхностью клеток. Достоверные различия ($p \leq 0.01$) для силовых характеристик были установлены в группах сравнения «5 мин – 15 мин» и «15 мин – 30 мин». При обработке культуры клеток глутаровым альдегидом в течение 30 мин регистрируется минимальное значение длины полимера, что может быть связано с увеличением упругости клеток и уменьшением влияния со стороны филоподий. Результаты сравнительного анализа полученных хронограмм свидетельствуют о том, что большее время фиксации приводит к упрощению сигнала, получаемого в ходе отведения клетки от кантилевера, что выражается в уменьшении количества отрывов и укорочении дистанции, на которой происходит последний отрыв.

Выводы:

1. Отработана методика сканирования поверхности клеток с использованием атомно-силовой микроскопии.

2. Установлено повышение силы связи между ЛПС и поверхностью макрофага J-774 с увеличением времени фиксации эукариотических клеток глутаровым альдегидом.

3. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения на клеточном и молекулярном уровнях механизмов взаимодействия патоген – хозяин.

Библиографический список

1. Targosz M., Labuda A., Czuba P., Biedron R., Strus M., Gamian A., Marcinkiewicz J., Szymonski M. Influence of macrophage activation on their capacity to bind bacterial antigens studied with atomic force microscopy // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. 2006. Vol. 4. P. 82–88. URL: https://doi.org/10.1016/j.nano.2006.04.006 (accessed 01.02.2021).

2. Neuman K. C., Nagy A. Single-molecule force spectroscopy: optical tweezers, magnetic tweezers and atomic force microscopy // Nat. Methods. 2008. Vol. 5. P. 491–505. URL: https://www.nature.com/articles/nmeth.1218 (accessed 01.02.2021).

3. Kim S., Kim J., Okajima T., Cho N. Mechanical properties of paraformaldehyde-treated individual cells investigated by atomic force microscopy and scanning ion conductance microscopy // Nano Converg. 2017. Vol. 4:5. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5359366/ (accessed 01.02.2021).

4. Gruber H. Functionalization of AFM tips with Acetal Linkers – JKU. Linz, 2016. P. 10. URL: https://www.jku.at/fileadmin/gruppen/216/06_AFM_tip_with_acetal_2016_05_06.pdf (accessed 01.02.2021).

Разработка ПЦР-тест системы для видовой идентифекации бактерий рода Borrelia

Е. А. Бессолицына
кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: usr05643@vyatsu.ru

Аннотация. Бактерии рода Borrelia вызывают одно заболевание с разными симптомами, при этом есть связь между возбудителем и симптомами заболевания. Целью данной работы является разработка ПЦР-тест-системы для идентификации бактерий рода Borrelia для определения видового многообразия данных бактерий на территории Кировской области. Для работы используются метод ПЦР и методы его проверки, клонирование и секвенирование. Как показывают данные, основные выявленные бактерии – бактерии *Borrelia burgdorferi,* процент совпадения составил от 76,3 % до 58,8 %. Также есть совпадения с другими видами, например *Borrelia valaisiana.* С другими видами рода Borrelia совпадение еще меньше, до 68 %. Отсутствие полного совпадения размеров и последовательностей можно объяснить тем фактом, что анализ производился для последовательностей американских изолятов, а российские имеют свою структуру. Следовательно, необходим полный анализ последовательностей и сравнение с американскими штаммами.

Ключевые слова: ПЦР-тест-система, трансмиссивные заболевания, Borrelia.

Введение. Лайм-боррелиоз, или болезнь Лайма, — это трансмиссивное заболевание, широко распространенное на территории Российской Федерации. Данное заболевание вызывается большой группой бактерий *Borrelia burgdorferi, B. garinii, B. afzelii, B. valaisiana, B. lusitanie, B. spielmanii, B. bissettii, B. miyamotoi, B. Mayonii* [1]. Данное заболевание имеет очень широкий спектр симптомов, причем уже есть данные, что симптоматика заболевания зависит от вида возбудителя. *B. burgdorferi* чаще поражает суставы, реже – сердце и центральную нервную систему. *B. afzeli*i чаще вызывает кожные поражения при боррелиозе, самый распространенный в Европе вид. Вызываемый *B. garinii* боррелиоз чаще сопровождается неврологическими проявлениями [2]. Таким образом, есть необходимость видовой идентификации бактерий рода *Borrelia:* во-первых, для возможности коррекции лечения с учетом зависимости симптоматики от вида возбудителя, во-вторых, это позволит определить, к каким видам и антигенам можно разрабатывать вакцину.

Целью данной работы является разработка ПЦР-тест-системы для идентификации видов бактерий рода Borrelia для определения видового многообразия данных бактерий на территории Кировской области.

В рамках достижения цели сформулированы следующие задачи:

1. На основе анализа информации отобрать наиболее перспективные генетические маркеры бактерий группы Borrelia, подобрать праймеры для ПЦР.

2. Провести ПЦР с ДНК, выделенной из клещей.

3. Проверить эффективность разработанной ПЦР-тест-системы методом секвенирования.

4. Предположительно определить видовую принадлежность бактерий.

Методы исследования. Для анализа использовали 23 клеща, снятых с собаки. Идентификацию клещей, выделенных из природных источников, проводили по определительным таблицам Н. А. Филипповой [3].

Суммарную ДНК экстрагировали с помощью гуанидин-тиоизоцианатного метода [4] из клещей, фиксированных в 70 %-м этиловом спирте.

Для амплификации использовали пару праймеров: OspC F 5'-GCG(C/T/A)ATATTAATGACTTTATTTTTAT-3' и OspC spacer R 5'-CTGTAATTTTTTTG(C/T/A)CTTATT(A/G/C)ACTGT-3'**.** Условия ПЦР описаны [4].

Продукты амплификации разделяли в 6 %-м нативном полиакриламидном геле, гель окрашивали бромистым этидием [5].

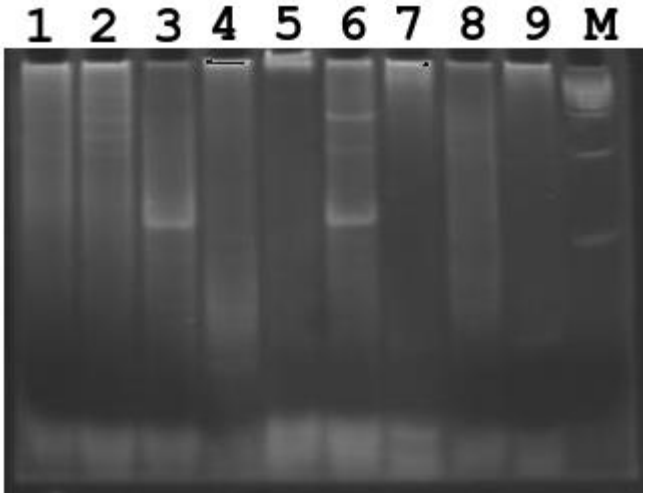
Продукты ПЦР реакции клонировали в вектор pAL-T вектор согласно инструкции фирмы производителя (Евроген). Трансформацию проводили солевым методом [5]. Плазмиды выделяли набором фирмы Евроген согласно инструкции. Для секвенирования плазмиды отправляли в фирму Евроген.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе работы были выбраны поверхностные антигены группы Osp, эти антигены находятся на поверхности клетки.

В результате был выбран ген OspC. Длина фрагментов для праймеров OspC: *Borrelia garinii* – 124 н.к. *Borrelia afzelii* – 133 н.к. *Borrelia burgdorferi* – 130 н.к.

Было проанализировано 24 образца ДНК, выделенных из 24 клещей.

Результат представлен на рисунке.



Гель электрофорез амплификации праймеры OspC
(F/R 42°C 1,5 мМ: дорожка 1–8 (OspC) – № 1–8; дорожка 9 – отрицательный контроль;
М – маркер)

В результате анализа 24 образцов было показано, что положительный результат выявлен в образцах № 3, 6, 12, 15, 17, 18, 22, 23.

Полученные ПЦР-продукты были одинаковы по размеру, так как гель электрофорез проводился в 9 %-м геле, различия должны быть выявлены.

Полученные фрагменты были проклонированы в вектор pAL2-T, и была получена их нуклеотидная последовательность.

Как показывают данные, основные выявленные бактерии – бактерии *Borrelia burgdorferi,* процент совпадения составил от 76,3 до 58,8. Также есть совпадения с другими видами, например *Borrelia valaisiana.* С другими видами рода Borrelia совпадение еще меньше, до 68 %. Отсутствие полного совпадения размеров и последовательностей можно объяснить тем фактом, что анализ производился для последовательностей американских изолятов, а российские имеют свою структуру. Следовательно, необходим полный анализ последовательностей и сравнение с американскими штаммами.

Выводы:

1. Теоретические исследования показали, что наиболее распространенными и серьёзными возбудителями иксодового клещевого боррелиоза являются *Borrelia garinii*, *Borrelia afzelii* и *Borrelia burgdorferi*.

2. Гены, кодирующие OspD и OspC, были выбраны в качестве маркерных последовательностей для проведения ПЦР, были выбраны две пары праймеров к нуклеотидным последовательностям генов, кодирующих OspD и OspC, которые могут быть использованы для идентификации трех видов боррелий за счет разницы в длине амплифицируемых отрезков.

3. Было выбрано 24 клеща, выделенная ДНК была проанализирована на наличие ДНК бактерий рода Borrelia. В результате анализа было показано, что положительный результат выявлен в восьми образцах.

4. Проверка ПЦР-тест-системы показала, что амплифицируются целевые участки ДНК, праймеры к последовательности OspC показали более высокую точность, чем к OspD, поэтому являются более перспективными для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Зверева Н. Н. Современное состояние проблемы иксодового клещевого боррелиоза (болезни Лайма) у детей // Детские инфекции. 2017. № 1. С. 27–31.
2. Е. В. Тимофеева, С. А. Дракина, С. В. Орлова. Лабораторная диагностика Лайм-боррелиоза на современном этапе // Медицинские новости. 2012. № 12. С. 9–14.
3. Филиппова Н. А. Таежный клещ Ixodes persulcatus Schulze (Acrana, Ixodidae): морфология, систематика, экология, медицинское значение. Л. : Наука, 1985. 420 с.
4. Бессолицына Е. А., Волков С. А., Столбова Ф. С. Динамика зараженности бактериями рода Borrelia и вирусом клещевого энцефалита клещей, собранных в Кировской области // Инфекция и иммунитет. 2017. Т. 7. № 2. С. 171–180.
5. Sambrook J., Fritch T., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. N. Y. : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 354 p.

Силовые характеристики взаимодействия бактерий *Yersinia pseudotuberculosis* и *Yersinia pestis* с моноклональными антителами, оцененные методом оптического пинцета

И. В. Конышев [a], Б. А. Ананченко [b], А. А. Бывалов [c]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии [a]
кандидат химических наук, руководитель НОЦ по направлению «Нанотехнологии» [b]
доктор медицинских наук, с. н. с. Центра превосходства «Фармацевтическая биотехнология» [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr09680@vyatsu.ru [a], ba_ananchenko@vyatsu.ru [b], usr01873@vyatsu.ru [c]

Аннотация. В работе показана возможность использования модельной системы «бактерия – подложка» для оценки интегральной силы взаимодействия между поверхностью клеток бактерий и адсорбированными на стекле моноклональными антителами с использованием аксиальной оптической ловушки. Зарегистрированные силы связи между бактериями *Yersinia pseudotuberculosis 1b* и антителами, комплементарными О-боковым цепям липополисахарида (ЛПС), а также антителами к белковым эпитопам наружной мембраны составили 5.9±3.3 и 2.0±1.8 соответственно. Силы связывания клеток *Y. pestis EV*, лишённых О-боковых цепей, с вышеуказанными антителами двух типов составили 4.2±2.9 и 9.6±4.9 пН. Эти результаты согласуются с данными, полученными нами ранее на иной модельной системе, в которой в качестве второго взаимодействующего объекта, наряду с идентичными иммобилизованными на стекле антителами, использовались полистироловые микросферы, сенсибилизированные препаратами ЛПС *Y. pseudotuberculosis 1b* и *Y. pestis EV*.

Ключевые слова: бактерия, *Yersinia pseudotuberculosis*, моноклональные антитела, оптический пинцет.

Введение. Род *Yersinia* включает три патогенных для человека вида бактерий – *Yersinia pestis, Y. pseudotuberculosis* и *Y. enterocolitica*. Первый из них является возбудителем тяжёлого системного заболевания. Возбудители двух других видов являются энтеропатогенами и вызывают заболевания, характеризующиеся иной клинической картиной и гораздо меньшей эпидемической опасностью. Вместе с тем в последние десятилетия заболеваемость псевдотуберкулезом и кишечным иерсиниозом людей в виде вспышек или спорадических случаев регистрируется несравненно чаще [1].

Одним из значимых направлений исследований иммуногенеза в инфекционной медицине является изучение молекулярных основ взаимодействия бактериальной клетки, отдельных ее поверхностных антигенов с антителами, расположенными как изолированно, так и связанными с клетками иммунной системы макроорганизма. Эффективным подходом к количественному определению силы взаимодействий подобного рода служит применение биофизиче-

ских подходов, в том числе метода оптической ловушки. С этих позиций возбудители рода *Yersinia* практически не изучены.

Основная цель настоящей работы состояла в количественной оценке силовых характеристик взаимодействия цельных клеток *Y. pseudotuberculosis* и *Y. pestis* с моноклональными антителами различной специфичности методом оптической ловушки.

Материалы и методы. Штаммы и условия культивирования. Штамм *Y. pseudotuberculosis 1b* получен из коллекции Российского научно-исследовательского противочумного института "Микроб" (кат. № 474), штамм EV *Yersinia pestis*, вакцинный, получен из коллекции ООО "Агровет". Культуры иерсиний выращивали на плотной питательной среде на основе питательного агара "Биотехновация" (БТН-агар, Россия): *Y. pseudotuberculosis* при температуре 10 °С, способствующей продукции О-боковых цепей, в течение 10 сут, *Y. pestis* – при температуре 27 °С в течение 2 сут. Микробные клетки инактивировали 0.5 %-ным формальдегидом в течение 5 суток, после чего пятикратно отмывали фосфатным буферным раствором (ФБР).

Моноклональные антитела. В работе использовали препараты мышиных моноклональных антител МКАт2 (комплементарны О-боковым цепям ЛПС-10) [2] и МКАт7 (комплементарны белковому эпитопу наружной мембраны иерсиний) [3]. Для получения антител культуры соответствующих гибридом внутрибрюшинным способом вводили мышам линии BALB/c в дозе 2–5 млн живых клеток на одно животное, через 10 сут. содержимое брюшной полости отсасывали и центрифугировали при 15000 g в течение 30 мин. Из супернатанта асцитной жидкости с помощью двукратного высаливания сульфатом аммония (последовательно 50 и 45 %) выделяли препараты иммуноглобулинов и диализовали против ФБР.

Сенсибилизация чашек "Fluorodish" препаратами антител. Чашки "Fluorodish" (Tokio Boecke, Япония) диаметром 35 мм со стеклянным дном выдерживали в течение 1,5 ч в атмосфере чистого аргона в парах триэтиламина (Реахим, Россия) и 3-аминопропилтриэтоксисилана (Sigma Aldrich, США) в их объемном соотношении 1:3. По окончании инкубации на поверхность стекла

чашек наносили последовательно 30 мкл 0.46 %-ного раствора N-гидроксисукцинимида (Sigma Aldrich, США) в ФБР, затем 900 мкл ФБР, 0.6 мкл неразведенного N-(3-диметиламинопропил)-N'-этилкарбодиимида (Sigma Aldrich, США) и 100 мкл препаратов МКАт2 или МКАт7 (~2.7 мг/ мл). Тщательно перемешивали содержимое чашек, выдерживали их в течение 18 часов при температуре +4 °С, после чего пятикратно промывали стерильным ФБР, затем пятикратно водой “Millipore”. Чашки высушивали на воздухе и хранили в эксикаторе при температуре +(4-6) °С до проведения измерений. Далее они обозначены как «МКАт2» и «МКАт7». В качестве контрольных образцов использовали чашки, обработанные бычьим сывороточным альбумином (БСА) и APTES, – далее они обозначены «БСА» и «APTES».

Определение силы взаимодействия. В работе использован оптический лазерный пинцет «JPK Nanotracker» (JPK, Германия) на базе инвертированного микроскопа «Nikon» (x60, NA = 1.2) с длиной волны лазера 1064 нм. Микробную клетку захватывали с помощью оптической ловушки на расстоянии 2–3 мкм от поверхности дна чашки, после чего ее подводили по оси Z к микробной клетке на расстояние не более 1.0–1.5 мкм. Далее пьезостолик с чашкой перемещали к фокусу луча с захваченной микробной клеткой с шагом 20 нм до начала нарастания вольтажного сигнала, свидетельствующего о контакте двух объектов. Через 2–3 шага после первого приращения сигнала пьезостолик останавливали и через 1 сек отводили его в обратном направлении в ручном режиме с приблизительной скоростью 150 нм/с. С использованием фильтра № 2 регистрировали непрерывную хронограмму сигнала КвФД. Далее вольтажный сигнал пересчитывали в единицы силы (пН) на основе коэффициентов жесткости (~0.20 пН/ нм) и чувствительности (~6.4 В/ м), определенных в результате предварительно проведенной калибровки с использованием микросфер диаметром 1 мкм (Polyscience Beads, USA) [4].

Результаты и обсуждение. Результаты обработки экспериментальных данных количественной оценки адгезивности бактериальных клеток *Y. pseudotuberculosis 1b* и *Y. pestis EV* к разнокачественно функционализированным стек-

лянным подложкам представлены в виде средних сил отрыва (рис. 1, 2). Кроме того, оценивали также соотношение исходов отдельных подведений-отведений в виде долей опытов с необратимым связыванием, отсутствием связывания и обратимым связыванием.

Оценивая полученные данные, следует указать, что при использованных нами условиях измерений для каждой из восьми оцениваемых систем взаимодействия (два типа клеток и четыре типа функционализированных чашек) регистрировали все три варианта его исхода. Максимальные доли как обратимого, так и необратимого связывания клеток *Y. pseudotuberculosis 1b* наблюдались со стеклом, покрытым МКАт2, и они составляли менее трети общего числа подведений-отведений (опытов); для стекол, покрытых МКАт7, BSA, APTES, количество случаев отсутствия связывания превышало 80 %. Напротив, бактерии *Y. pestis EV* существенно сильнее связывались (обратимо и необратимо) со стеклом чашек «МКАт7» по сравнению с «МКАт2».

Как видно из рис. 1, среднее значение сил отрыва клеток *Y. pseudotuberculosis 1b* от стекла, функционализированного препаратом МКАт2, оказалось существенно ($p>0.99$) выше по сравнению с таковым для «МКАт7». При этом значение средней силы отрыва для системы *Y. pseudotuberculosis 1b* – «МКАт7» практически не отличалось от этого показателя для контрольных стекол, покрытых BSA и APTES.

Иная картина наблюдалась при сравнении взаимодействующих объектов на основе клеток *Y. pestis EV*: сила отрыва клеток от стеклянной подложки, функционализированной МКАт7, напротив, оказалась достоверно ($p>0.99$) выше сравнительно с чашками «МКАт2» и «BSA».

Совокупность представленных данных однозначно указывает на наличие достаточно выраженной специфической составляющей в исследуемых взаимодействиях. Так, клетки психрофильного возбудителя *Y. pseudotuberculosis 1b* при низких температурах культивирования продуцируют повышенное количество поверхностно расположенного О-антигена липополисахарида (ЛПС) [5] и поэтому достаточно прочно связываются с комплементарными антителами

МКАт2. С другой стороны, бактерии *Y. pestis EV* не способны к биосинтезу О-боковых цепей [6], которые могли бы пространственно экранировать антигенные эпитопы, один из которых, белковый эпитоп наружной мембраны, специфически распознается антителами МКАт7 [3].

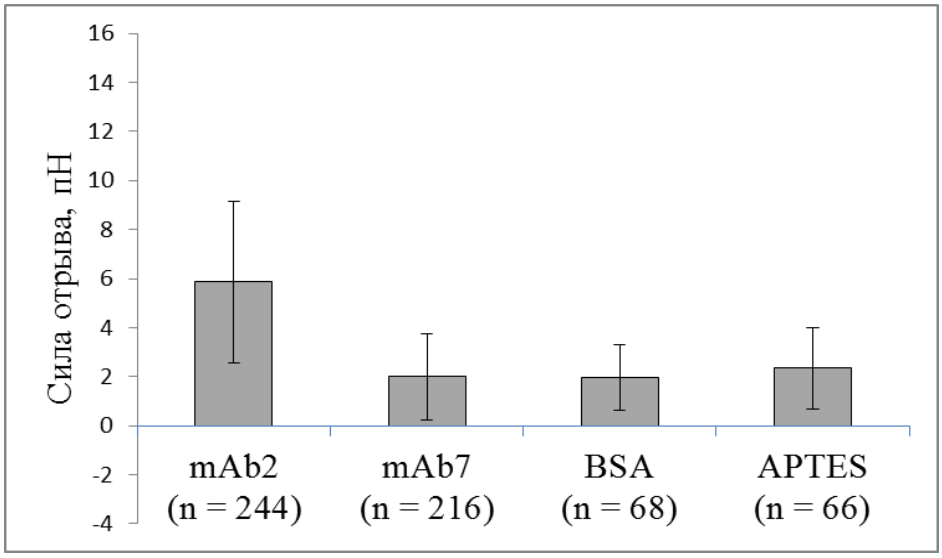


Рис. 1. Средние силы отрыва клеток бактерий *Yersinia pseudotuberculosis 1b* от поверхностей, обработанных различными сенситинами

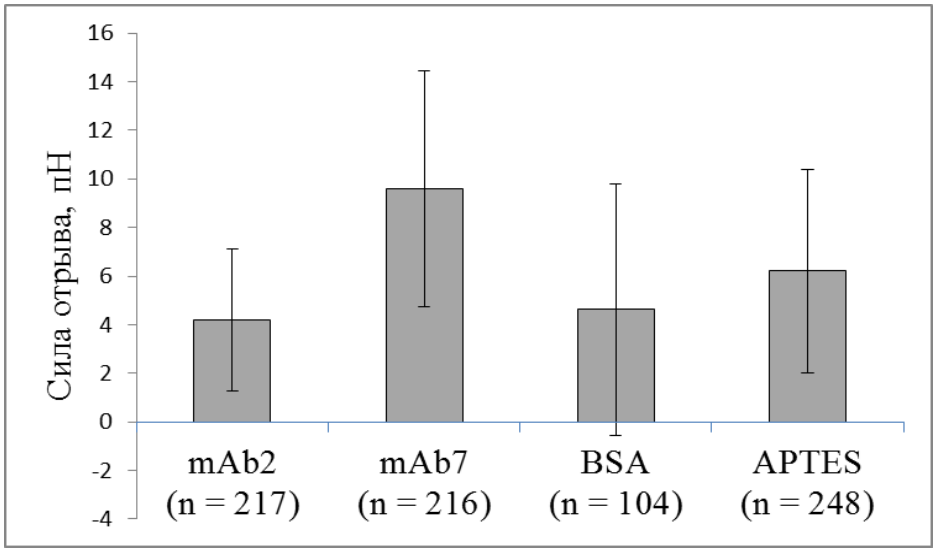


Рис. 2. Средние силы отрыва клеток бактерий *Yersinia pestis EV* от поверхностей, обработанных различными сенситинами

Обращают на себя внимание в целом более низкие значения показателей силы взаимодействия в системах с участием бактерий *Y. pseudotuberculosis 1b* по сравнению с *Y. pestis EV*. По-видимому, это связано с большими гидрофобностью и электроотрицательным зарядом клеток *Y. pestis* EV сравнительно с клетками *Y. pseudotuberculosis 1b*. И то и другое может объясняться

наличием на поверхности последних выраженного слоя гидрофильных О-боковых цепей, ослабляющего неспецифическое связывание клеток с подложкой («МКАт7, «BSA», «APTES») и снижающего интегральную силу отрывов, включающих специфическую составляющую (чашки «МКАт2»).

Выводы:

1. На подготовительном этапе были отработаны методические подходы к определению силы межмолекулярного взаимодействия в системе «бактерия – подложка» с использованием аксиальной оптической ловушки.

2. Подтверждён факт специфического распознавания антигенных эпитопов наружной мембраны исследованных бактерий (О-боковые цепи *Y. pseudotuberculosis 1b* и белковый эпитоп *Y. pestis EV*) комплементарными антителами.

3. Установлено, что суммарная сила взаимодействия клеток *Y. pestis EV* с контрольными образцами («BSA» и «APTES») выше по сравнению с клетками *Y. pseudotuberculosis 1b*. Указанное различие, по-видимому, обусловлено неспецифическим взаимодействием гидрофобных компонентов ЛПС *Y. pestis* в отсутствие их экранирования О-боковыми цепями.

Библиографический список

1. Quintard B., Petit T., Ruvoen N., Carniel E., Demeure C. E. Efficacy of an oral vaccine for veterinary use against pseudotuberculosis // Comp Immunol Microbiol Infect Dis. 2010. Vol. 33, e59 – e65. URL: https://doi.org/ 10.1016/j.cimid.2009.12.001.

2. Byvalov A. A., Dudina L. G., Litvinets S. G., Novikova O. D., Khomenko V. A., Portnyagina O. Yu., Ovodov Yu. S. Study of *Yersinia Pseudotuberculosis* Surface Antigen Epitopes Using Monoclonal Antibodies // Applied Biochemistry and Microbiology. 2014. Vol. 50. № 2. P. 179–186.

3. Byvalov A. A., Dudina L. G., Chernyad'ev A. V., Konyshev I. V., Litvinets S. G., Ovodov Yu. S. Immunochemical Activity of the Yersinia pseudotuberculosis B-Antigen // Molecular Genetics, Microbiology and Virology. 2015. Vol. 30. № 2. P. 93–100.

4. Byvalov A. A., Kononenko V. L., Konyshev I. V. Single-Cell Force Spectroscopy of Interaction of Lipopolysaccharides from Yersinia pseudotuberculosis and Yersinia pestis with J774 Macrophage Membrane Using Optical Tweezers // Biochemistry (Moscow), Supplement Series A: Membrane and Cell Biology. 2018. Vol. 12. № 2. P. 93–106. URL: https://doi.org/10.1134/S1990747818020058.

5. Skurnik M. Molecular genetics, biochemistry and biological role of *Yersinia* lipopolysaccharide // Adv Exp Med Biol. 2003. Vol. 529. P. 187–197. URL: https://doi.org/ 10.1007/0-306-48416-1_38.

6. Skurnik M., Peippo A., Ervela E. Characterization of the O-antigen gene clusters of *Yersinia pseudotuberculosis* and the cryptic O-antigen gene cluster of *Yersinia pestis* shows that the plague bacillus is most closely related to and has evolved from *Y. pseudotuberculosis* serotype O:1b // Mol. Microbiol. 2000. Vol. 37. P. 316–330. URL: https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2000.01993.x.

Влияние азотфиксаторов на прорастание семян

Е. А. Мартинсон [a], Л. В. Устюжанинова [b], Д. Р. Шишкина[c], А. С. Безруков [d]
директор Института биологии и биотехнологии [a]
студентка группы Бм-1101-01-00 [b]
студентка группы Бб-2101-01-00 [c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: martinson@vyatsu.ru [a], stud123663@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Из свободноживущих азотфиксаторов наиболее интересными и перспективными для создания биопрепаратов являются бактерии рода *Azotobacter*. Они не только фиксируют азот, но также обладают антагонистичской активностью против фитопатогенов, способностью продуцировать различные гормоны роста (IAA (indol-3-acetic acid), гиббереллины, цитокинины), витамины, сидерофоры, поэтому они благоприятно влияют на растения. Цель данной работы – исследовать влияние выделенных культур азотфиксаторов на прорастание семян сельскохозяйственных растений. Были рассмотрены три вида семян: капусты, тыквы и моркови. По совокупности нескольких факторов наиболее удобными в использовании оказались семена капусты белокочанной. Также были проведены три варианта постановки эксперимента: первый – влияние культуральной жидкости после ферментации азотфиксаторов на среде Эшби без мела; второй – влияние культуральной жидкости после ферментации азотфиксаторов на среде Эшби с мелом; третий – влияние азотфиксаторов, смытых физиологическим раствором с поверхности агаризованной среды Эшби. Так как оказалось, что сама среда Эшби хорошо стимулирует прорастание семян капусты, было решено использовать третий вариант постановки исследований. Было исследовано 14 изолятов, 5 из них – в двух повторностях. Можно отметить положительное влияние на прорастание семян капусты некоторых изолятов азотфиксаторов, например цикорий 2.2. Кроме прорастания семян, во многих случаях стимулировался и рост плесени, что может негативно сказываться на дальнейшем развитии ростков. Поэтому необходимо найти изоляты с высокой антагонистической активностью или продумать методы обработки семян, способствующие уничтожению плесени.

Ключевые слова: свободноживущие азотфиксаторы, бактерии рода *Azotobacter*, прорастание семян.

Введение. В последнее время увеличился интерес к биопрепаратам для улучшения состояния почвы, в том числе и к препаратам на основе азотфиксаторов. Из свободноживущих азотфиксаторов наиболее интересными и перспективными для создания биопрепаратов, направленных на увеличение плодородия почвы, являются бактерии рода *Azotobacter*. Они не только фиксируют азот, но также обладают антагонистичской активностью против фитопатогенов, выделяя ряд антимикробных веществ, способных продуцировать различные гормоны роста (IAA (indol-3-acetic acid), гиббереллины, цитокинины), витамины, сидерофоры. Применение различных препаратов азотфиксаторов эффективно повышает продуктивность растений [2, 3].

Цель данной работы – исследовать влияние выделенных культур азотфиксаторов на прорастание семян сельскохозяйственных растений.

Задачи исследования:

– выбрать семена сельскохозяйственных растений, удобных для эксперимента;

– опробовать три варианта постановки эксперимента по влиянию азотфиксаторов на прорастание семян;

– оценить процент проросших семян в каждом случае и качество ростков.

Методы исследования. Объекты исследования – изоляты азотфиксаторов, выделенных из разных образцов почвы, обозначенных растением-индикатором, рядом с которым образец почвы и отбирали: клевер луговой, цикорий обыкновенный, рябина обыкновенная, вишня (для клевера и рябины почва была отобрана из двух разных мест Кировской области) и грядки из-под моркови.

Наращивание биомассы культур азотфиксаторов осуществляли на среде Эшби, которую готовили по прописи [1] в трех вариантах: жидкая без мела, жидкая с мелом и агаризованная с мелом. Культивирование на средах проводили при 25 °С в течение 5–10 суток.

Культуральную жидкость, полученную после ферментации азотфиксаторов на жидких средах, асептически разливали в стерильные чашки по 15 мл. В качестве двух контролей использовали стерильную среду Эшби аналогичного состава – с мелом или без мела (15 мл) – и стерильный физиологический раствор хлорида натрия (15 мл). В каждую опытную чашку Петри (с культуральной жидкостью) и в обе контрольные чашки стерильным пинцетом раскладывали семена и оставляли в темном месте при комнатной температуре, осматривая каждый 1–2 дня, записывая количество проросших семян и отмечая размер/качество ростков.

С агаризованной среды в чашках Петри делали смыв физиологическим раствором (по 15 мл на чашку Петри) с помощью шпателя и переносили суспензию пипеткой в новую стерильную чашку Петри. В качестве питательного субстрата бактериям также вносили по 2 мл питательной среды Эшби. В качестве двух контролей использовали стерильный физиологический раствор хлорида натрия (15 мл) с добавлением 2 мл стерильной среды Эшби и только сте-

рильный физиологический раствор хлорида натрия (17 мл). В каждую опытную чашку Петри (с суспензией после смыва) и в обе контрольные чашки стерильным пинцетом раскладывали семена и оставляли в темном месте при комнатной температуре, осматривая каждый 1–2 дня, записывая количество проросших семян и отмечая размер/качество ростков.

Результаты исследований, их обсуждение. В первых экспериментах были использованы семена трех разных культур: тыквы, моркови и капусты. Удобнее всего оказалось работать с капустой. Основные достоинства и недостатки работы с семенами данных трех культур представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные достоинства и недостатки работы с семенами тыквы, моркови и белокочанной капусты

Сельскохозяйственная культура	Достоинства в работе	Недостатки в работе
Тыква	Удобно раскладывать и учитывать результаты	Долго прорастает, мало семян в пакетике; мало семян в выборке (в чашке Петри) – чтобы они не мешали друг другу
Морковь	Много семян в пакетике	Неудобно раскладывать, неудобно высматривать ростки и считать проросшие семена, относительно долго прорастает
Капуста	Довольно удобно раскладывать (если приноровиться) и учитывать результаты; много семян в пакетике, быстро прорастает	Не всем было удобно раскладывать семена

Закладка семян: капуста и морковь – по 25 шт. в каждую чашку Петри; тыква – по 5 семян в каждую чашку Петри.

Результаты влияния первых выбранных культур азотфиксаторов на прорастание семян капусты в трех разных вариантах постановки эксперимента представлены в табл. 2–5.

Таблица 2

Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании для ферментации жидкой среды Эшби без мела

№	Описание пробы/ обозначение изолята	Количество проросших семян за время прорастания, суток	
		2	4
$К_{ф.р.}$	Контроль с физ. раствором	5	16
$К_{Эшби}$	Контроль со средой Эшби без мела	18	24
1	Морковь 3.1.1	15	17
2	Клевер (А) 1.1	17	17
3	Клевер Ди 11	16	18
4	Рябина Я 10	19	20
5	Рябина Ди 7.2	15	20
6	Цикорий 3.1	17	19
7	Вишня 3.1	22	22

Таблица 3

Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании для ферментации жидкой среды Эшби с мелом

№	Описание пробы/ обозначение изолята	Количество проросших семян за время прорастания, суток		
		1	3	5
$К_{ф.р.}$	Контроль с физ. раствором	1	16	16
$К_{Эшби}$	Контроль со средой Эшби с мелом	11	22	22
1	Морковь 3.1.1	6	18	18
2	Клевер (А) 1.1	6	20	21
3	Клевер Ди 11	3	14	19
4	Рябина Я 10	5	20	20
5	Рябина Ди 7.2	4	19	22
6	Цикорий 3.1	6	19	19
7	Вишня 3.1	2	15	16

Сама среда Эшби и с добавлением мела, и без мела стимулирует прорастание семян (по сравнению с физ. раствором), поэтому в данном случае нельзя судить о положительном влиянии азотфиксаторов на прорастание семян, потому что разница в проросших семенах на вторые-третьи сутки и далее незначительна (табл. 2–3).

В контрольной чашке на жидкой питательной среде с мелом ростки капусты были самыми большими и здоровыми. На их фоне кажется, что большая часть взятых для исследования азотфиксаторов подавляет рост семян капусты (см. рис. 1).

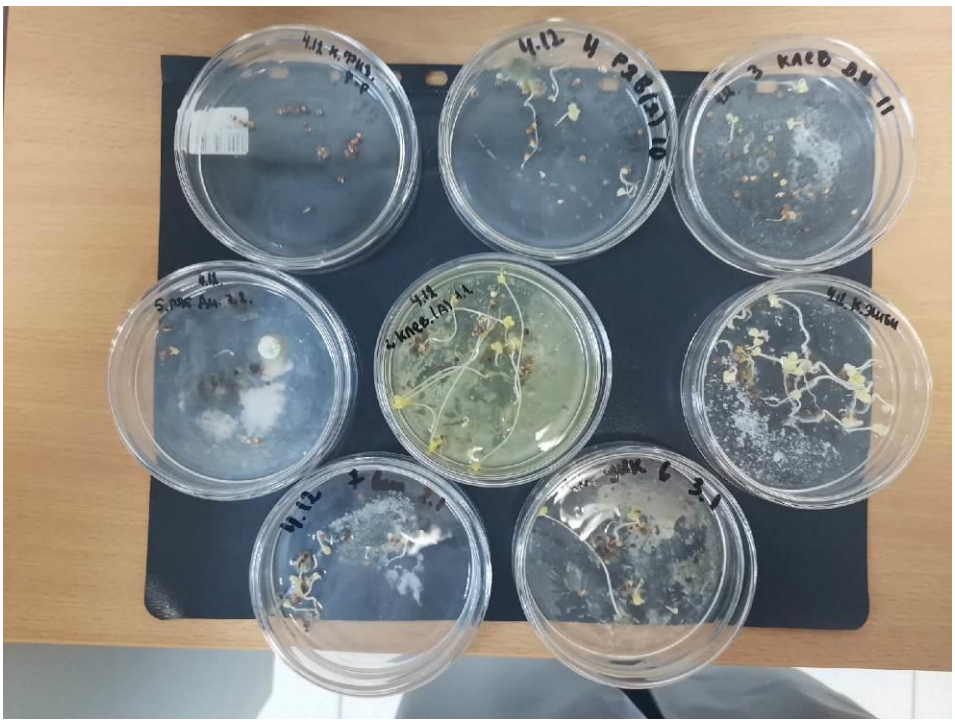


Рис. 1. Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании для ферментации жидкой среды Эшби с мелом

Таблица 4

Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании смыва с плотной среды Эшби без мела

№	Описание пробы/ обозначение изолята	Количество проросших семян за время прорастания, суток		
		1	2	3
$К_{ф.р.}$	Контроль с физ. раствором	0	4	8
$К_{Эшби}$	Контроль (15 мл физ. р-ра и 2 мл среды Эшби)	1	5	6
1	Морковь 3.1.1	1	19	22
2	Клевер (А) 1.1	-	-	-
3	Клевер Ди 11	3	15	16
4	Рябина Я 10	4	12	13
5	Рябина Ди 7.2	0	15	19
6	Цикорий 3.1	-	-	-
7	Вишня 3.1	5	11	11

После 4–6 суток проращивания среда и/или смывная жидкость во многих чашках Петри с семенами зарастала плесенью в разной степени. Это ограничивало время наблюдения за семенами, так как из-за плесени становилось невозможно рассмотреть проросшие семена капусты.

Таблица 5

Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании смыва с плотной среды Эшби с мелом

№	Описание пробы/ обозначение изолята	Количество проросших семян за время прорастания, суток		
		2	3	4
$К_{ф.р.}$	Контроль с физ. раствором	4	9	9
$К_{Эшби}$	Контроль (15 мл физ. р-ра и 2 мл среды Эшби)	6	12	14
1	Морковь 3.1.1	0	4	8
2	Клевер (А) 1.1	4	6	7
3	Клевер Ди 11	10	11	15
4	Рябина Я 10	10	14	15
5	Рябина Ди 7.2	9	15	15
6	Цикорий 3.1	2	9	11
7	Вишня 3.1	10	12	16
8	Морковь 4.1.1	8	13	13
9	Клевер (А) 6.1.2	5	7	11
10	Клевер Ди 9.1	6	12	15
11	Рябина Я 9.2	11	14	14
12	Рябина Ди 8	10	12	14
13	Цикорий 2.2	10	15	17
14	Вишня 4.1.2	6	14	17

Если сравнивать по качеству ростков, то самые большие ростки наблюдались в пробах № 3, 4, 11 и 13 (рис. 2). Значит, данные культуры положительно влияют на прорастание семян капусты, на рост и развитие ростка.

Для накопления материала под статистическую обработку необходимо еще хотя бы 2–3 раза повторить эксперимент с использованием смыва, чтобы выбрать для дальнейшей работы самый активный изолят, продуцирующий ценные метаболиты, полезные для растений.

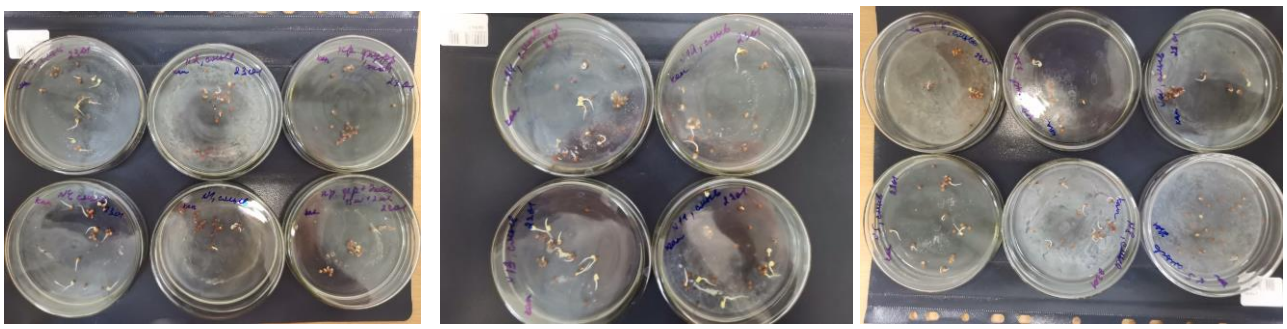


Рис. 2. Влияние азотфиксаторов на прорастание семян белокочанной капусты при использовании смыва культур с плотной среды Эшби с мелом

Выводы. Были рассмотрены три вида семян сельскохозяйственных растений: капусты, тыквы и моркови. По совокупности нескольких факторов наиболее удобными в использовании оказались семена капусты белокочанной. Также были проведены три варианта постановки эксперимента: первый – влияние культуральной жидкости после ферментации азотфиксаторов на среде Эшби без мела; второй – влияние культуральной жидкости после ферментации азотфиксаторов на среде Эшби с мелом; третий – влияние азотфиксаторов, смытых физиологическим раствором с поверхности агаризованной среды Эшби. Так как оказалось, что сама среда Эшби (как с мелом, так и без мела) хорошо стимулирует прорастание семян капусты, было решено использовать третий вариант постановки исследований. Было исследовано 14 изолятов, 7 из них – в двух повторностях. Можно отметить заметное положительное влияние на прорастание семян капусты некоторых изолятов азотфиксаторов, например цикорий 2.2, клевер Ди 11 и рябина Я 10. Кроме прорастания семян, во многих случаях стимулировался и рост плесени, что может негативно сказываться на дальнейшем развитии ростков. Поэтому необходимо найти изоляты с высокой антагонистической активностью или продумать методы обработки семян, способствующие уничтожению плесени.

Библиографический список

1. Питательные среды для культивирования. Республиканская коллекция микроорганизмов. URL: http://www.rcm.kz/ru/sw (дата обращения 05.02.2021).

2. Сытников Д. М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // БІОТЕХНОЛОГІЯ. 2012. Т. 4. № 4. С. 34–45.

3. Pandey A., Kumar S. J. (1989a). Почвенные полезные бактерии и их роль в стимулировании роста растений. Sci Indian Res 48: 134–144.

Выделение азотфиксаторов из почв Кировской области

Е. А. Мартинсон [a], Л. В. Устюжанинова [b], Д. Р. Шишкина [c], А. С. Безруков [d]
директор Института биологии и биотехнологии [a]
студентка группы Бм-1101-01-00 [b]
студентка группы Бб-2101-01-00 [c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: martinson@vyatsu.ru [a], stud123663@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Из свободноживущих азотфиксаторов наиболее интересными и перспективными в использовании для создания биопрепаратов являются бактерии рода *Azotobacter*. Они не только фиксируют азот, но также обладают антагонистичской активностью против фитопатогенов, способностью продуцировать различные гормоны роста (IAA (indol-3-acetic acid), гиббереллины, цитокинины), витамины, сидерофоры. Азотобактерии лучше всего растут в нейтральной или щелочной почве (pH 6,5–7,5) и не присутствуют в кислой почве (при pH ниже 6). Поэтому было сделано предположение, что можно использовать растения, предпочитающие нейтральные значения pH почвы, как индикаторы pH почвы для более продуктивного выделения бактерий рода *Azotobacter*. Целью работы было выделить бактерии рода *Azotobacter* и изучить, насколько продуктивным будет выделение азотобактерий при использовании растений-индикаторов pH почвы. Выделение азотфиксаторов из почвы проходило на безазотистой среде Эшби, на которую по трафарету наносили комочки увлажненной почвы. pH почвы и количество карбонатов определяли по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26424-85 соответственно. Следует отметить, что не наблюдалось прямой корреляции между значениями pH почвы и встречаемостью азотобактерий. Процент обрастания комочков почвы составил от 49,0 до 85,6 % по сравнению с 31,6 % для контрольного образца с грядки.

Ключевые слова: свободноживущие азотфиксаторы, азотобактерии, род *Azotobacter*, растения-индикаторы.

Введение. Из свободноживущих азотфиксаторов наиболее интересными и перспективными в использовании для создания биопрепаратов для увеличения плодородия почвы являются бактерии рода *Azotobacter*. Они не только фиксируют азот, но также обладают антагонистической активностью против фитопатогенов, выделяя ряд бактерицидных и фунгицидных веществ, способностью продуцировать различные гормоны роста (IAA (indol-3-acetic acid), гиббереллины, цитокинины), витамины, сидерофоры. Азотобактерии лучше всего растут в нейтральной или щелочной почве (pH 6,5–7,5) и не присутствуют в кислой почве (при pH ниже 6) [8, 9].

Поэтому для более эффективного выделения бактерий рода *Azotobacter* можно использовать растения, предпочитающие нейтральные значения pH почвы, как индикаторы pH почвы. Почвы с нейтральным значением pH предпочитают разные растения, например: коротконожка лесная, волчье лыко, чистец

лесной, вороний глаз, сныть обыкновенная, лисохвост луговой, клевер луговой, аистник цикутный, цикорий обыкновенный, мятлик луговой и другие [1, 2, 5].

Целью работы было выделить бактерии рода *Azotobacter* и изучить, насколько продуктивным будет этот процесс при использовании растений как индикаторов pH почвы.

Задачи исследования:

– выбрать растения-индикаторы pH почвы и отобрать образцы почвы в разных местах около выбранных растений;

– получить культуры азотфиксаторов на среде Эшби, выделить из них чистые культуры;

– определить pH почвы и количество карбонатов в почве;

– посчитать процент обрастания комочков почвы и оценить эффективность выделения азотфиксаторов при выбранном подходе.

Методы исследования. В качестве растений-индикаторов были выбраны клевер луговой, цикорий обыкновенный, рябина обыкновенная, вишня (для клевера и рябины почва была отобрана из двух разных мест Кировской области). Сравнение проводилось с почвой, взятой с грядки из-под моркови в сельской местности.

Получение накопительных и чистых культур [7] осуществляли на среде Эшби, приготавливаемой по прописи [6]. Увлажненные комочки почвы по трафарету раскладывали на поверхности питательной среды. Культивирование проводили при 25–30 °С в течение 5–10 суток.

Выделенные культуры окрашивали по Граму [7].

pH почвы и количество карбонатов определяли по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26424-85 соответственно [3, 4].

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения pH образцов почвы и содержания карбонатов в них, а также процент обрастания комочков почвы представлены в таблице. Как видно по представленным данным, прямой корреляции между значениями pH почвы и встречаемостью азотобактерий не наблюдается. Процент обрастания составил от 49,0 до 85,6 % по сравне-

нию с 31,6 % для контрольного образца с грядки. В целом удалось получить достаточно много изолятов азотфиксаторов с различной морфологией колоний. Таким образом, для более успешного выделения почвенных микроорганизмов можно использовать растения как индикаторы определенных условий в почве.

Процент обрастания комочков почвы, pH почвы и содержание в ней карбонатов

Растение-индикатор	Контроль (грядка)	Клевер 1	Клевер 2	Рябина 1	Рябина 2	Цикорий	Вишня
Количество чашек Петри с почвой	4	3	3	5	3	3	4
Средний процент обрастания, %	31,6	75,0	49,0	85,6	48,7	51,0	66,8
pH почвы	6,6	7,4	6,7	6,3	7,5	7,6	7,0
Содержание карбонатов в почве, % масс.	0,037	0,058	0,031	0,036	0,027	0,066	0,024

Планируется исследовать часть выделенных изолятов дальше: изучить их влияние на прорастание семян, оценить их скорость роста и т. д.

Выводы. На основании научной информации были выбраны растения-индикаторы pH почвы: клевер луговой, цикорий обыкновенный, рябина обыкновенная, вишня – и отобраны пробы из почвы рядом с выбранными растениями. Сравнение проводилось с почвой, взятой с грядки из-под моркови в сельской местности. На безазотистой среде получили сначала накопительные, а потом чистые культуры азотфиксаторов. Определили pH почвы и количество карбонатов в ней, посчитали процент обрастания комочков почвы. Прямой корреляции между значениями pH почвы и встречаемостью азотобактерий не наблюдалось. Процент обрастания составил от 49,0 до 85,6 % по сравнению с 31,6 % для контрольного образца с грядки. В целом удалось получить достаточно много изолятов азотфиксаторов с различной морфологией колоний. Таким образом, для более успешного выделения почвенных микроорганизмов можно использовать растения как индикаторы определенных условий в почве.

Библиографический список

1. Березина Н. А., Афанасьева Н. Б. Экология растений. М. : Издательский центр Академия, 2009. 313 с.

2. Горышина Т. К. Экология растений. М. : Высшая школа,1979. 173 с.

3. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки: принят 08.02.1985; действ. с 01.01.1986. М. : Стандартинформ, 2011. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200023484 (дата обращения 05.02.2021).

4. ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке: принят 08.02.1985; действ. с 01.01.1986. М. : Изд-во стандартов, 1985. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-26424-85 (дата обращения 05.02.2021).

5. Культиасов И. М. Экология растений. М. : Изд-во Московского Университета, 1982. 246 с.

6. Питательные среды для культивирования. Республиканская коллекция микроорганизмов. URL: http://www.rcm.kz/ru/sw (дата обращения 05.02.2021).

7. Руководство к практическим занятиям по микробиологии : учеб. пособие / под ред. И. С. Егорова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

8. Сытников Д. М. Биотехнология микрооргвнизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // БІОТЕХНОЛОГІЯ. 2012. Т. 4. № 4. С. 34–45.

9. Pandey A., Kumar S. J. (1989a). Почвенные полезные бактерии и их роль в стимулировании роста растений. Sci Indian Res 48: 134–144.

Особенности естественного возобновления *Pinus sylvestris* L. в различных сосняках Медведского бора (Кировская область)

О. Н. Меркучева [a], С. В. Шабалкина [b]
студентка группы Бб-3102 [a]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и методики обучения биологии [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud106683@vyatsu.ru [a], usr11855@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Особо охраняемая природная территория «Медведский бор» создана для сохранения уникального соснового леса с остепненными участками. В настоящее время наблюдается естественная трансформация сосняков, восстановление зонального типа растительности и вытеснение степного элемента флоры. В связи с этим по материалам таксационных описаний определены типы сосновых лесов с наличием возобновления *Pinus sylvestris* L. на территории Медведского бора, проанализированы состав и структура подроста. Выявлено семь типов сосняков с наличием подроста: брусничный, майниково-брусничный, лишайниковый, черничный, майниково-черничный, разнотравный, сфагновый. Установлено, что *P. sylvestris* возобновляется слабо, указывается лишь в 112 выделах (18,2 %) из 614, а наиболее ценный чистый сосновый подрост – в 75 выделах (12,2 %). Для сохранения соснового бора и видового биоразнообразия необходимо укреплять и поддерживать позиции основной лесообразующей породы, содействуя также ее естественному возобновлению.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., подрост, естественное возобновление, тип сообщества.

Введение. Памятник природы регионального значения «Медведский бор» расположен на юге Кировской области, на границе подзон южной тайги и хвойно-широколиственных лесов, создан для сохранения уникального соснового бора с остепненными участками. На его территории представлены разнообразные сосновые леса, приуроченные к определенным формам рельефа [3, 4]. На современном этапе наблюдается естественная трансформация сосновых сообществ в еловые и мелколиственно-еловые ввиду того, что семенное возобновление сосны подавлено [1]. Процесс восстановления зональной растительности отражается и на других компонентах насаждений, в том числе на живом напочвенном покрове, из которого постепенно вытесняются степные элементы в «окна», на обочины дорог и т. д., а бореальные виды усиливают свое влияние [5–7]. Роль любого эдификатора в природе велика, также огромна и роль *Pinus sylvestris* L. на территории Медведского бора, где именно она создает условия для совместного существования различных групп растений – боровых, бореальных, неморальных и степных. Сохранить биоразнообразие этой особо охраняемой природной территории (ООПТ) можно, лишь укрепляя и поддерживая

позиции соснового древостоя, что выражается прежде всего в содействии его естественному возобновлению [2, 8]. Целью работы стало выявление типов сосняков с наиболее успешным возобновлением *P. sylvestris*.

Методы исследования. Результаты исследований получены путем анализа таксационных описаний на 1 января 2016 года, выполненных предприятием ООО «Лесной проект» на арендном участке ООО «Нолинская лесопромышленная компания» в ООПТ «Медведский бор». Изучаемым объектом стали чистые сосняки разных типов с однопородным подростом из *P. sylvestris*.

Результаты исследований, их обсуждение. Чистые сосновые сообщества в Медведском бору встречаются в 50 кварталах из 55 (90,9 %), в 614 выделах из 2059 (29,8 %), занимая площадь 2419,6 га. В пределах арендной территории выявлено 11 типов сосняков: брусничный, майниково-брусничный, лишайниковый, черничный, майниково-черничный, разнотравный, сфагновый, осоково-сфагновый, хвощево-долгомошный, кисличный и сложный липовый. Поскольку подрост из *P. sylvestris* отмечен только в первых семи типах сообществ, остановимся на их характеристике.

Первое место по встречаемости принадлежит соснякам брусничным, расположенным в 253 выделах (41,2 %) на площади 1063,2 га. Сосняки брусничные одновозрастные представлены в 163 выделах (64,4 %). Их возраст колеблется от 7 до 145 лет, большая часть таких сообществ имеет возраст *P. sylvestris* от 50 лет. Сосняки брусничные разновозрастные встречены в 90 выделах (35,6 %), при этом формулу 8С2С имеют насаждения 32 выделов (35,6 %), 6С4С – 19 выделов (21,1 %), 7С3С – 18 выделов (20 %), 9С1С – 15 выделов (16,7 %), 5С5С – 4 выдела (4,4 %), 4С4С2С – 2 выдела (2,2 %). Возраст для 9С изменяется от 51 до 120 лет, 1С – от 70 до 140 лет, для 5С – от 53 до 145 лет, для 6С – от 65 до 140 лет, 4С – от 50 до 120 лет, для 7С – от 75 до 140 лет, 3С – от 60 до 125 лет, для 8С – от 50 до 145 лет, 2С – от 60 до 125 лет. Высота древостоя сосняков брусничных широко варьирует: от 1 до 27 м. Диаметр стволов особей *P. sylvestris* находится в диапазоне от 6 до 44 см. Полнота сосняков брусничных изменяется от 0,3 до 1, чаще встречаются среднеполнотные (68 %).

Сосняки лишайниковые расположены в 185 выделах (30,1 %) на площади 567,1 га. Одновозрастные насаждения среди них представлены на территории 89 выделов (48,1 %). Их возраст варьирует от 15 до 145 лет, большинство сообществ имеет возраст до 100 лет. Разновозрастные сосняки лишайниковые встречены в 96 выделах (51,9 %), из которых 34 выдела (35,4 %) занимают сосняки с формулой 8С2С, 30 выделов (31,3 %) – с формулой 7С3С, 18 выделов (18,8 %) – 6С4С, 9 выделов (9,4 %) – 9С1С, 2 выдела (2,1 %) – 5С5С, по одному выделу – 4С3С3С, 4С4С2С, 7С2С1С. Возраст 8С находится в пределах от 25 до 125 лет, 2С – от 35 до 130 лет, 7С – от 38 до 120 лет, 3С – от 40 до 120 лет, 6С – от 37 до 135 лет, 4С – от 20 до 125 лет, 9С – от 50 до 75 лет, 1С – от 75 до 125 лет, 5С – от 20 до 51 лет. Высота деревьев *P. sylvestris* в сосняках лишайниковых изменяется от 4 до 26 м, диаметр – от 6 до 40 см. Полнота варьирует в диапазоне от 0,4 до 1, также преобладают среднеполнотные насаждения (72,4 %).

Сосняки майниково-брусничные расположены в 155 выделах (25,2 %) на площади 707,7 га. Одновозрастные сообщества этого типа отмечены в 108 выделах (69,7 %), возраст *P. sylvestris* в них изменяется от 7 до 145 лет. Разновозрастные сосняки майниково-брусничные выявлены в 47 выделах (30,3 %), при этом формулу 8С2С имеют сообщества 25 выделов (53,2 %), 7С3С – 9 выделов (19,1 %), 6С4С – 6 выделов (12,8 %), 9С1С – 5 выделов (10,6 %), 5С5С и 8С1С1С – по одному выделу каждый (по 2,1 %). Возраст для 8С варьирует от 60 до 145 лет, 2С – от 60 до 100 лет, 7С – от 43 до 135 лет, 3С – от 80 до 150 лет, 9С – от 43 до 125 лет, 1С – от 75 до 150 лет, 6С – от 70 до 120 лет, 4С – от 70 до 130 лет и для 5С равен 50 и 120 лет. Высота насаждений находится в диапазоне от 1 до 28 м. Диаметр стволов особей *P. sylvestris* в сосняках майниково-брусничных меняется от 12 до 48 см. Полнота варьирует от 0,3 до 1: больший процент принадлежит среднеполнотным сообществам (56,8 %), наименьший – высокополнотным (17,4 %).

Сосняки майниково-черничные имеют гораздо меньшую площадь, составляющую 52,8 га на 8 выделах (1,3 %). Большая часть этого типа сообществ является одновозрастной (75 %). Возраст *P. sylvestris* в них изменяется от 42 до

140 лет, высота – от 16 до 26 м, диаметр – от 14 до 44 см. Разновозрастные сосняки майниково-черничные с формулой 7С3С встречаются на территории двух выделов (25 %). Возраст 7С равен 130 лет, высота – 25 м, диаметр – 44 см; возраст 3С – 70 лет, высота – 21 м, диаметр – 26 см. Полнота этих сообществ колеблется от 0,4 до 1, большая доля принадлежит среднеполнотным (75 %).

Сосняки черничные отмечены в 5 выделах (0,8 %) на площади 5 га. Это сообщества возрастом от 45 до 150 лет, высота особей *P. sylvestris* в них достигает от 15 до 28 м, диаметр ствола – от 18 до 48 см. Полнота насаждений изменяется от 0,3 до 0,7, преобладают при этом низкополнотные (60 %).

Сосняки сфагновые занимают два выдела (0,3 %) на площади 4,2 га, являются одновозрастными. Один сосняк высокополнотный, возрастом 55 лет, высота деревьев *P. sylvestris* в котором 10 м, диаметр ствола – 12 см. Второе насаждение среднеполнотное со следующими параметрами древостоя: возраст – 65 лет, высота – 13 м, диаметр ствола – 14 см.

Сосняки разнотравные также одновозрастные, расположены в двух выделах (0,3 %) на площади 2,4 га. Первое сообщество низкополнотное, древостой которого имеет возраст 150 лет, высоту – 26 м, диаметр – 56 см. Второе насаждение среднеполнотное с возрастом *P. sylvestris* 110 лет, высотой 23 м, диаметром ствола 32 см.

Естественное возобновление *P. sylvestris* наблюдается всего в 112 выделах из 614 (18,2 %), причем чистый сосновый подрост, являющийся наиболее ценным, отмечен в 75 выделах из 112 (67 %), который в дальнейшем и будет подлежать подробному анализу (см. таблицу).

Подрост в сосняках майниково-брусничных наиболее разнообразен по составу пород (см. таблицу), в котором в различных соотношениях с *P. sylvestris* встречаются виды рода *Picea* A. Dietr. – 52 выдела из 155 (33,5 %). Чистый сосновый подрост отмечен лишь в 17 выделах из 52 (32,7 %). В 35,3 % случаев (6 выделов) он расположен в одновозрастных сосновых сообществах и в 64,7 % – в разновозрастных. В целом чистый сосновый подрост произрастает в низкополнотных (9 выделов, или 52,9 %) и среднеполнотных (8 выделов, или

47,1 %) сосняках майниково-брусничных. Он имеет возраст от 10 до 35 лет, его высота изменяется от 1 до 6 м. Численность чистого соснового подроста колеблется от 0,5 до 6 тыс. на га, доминирует подрост средней густоты.

Состав подроста в зависимости от типа сообществ

Тип сообщества	Количество выделов (общее / с подростом)	Состав подроста
Сосняк майниково-брусничный	155 / 52	10C, 9C1E, 9E1C, 5C5E, 7E3C, 8C2E, 8E2C, 6E4C, 6C4E, 7C3E
Сосняк брусничный	253 / 44	10C, 9C1E
Сосняк лишайниковый	185 / 9	10C
Сосняк майниково-черничный	8 / 2	10C
Сосняк черничный	5 / 2	10C
Сосняк разнотравный	2 / 2	10C, 9C1E
Сосняк сфагновый	2 / 1	10C
Сосняк осоково-сфагновый	1 / 0	Отсутствует
Сосняк хвощево-долгомошный	1 / 0	Отсутствует
Сосняк кисличный	1 / 0	Отсутствует
Сосняк липовый	1 / 0	Отсутствует

В сосняках брусничных подрост с формулой 10C встречен в 43 выделах (97,7 %) из 44, что составляет всего 17,4 % от 253 выделов с сосняками этого типа. Он произрастает преимущественно в одновозрастных (70,5 %) и среднеполнотных насаждениях (61,4 %). Возраст особей *P. sylvestris* варьирует от 5 до 40 лет, причем преобладают 15-летние (25,6 %) и 20-летние (18,6 %) растения. Высота подроста варьирует от 0,5 до 7 м, чаще встречаются трех- и шестиметровые (каждый представлен в 9 выделах – по 20,9 % у каждого). Численность подроста меняется от 0,5 до 5 тыс. шт. на га, преобладает подрост густотой 2 тыс. шт. на га (11 выделов – 25,6 %) и 3 тыс. шт. на га (9 выделов – 20,9 %).

В сосняках лишайниковых, как одновозрастных (55,6 %), так и разновозрастных (44,4 %), чистый сосновый подрост встречается в 9 выделах из 185 (4,9 %). В большинстве случаев (55,6 %) он произрастает в низкополнотных насаждениях. Возраст растений колеблется от 15 до 35 лет, при этом доминируют 35-летние (44,4 %). Высота подроста варьирует от 2 до 6 м, чаще встречается пятиметровый (33,3 %). Численность его изменяется от 0,5 до 3 тыс. шт. на га.

В сосняках черничных естественное возобновление *P. sylvestris* отмечено в 2 выделах из 5 (40 %), они являются одновозрастными и низкополнотными. Параметры подроста следующие: возраст – 20 лет, высота – 3 м, численность – 0,5 тыс. шт. на га.

В типе сообществ сосняки майниково-черничные (разновозрастные, среднеполнотные) чистый сосновый подрост встречается в 2 выделах из 8 (25 %). Параметры подроста: возраст – 30 лет, высота – 6 м, численность – 2 тыс. шт. на га. В сосняках разнотравных и сфагновых подрост из *P. sylvestris* возрастом 30 и 40 лет соответственно, крупный (6 м), редкий (0,5 и 1 тыс. шт. на га соответственно).

Выводы. Анализ таксационных описаний продемонстрировал, что естественное возобновление *P. sylvestris* на территории Медведского бора затруднено и происходит лишь в $^{1}/_{5}$ выделов с чистыми сосняками, среди которых преобладают низко- и среднеполнотные. Выявлено, что оно затруднено в сосняках лишайниковых, отсутствует в сосняках осоково-сфагновых, хвощево-долгомошных, кисличных и сложных липовых. Наряду с наиболее ценным чистым сосновым подростом немалую долю занимает ель в его составе в сосняках майниково-брусничных. Чистый сосновый подрост преимущественно крупный, редкий, значительно реже средней густоты. Все вышесказанное свидетельствует о том, что естественное возобновление *P. sylvestris* происходит слабо и требует срочного содействия путем создания оптимальных условий для прорастания семян и развития молодых растений.

Библиографический список

1. Динамика биоразнообразия лесов на охраняемых территориях (на примере памятника природы «Медведский бор») / О. Н. Пересторонина, Н. П. Савиных, А. Г. Гальвас, А. Е. Зыкин // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Киров : ООО «Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2017. С. 81–87.

2. Естественное возобновление сосны обыкновенной в ООПТ «Медведский бор» / А. Е. Зыкин, Е. В. Князев, О. Н. Пересторонина, Н. П. Савиных // Экология родного края: проблемы и пути их решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф.-выставки экологических проектов с междунар. участием. Киров : ООО «Веси», 2013. С. 39–41.

3. Жемчужина Вятского края – Медведский бор / Н. П. Савиных, Т. М. Киселева, О. Н. Пересторонина и др. // Медведский бор. Киров : Триада плюс, 2006. С. 81–95.

4. Киселёва Т. М., Пересторонина О. Н., Савиных Н. П. Роль ООПТ «Медведский бор» в сохранении α, β, γ разнообразия на территории Кировской области // Роль заповедни-

ков лесной зоны в сохранении и изучении биологического разнообразия Европейской части России : материалы науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Окского государственного природного биосферного заповедника. Сер. «Труды Окского государственного природного биосферного заповедника». 2005. С. 403–412.

5. Основы устойчивого сохранения остепненных боров в пределах особо охраняемых природных территорий / Н. П. Савиных, О. Н. Пересторонина, А. И. Видякин, А. Г. Гальвас // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. 2014. № 7. С. 62–65.

6. Пересторонина О. Н., Шабалкина С. В., Савиных Н. П. Эколого-ценотическая характеристика флоры сосняков памятника природы «Медведский бор» (Кировская область) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по материалам XVIII междунар. науч.-практ. конф. 2019. Т. 18. № 1. С. 354–359.

7. Савиных Н. П., Пересторонина О. Н., Киселева Т. М. Состояние и возобновление сосновых лесов ООПТ «Медведский бор» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1359–1362.

8. Савиных Н. П., Пересторонина О. Н., Шабалкина С. В. Системный подход в поддержании сосновых лесов особо охраняемых природных территорий // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1559–1562.

Получение штамма-продуцента рекомбинантного основного фактора роста фибробластов bFGF2

Д. А. Наговицын [a], А. В. Мистерова [b], С. О. Рогожкин [c], А. С. Герасимов [d]
магистрант группы БТм-2101-02-00 [a]
аспирант 1 курса [b]
студент группы БТм-1101-02-00 [c]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: stud114067@vyatsu.ru [a], stud127576@vyatsu.ru [b], stud123677@vyatsu.ru [c], usr09875@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Основный фактор роста фибробластов (bFGF, FGF2) является мощным митогенным фактором и участвует в органогенезе и гистогенезе. Благодаря мощному пролиферативному потенциалу FGF2 считается перспективной фармацевтической субстанцией, применяемой в регенеративной медицине для лечения СДС (синдрома диабетической стопы), ожоговых поражений кожи, ишемических болезней, остеопороза. Доказаны нейропротективные свойства bFGF. Настоящее исследование посвящено разработке штамма-продуцента рекомбинантного фактора роста фибробластов на основе клеток метилотрофных дрожжей *Pichia pastoris* штамма X33. В рамках исследовательской работы на основе модифицированной нуклеотидной последовательности гена hFGF2 была собрана экспрессионная конструкция для создания эффективного штамма-продуцента этой молекулы с использованием системы экспрессии на основе метилотрофных дрожжей *Pichia pastoris* – перспективного для фармацевтической биотехнологии организма.

Ключевые слова: фактор роста фибробластов, FGF2, *Pichia pastoris*, рекомбинантные белки, штамм-продуцент.

Введение. Ишемическая болезнь представляет собой поражение тканей органов, обусловленное нарушением кровообращения, вызванным сужением просвета сосудистого русла. В результате нарушается равновесие между кровотоком и метаболическими потребностями органов, которые вследствие этого испытывают недостаток кислорода, переносимого кровью. Ишемия может протекать хронически, при острой форме ишемии возникает инфаркт, некроз органа, а в случае ишемии головного мозга – инсульт [1].

Перспективной считается терапия, направленная на запуск процесса ангиогенеза. Наилучшего эффекта лечение достигает при использовании в качестве активного фармацевтического ингредиента факторов роста, способствующих ангиогенезу и росту эпителиальных клеток [2].

Благодаря мощной ангиогенной активности основный фактор роста фибробластов может применяться в лечении ишемии. Имеются данные о примене-

нии FGF2 для лечения ишемии миокарда, ишемии головного мозга и ишемии нижних конечностей [3]. Благодаря сильному митогенному потенциалу основный фактор роста фибробластов может использоваться для регенерации кожных покровов, повреждённых вследствие СДС либо в результате ожогов [4, 5]. Известно также, что bFGF является перспективной фармацевтической субстанцией для лечения гастродуаденальных язв [6].

Материалы и методы. В качестве системы экспрессии использовался штамм *P. pastoris* X33, способный с высокой скоростью усваивать метанол (Mut^+). В качестве вектора экспрессии использовали pVR2Xba (Герасимов А. С. и др.), аналогичный коммерческому вектору pPICZα (Invitrogen, США). Информация об аминокислотной последовательности bFGF и о нуклеотидной последовательности гена hFGF2 была получена в рецензируемой базе данных UniProt KB [7]. Нуклеотидная последовательность была собрана методом ПЦР при помощи высокоточной ДНК-полимеразы *Phusion* (ThermoFisher Scientific, США). Праймеры, использованные для проведения полимеразной цепной реакции, указаны в таблице ниже.

Полученный фрагмент клонировали в экспрессионный вектор pVR2Xba по соответствующим сайтам при помощи T4 ДНК-лигазы. Лигазной смесью трансформировали компетентные клетки *E. coli* XL1Blue, после чего 10 ампициллин-устойчивых колоний трансформантов использовались для наработки плазмидной ДНК, которую анализировали методом секвенирования (ЗАО «Евроген», Россия).

Клетки *P. pastoris* X33 трансформировали экспрессионным вектором pVR2FGF2 методом электропорации согласно общепринятому протоколу [8]. Наличие вставки целевого гена в дрожжевых клетках проводили методом ПЦР-скрининга. В качестве положительного контроля использовали исходный вектор для трансформации. Результаты визуализировали при помощи горизонтального электрофореза в 2 %-м агарозном геле.

Список праймеров, использованных для сборки гена bFGF человека

Праймер	Последовательность
FGF1	CCGCTCGAGAAAAGACCAGCTCTGCCAGAA
FGF2	AAGTGACCTGGTGGAAAAGCACCAGATCCACCATCTTCTGGCAGAGCTGG
FGF3	TCCACCAGGTCACTTCAAAGATCCAAAACGTCTGTACTGTAAAAATGGAG
FGF4	AACACGACCATCTGGATGAATACGCAGGAAGAAACCTCCATTTTTACAGT
FGF5	CCAGATGGTCGTGTTGACGGTGTTCGTGAAAAATCTGACCCACACATCAA
FGF6	AAACAACACCACGTTCCTCAGCCTGCAGTTGCAGTTTGATGTGTGGGTCA
FGF7	AACGTGGTGTTGTTTCTATCAAAGGTGTTTGCGCTAACCGTTACCTGGCT
FGF8	CATTTAGAAGCCAGCAGACGACCGTCTTCTTTCATAGCCAGGTAACGGTT
FGF9	GCTGGCTTCTAAATGCGTTACTGATGAATGTTTCTTTTTCGAACGTCTGG
FGF10	TTTACGAGAACGGTAAGTGTTGTAGTTATTAGATTCCAGACGTTCGAAAA
FGF11	TACCGTTCTCGTAAATACACTTCTTGGTACGTTGCTCTGAAACGTACTGG
FGF12	GACCTGGACCAGTTTTAGAACCCAGTTTGTACTGACCAGTACGTTTCAGA
FGF13	AAACTGGTCCAGGTCAGAAAGCGATCCTGTTCCTGCCGATGTCTGCGAAA
FGF14	GCTCTAGATTAAGATTTCGCAGACATCGG
rFGF	TGGACCAGTTTTAGAACC

«Дозу гена» определяли одновременным посевом каждого клона на плотную питательную среду YPD с концентрациями зеоцина 0, 500, и 2000 мкг/мл; высококопийными считались те трансформанты, которые выживали на среде с концентрацией зеоцина 2000 мкг/мл.

Высококопийные клоны отобрали для последующего анализа уровня экспрессии FGF2. Клоны выращивали в 3 мл жидкой питательной среды YPD в течение 24 часов при 30 ^{0}C и 250 об/мин. Затем 5 мкл суспензии инокулировали 40 мл жидкой питательной среды BMGY, содержащей 2 % глицерина в качестве источника углерода. Выращивали культуры в колбах объемом 500 мл при тех же условиях до $OD_{600} \approx 2–6$ о.е. Затем клетки собирали центрифугированием (5 минут, 1500×g, 20 ^{0}C) и суспендировали в 15 мл индукционной среды BMMY, содержащей 3 % метанола. Культивировали в колбах объемом 100 мл при тех же условиях в течение 72 часов, добавляя 3 % метанола каждые 24 часа. Культуральную жидкость отделяли от биомассы дрожжей центрифугированием (10 минут, 7000×g, 4 ^{0}C) и анализировали методом ПААГ-электрофореза в неденатурирующих условиях.

Результаты и обсуждение. В ходе модификации экспрессионного вектора был удалён сайт BsaHI и снижен GC-состав гена (см. рис. 1).

CCGCTCGAGAAAAGACCAGCTCTGCCAGAAGATGGTGGATCTGGTGCTTTTCC
ACCAGGTCACTTCAAAGATCCAAAACGTCTGTACTGTAAAAATGGAGGTTTCTTC
CTGCGTATTCATCCAGATGGTCGTGTTGACGGTGTTCGTGAAAAATCTGACCCAC
ACATCAAACTGCAACTGCAGGCTGAGGAACGTGGTGTTGTTTCTATCAAAGGTGT
TTGCGCTAACCGTTACCTGGCTATGAAAGAAGACGGTCGTCTGCTGGCTTCTAAA
TGCGTTACTGATGAATGTTTCTTTTTCGAACGTCTGGAATCTAATAACTACAACA
CTTACCGTTCTCGTAAATACACTTCTTGGTACGTTGCTCTGAAACGTACTGGTCA
GTACAAACTGGGTTCTAAAACTGGTCCAGGTCAGAAAGCGATCCTGTTCCTGCCG
ATGTCTGCGAAATCT**TAATCTAGAGC**

Рис. 1. Модифицированная нуклеотидная последовательность гена hFGF2

В ходе подбора оптимальных условий для культивирования продуцента была выбрана следующая схема ферментации, состоящая из трёх этапов: выращивание инокулята на среде YPD до OD 2–6 о.е в шейкере-инкубаторе в 3 мл среды при 30 °C и 250 об/мин; культивирование в колбах на среде BMGY (40 мл следы) с добавлением 2 % глицерина в течение 48 ч при 30 °C и 275 об/мин; индукция на среде BMMY (16 мл среды) с добавлением 3 % метанола в течение 72 ч каждые 24 часа при 22 °C и 250 об/мин. Методом электрофореза в ПААГ в неденатурирующих условиях (рис. 2) было показано наличие целевого рекомбинантного белка в культуральной жидкости проанализированных клонов.

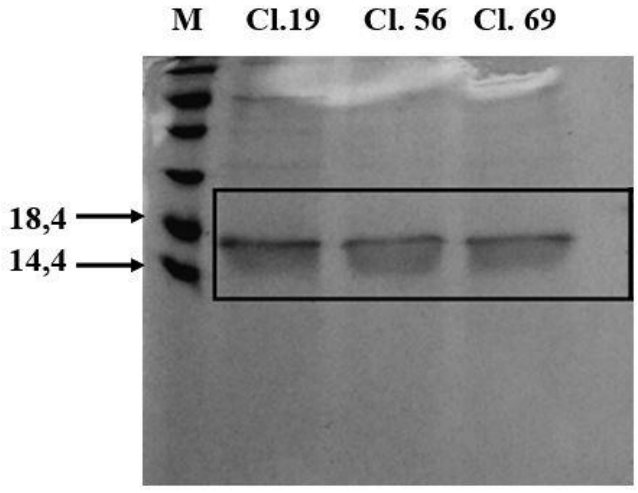


Рис. 2. Электрофореграмма bFGF:
M – маркер молекулярных масс белков, кДа; 1 – рекомбинантный bFGF

Выводы. В результате исследования была получена генетическая конструкция, содержащая модифицированную последовательность гена bFGF человека. Оптимизация нуклеотидного состава позволила снизить GC-состав целевого гена и удалить сайт рестрикции BsaHI, мешавший клонированию. На

основе высококопийного клона № 56 был создан штамм-продуцент рекомбинантного bFGF человека. Дальнейшим этапом исследования является разработка процессов получения и очистки основного фактора роста фибробластов человека bFGF.

Библиографический список

1. Hadjipanayi E., Schilling F. A. Hypoxia-based strategies for angiogenic induction. The dawn of a new era for ischemia therapy and tissue regeneration // Organogenesis. 2013. Vol. 9. I. 4. P. 261–272.

2. Lederman R. J., Mendelsohn F. O., Anderson R. D. et al. Therapeutic angiogenesis with recombinant fibroblast growth factor-2 for intermittent claudication (the TRAFFIC study): a randomised trial // Lancet. 2002. Vol. 359. P. 2053–2058.

3. Zisch A., Lutolf M., Hubbell J. Biopolymeric delivery matrices for angiogenic growth factors // Cardiovascular Pathology. 2003. Vol. 12. I. 6. P. 295–310.

4. Sadanori Akitaa, Kozo Akinob, Toshifumi Imaizumia, Akiyoshi Hiranoa. A basic fibroblast growth factor improved the quality of skin grafting in burn patients // Burns. 2005. Vol. 31. I. 7. P. 855–858.

5. Kannan Sridharancorresponding, Gowri Sivaramakrishnan. Growth factors for diabetic foot ulcers: mixed treatment comparison analysis of randomized clinical trials // British Journal of Clinical Pathology. 2018. Vol. 83. I. 3. P. 434–444.

6. Pohle, Shahin, Domschke, Konturek. Effect of basic fibroblast growth factor on gastric ulcer healing and its own mRNA expression // Alimentary Pharmacology and Therapeutic. 2001. Vol 13. I. 11. P. 1543–1551.

7. UniProt KB – Entry P09038 (FGF2 Human). URL: https://www.uniprot.org/uniprot/P09038 (дата обращения 21.10.2020).

8. Sambrook J., Green M. R. Molecular cloning: a laboratory manual – 4th ed. V. 3. / J. Sambrook, M. R. Green. N. Y.: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2012. 1546 p.

Конструирование экспрессионных векторов для получения рекомбинантного мутантного дифтерийного токсина CRM197

С. О. Рогожкин [a], Е. В. Сазанова [b], В. А. Чичерин [c], А. В. Мистерова [d], П. А. Стариков [e], А. С. Герасимов [f]
студент группы БТм-1101-02-00 [a]
студенты группы БТб-4101-03-00 [b, c]
аспирант I курса [d]
студент группы БТм-2101-02-00 [e]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии [f]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d, e, f]
E-mail: stud123677@vyatsu.ru [a], stud098192@vyatsu.ru [b], stud097428@vyatsu.ru [c], stud127576@vyatsu.ru [d], stud114069@vyatsu.ru [e], usr09875@vyatsu.ru [f]

Аннотация. CRM197 – неактивная и нетоксичная форма дифтерийного токсина, находящая свое широкое применение как в фундаментальной науке, так и в медицине. Он также был признан идеальным носителем для конъюгированных вакцин против инфекционных заболеваний, широко используемых для вакцинации во всем мире. Развитие методов генной инженерии сделало возможным получение рекомбинантного CRM197 в условиях cGMP, однако существующие технологии не очень воспроизводимы в промышленном масштабе и требуют высоких затрат на их осуществление. Важной целью фармацевтической биотехнологии в России является создание отечественного производства носителя для разработки новых и импортозамещения конъюгированных вакцин.

Целью данной работы является получение генетических конструкций для получения продуцентов CRM197 на основе E. coli. Для решения поставленных целей необходимо провести дизайн целевого гена с возможностью прямой и гибридной экспрессии, сборку гена при помощи метода ПЦР из олигонуклеотидных праймеров, а также их клонирование в экспрессионные вектора. В результате работы получено четыре генетические конструкции для получения рекомбинантного CRM197 в бактериальной системе экспрессии.

Ключевые слова: рекомбинантные вакцины, рекомбинантная ДНК, CRM197, дизайн гена, экспрессионный вектор, гибридная экспрессия

Введение. Дифтерийный токсин (ДТ) представляет собой глобулярный белок, относящийся к семейству бактериальных экзотоксинов AB типа, последовательность которого кодируется геном tox (1683 п.о). Молекула ДТ синтезируется в виде пропептида, состоящего из 535 аминокислот. Молекула зрелого дифтерийного токсина имеет молекулярную массу 58358 Да и состоит из двух субъединиц: A (от англ. *active*), 21164 Да и B (от англ. *binding*), 37194 Да. Последняя, в свою очередь, несёт рецептор-связывающий (R) и трансмембранный (T) домены. Между цистеинами в положениях 186-201 и 461-471 образованы две дисульфидные связи. ДТ чрезвычайно цитотоксичен. В количестве 10 нг \ кг массы он может убивать животных и человека, хотя по влиянию на организм он уступает ботулиническому и столбнячному нейротоксинам [1].

В начале 1970-х годов, при изучении антигенных свойств ДТ, были выделены его мутированные формы, так называемые CRM (от англ. *cross-reacting material*). Наиболее важным мутантом является CRM197 – неактивная и нетоксичная форма токсина. Единственная замена глицина в 52-м положении на глютаминовую кислоту резко снижает его сродство к субстрату (NAD) и, следовательно, ингибирует его АДФ-рибозилирующую активность, оставляя при этом его иммуногенные свойства.

CRM197 нашёл своё применение в качестве одного из самых распространённых токсоидов в составе противодифтерийных вакцин нового поколения. Он также был признан идеальным носителем для конъюгированных вакцин против инфекционных заболеваний, широко используемых для вакцинации во всем мире. В конъюгированных вакцинах CRM197 ковалентно связан с капсульными полисахаридами бактерий, которые являются Т-независимыми антигенами и по этой причине сами по себе продуцируют слабый иммунный ответ. Использование CRM197 в качестве адъюванта приводит к образованию Т-зависимого иммунного ответа, и существенно увеличивает иммуногенность.

Некоторые такие вакцины уже используются в развитых странах для иммунизации населения. Это такие вакцины, как «Quattvaxem» (Novartis, Швейцария) против дифтерии, коклюша, столбняка и *H. influenzae* типа b; «Menveo» – вакцина, используемая для профилактики менингококковой инфекции, вызываемой *N. meningitidis* серотипами A,C,Y и W-135, и «Menjugate» (обе Novartis, Швейцария) – вакцина менингококковая группы C; «Prevnar 13» (Pfizer, США) – вакцина против детской пневмонии, действующая на семь различных серотипов *S. pneumoniae*: 1, 3, 4, 5, 6A, 6B, 7F, 9V, 14, 18C, 19A, 19F, 23F; «HibTITER» (Wyeth Pharmaceuticals, США) – вакцина против *H. influenzae* типа b, возбудителя гемофильной инфекции. Хочется отметить, что разработки вакцин на основе CRM197 бурно развиваются. Так, известно о проведении клинических испытаний 20-тивалентной вакцины «Prevnar 20», а также разработке конъюгированных пептидных вакцин против коронавируса, вируса гриппа и даже онкологических заболеваний [2–4].

Узким местом развития данной вакцинной платформы является отсутствие рентабельной и эффективной технологии получения белка-носителя, CRM197. Современные тенденции биофармацевтической промышленности и регуляторные требования ограничивают применение дифтерийной палочки *C. diphtheriae* в качестве продуцента. Развитие методов генной инженерии сделало возможным получение рекомбинантных ДТ, которые в настоящее время все чаще используются как в фундаментальной науке, так и в медицине. Однако существующие технологии не очень воспроизводимы в промышленном масштабе и требуют высоких затрат на их осуществление. Стоить заметить, что в Российской Федерации таких технологий нет и создание отечественной технологии производства CRM197 является актуальной задачей.

Начальной задачей на пути разработки технологии получения генно-инженерного CRM197 является выбор оптимальной экспрессионной системы и конструирование молекулы рекомбинантной ДНК, кодирующей эффективный синтез целевой молекулы в клетках продуцента. В качестве продуцента была выбрана кишечная палочка *E. coli*, которая наиболее успешно зарекомендовала себя среди всех используемых организмов.

Материалы и методы. Штаммы *E. coli*, используемые в работе. Для создания генетических конструкций использовали штамм *E. coli* XL1-Blue (recA1 endA1 gyrA96 thi-1 hsdR17 supE44 relA1 lac [F' proAB lacIqZdM15 Tn10 (Tet^r)] (Stratagene, США.

Приготовление компетентных клеток и трансформацию *E. coli*, выделение плазмидной ДНК, гидролиз ДНК эндонуклеазами рестрикции, лигирование и другие генно-инженерные манипуляции проводили согласно стандартным методикам [5]. Химический синтез небольших фрагментов дцДНК, олигонуклеотидов, а также контрольное секвенирование полученных конструкций проведено ЗАО «Евроген» (Россия).

Для получения экспрессионных векторов с целью продукции целевого фермента в бактериях использовали плазмиды pET9a (+) (Novagen, США) и pGEMEX1 (Stratagene, США). Синтез гена производили с использованием 46

праймеров (CRM1 – CRM46) размером 50 нуклеотидов и взаимно перекрывающимися на 15 нуклеотидов методом overlap ПЦР (см. таблицу). Для проведения реакции использовали высокоточную ДНК-полимеразу Phusion (Thermo-Scientific, США) согласно протоколу фирмы-изготовителя. Условия проведения ПЦР: денатурация – 98 °С, 1 минута; рабочий цикл: денатурация – 98 °С, 20 секунд, отжиг – 40 °С, 20 секунд, амплификация – 74 °С, 1 минута 20 секунд, количество рабочих циклов – 25; финальная амплификация – 74 °С, 10 минут. В качестве матрицы использовалась смесь олигонуклеотидов по 0.5 мкМ каждого.

Для получения генов с 5'-концевой последовательностью, кодирующей белок-партнер Sumo, использовали собранную конструкцию с геном CRM197, а также вектор pTSA [6]. Синтез гена производили с использованием олигонуклеотидов (T7, T7_ter, SCRM_f, SCRM_f) методом step-out ПЦР (см. таблицу) помощи Phusion-полимеразы согласно протоколу фирмы-изготовителя. Условия проведения ПЦР: денатурация – 98 °С, 1 минута; рабочий цикл: денатурация – 98 °С, 20 секунд, отжиг – 55 °С, 20 секунд, амплификация – 74 °С, 1 минута, количество рабочих циклов – 30; финальная амплификация – 74 °С, 10 минут.

Для сборки генетических конструкций экспрессионные вектора pET9a и pGEMEX1, а также собранные гены гидролизовали эндонуклеазами NdeI и XhoI (ThermoScientific, США) согласно стандартному протоколу. Фрагменты разделяли при помощи препаративного электрофореза и соответствующие фрагменты ДНК выделяли из геля при помощи набора реактивов MinElute Gel Extraction Kit (Qiagen, Германия). Смешивали 20 нг NdeI/XhoI фрагмента плазмиды и 30 нг HindIII/NdeI гена, лигируя с помощью Т4 ДНК лигазы (Thermo-Scientific, США) согласно инструкции фирмы-производителя. Полученной лигазной смесью трансформируют компетентные клетки XL1_Blue.

Список олигонуклеотидов для конструирования гена CRM197

Название олигонуклеотида	Последовательность (5'-3')
CRM1	ATGGGTGCTGATGACGTTGTTGATTCTTCTAAATCTTTCGTTATG
CRM2	CCCGGTTTGGTACCATGGTAAGAAGAGAAGTTTTCCATAACGAAAGATTT
CRM3	TGGTACCAAACCGGGTTACGTTGACTCTATCCAGAAAGGTATCCAGAAAC

Окончание таблицы

Название олигонук-леотида	Последовательность (5’-3’)
CRM4	GTCGTCGTCGTAGTTACCCTGGGTACCAGATTTCGGTTTCTGGATACCTT
CRM5	AACTACGACGACGACTGGAAAGAATTCTACTCTACCGACAACAAATACGA
CRM6	GCGGGTTTTCGTTGTCAACAGAGTAACCCGCCGCGTCGTATTTGTTGTCG
CRM7	ACAACGAAAACCCGCTGTCTGGTAAAGCGGGTGGTGTTGTTAAAGTTACC
CRM8	ACTTTCAGCGCCAGAACTTTGGTCAGACCCGGGTAGGTAACTTTAACAAC
CRM9	TCTGGCGCTGAAAGTTGACAACGCGGAAACCATCAAAAAAGAACTGGGTC
CRM10	ACCAACCTGTTCCATCAGCGGTTCGGTCAGAGACAGACCCAGTTCTTTTT
CRM11	ATGGAACAGGTTGGTACCGAAGAATTCATCAAACGTTTCGGTGACGGTGC
CRM12	CTTCCGCGAACGGCAGAGACAGAACAACACGAGACGCACCGTCACCGAAA
CRM13	TGCCGTTCGCGGAAGGTTCTTCTTCTGTTGAATACATCAACAACTGGGAA
CRM14	TTGATTTCCAGTTCAACAGACAGCGCTTTCGCCTGTTCCCAGTTGTTGAT
CRM15	TGAACTGGAAATCAACTTCGAAACCCGTGGTAAACGTGGTCAGGACGCGA
CRM16	GTTACCCGCGCACGCCTGCGCCATGTATTCGTACATCGCGTCCTGACCAC
CRM17	GCGTGCGCGGGTAACCGTGTTCGTCGTTCTGTTGGTTCTTCTCTGTCTTG
CRM18	TTTTGTCACGGATAACGTCCCAGTCCAGGTTGATGCAAGACAGAGAAGAA
CRM19	TTATCCGTGACAAAACCAAAACCAAAATCGAATCTCTGAAAGAACACGGT
CRM20	TTGTTCGGAGATTCAGACATTTTGTTTTTGATCGGACCGTGTTCTTTCAG
CRM21	TGAATCTCCGAACAAAACCGTTTCTGAAGAAAAAGCGAAACAGTACCTGG
CRM22	TTCCGGGTGTTCCAGCGCGGTCTGGTGGAATTCTTCCAGGTACTGTTTCG
CRM23	CTGGAACACCCGGAACTGTCTGAACTGAAAACCGTTACCGGTACCAACCC
CRM24	CCGCCCACGCCGCGTAGTTCGCACCCGCGAAAACCGGGTTGGTACCGGTA
CRM25	ACGCGGCGTGGGCGGTTAACGTTGCGCAGGTTATCGACTCTGAAACCGCG
CRM26	ATAGACAGCGCCGCGGTGGTTTTTTCCAGGTTGTCCGCGGTTTCAGAGTC
CRM27	CGCGGCGCTGTCTATCCTGCCGGGTATCGGTTCTGTTATGGGTATCGCGG
CRM28	AACGATTTCTTCGGTGTTGTGGTGAACCGCACCGTCCGCGATACCCATAA
CRM29	ACCGAAGAAATCGTTGCGCAGTCTATCGCGCTGTCTTCTCTGATGGTTGC
CRM30	TGTCAACCAGTTCACCAACCAGCGGGATCGCCTGCGCAACCATCAGAGAA
CRM31	GTGAACTGGTTGACATCGGTTTCGCGGCGTACAACTTCGTTGAATCTATC
CRM32	TTGTAAGAGTTGTGAACAACCTGGAACAGGTTGATGATAGATTCAACGAA
CRM33	TCACAACTCTTACAACCGTCCGGCGTACTCTCCGGGTCACAAAACCCAGC
CRM34	GTTCCAAGAAACCGCGTAACCGTCGTGCAGGAACGGCTGGGTTTTGTGAC
CRM35	GCGGTTTCTTGGAACACCGTTGAAGACTCTATCATCCGTACCGGTTTCCA
CRM36	CCGCGGTGATTTTGATGTCGTGACCAGATTCACCCTGGAAACCGGTACGG
CRM37	TCAAAATCACCGCGGAAAACACCCCGCTGCCGATCGCGGGTGTTCTGCTG
CRM38	GATTTGTTAACGTCCAGTTTACCCGGGATGGTCGGCAGCAGAACACCCGC
CRM39	GGACGTTAACAAATCTAAAACCCACATCTCTGTTAACGGTCGTAAAATCC
CRM40	GGTAACGTCACCGTCGATCGCACGGCAACGCATACGGATTTTACGACCGT
CRM41	GACGGTGACGTTACCTTCTGCCGTCCGAAATCTCCGGTTTACGTTGGTAA
CRM42	GGTGGAACGCAACGTGCAGGTTCGCGTGAACACCGTTACCAACGTAAACC
CRM43	ACGTTGCGTTCCACCGTTCTTCTTCTGAAAAAATCCACTCTAACGAAATC
CRM44	TTCTGGTAACCCAGAACACCGATAGAGTCAGAAGAGATTTCGTTAGAGTG
CRM45	TCTGGGTTACCAGAAAACCGTTGACCACACCAAAGTTAACTCTAAACTGT
CRM46	TTATTAAGATTTGATTTCGAAGAACAGAGACAGTTTAGAGTTAA
T7	TAATACGACTCACTATAGG
T7_ter	GCTAGTTATTGCTCAGCG
SCRM_f	CAGATTGGTGGCGGTGCGGATGATGTGG
SCRM_r	CATCCGCACCGCCACCAATCTGCTCAC

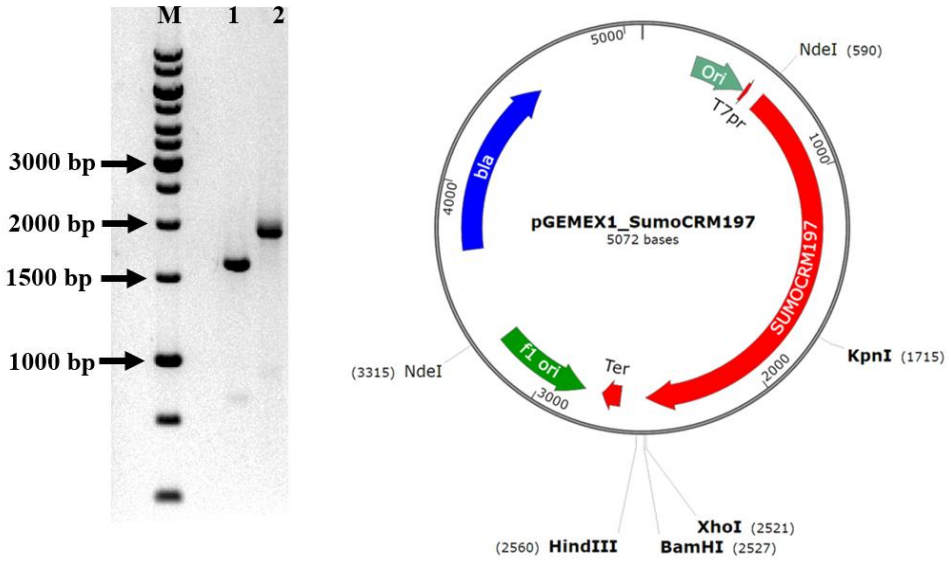
Результаты и обсуждение. Для наработки CRM197 мы выбрали бактериальную экспрессионную систему. Бактерии способны производить рекомбинантные белки с выходом более 1 г/л. Более того, способность роста этих бактерий на минеральных средах делает *E. coli* подходящим организмом для разработки промышленных технологий. Однако известно, что клетки кишечной палочки не способны проводить ряд посттрансляционных модификаций, в частности образование S-S-связей. Это приводит к формированию так называемых телец включения. Для получения функционально активного фермента требуется проведение ренатурации *in vitro*, разработка и осуществление которой зачастую являются трудоемкими и малоэффективными.

Также активно применяются технологии гибридной экспрессии генов: целевой продукт получают в виде гибрида с белком-партнером, который улучшает физико-химические показатели молекулы белка, такие как растворимость и его биологические свойства, например, активность, снижая токсическое воздействие на клетку. Использование соответствующих белков-партнеров, а также подбор оптимальных экспрессионных векторов, условий культивирования и индукции, коэкспрессия целевых генов с генами шаперонов – все это сделало возможным применение *E. coli* для получения сложных белков с правильной структурой. Одним из таких успешных примеров можно считать белок SUMO. При синтезе целевого белка, слитого с SUMO, наблюдается заметное увеличение экспрессии целевого полипептида и его растворимости. Внешняя гидрофильная оболочка и внутренний гидрофобный кор могут оказывать тот же эффект, что и детергенты при солюбилизации. К тому же SUMO эффективно отщепляется при помощи специфичной Ulp1-гидролазы, которая узнает третичную структуру белка-партнера.

Эффективность любой технологии, основанной на рекомбинантной ДНК, зависит от конструирования экспрессионных векторов и дизайна генетических последовательностей. Известно, что на уровень экспрессии целевого гена и, следовательно, уровень биосинтеза может влиять несколько генетических факторов. Согласно существующим представлениям, на выход целевого продукта могут

влиять такие параметры, как частота используемых кодонов, GC-состав гена, вероятность образования тугоплавких структурных элементов мРНК, копийность вектора, а также сила промоторов, используемых для транскрипции целевого гена.

В ходе данной работы мы сконструировали ген CRM197 с учетом частоты используемости кодонов (индекс соответствия – 0.9975), а также на 5'-конце были произведены возможные замены нуклеотидов G и C, на A или T. Это позволяет снизить вероятность возникновения шпилек в начале синтезирующейся молекулы мРНК. Также были получен ген CRM197 в составе гибрида с последовательностью, кодирующей белок SUMO. Сложность данной работы заключалась в том, что путем определенного дизайна нам удалось собрать целый протяженный ген размером свыше 1500 bp в ходе одной реакции ПЦР, детально подобрав условия и протокол для данного эксперимента (см. рисунок, слева). Оказалось, что добавление дополнительного количества ионов Mg^{2+} до 3 мМ, а также добавление в реакционную смесь 0.5 М бетаина способствовало прохождению реакции с наибольшей эффективностью. Данный подход – использование энхансеров ПЦР – может применяться и для других случаев сборки крупных последовательностей ДНК. Оба варианта были клонированы в высококопийный вектор pGEMEX1 и среднекопийный вектор pET9a (см. рисунок, справа).



Сборка гена CRM197 и экспрессионного вектора на его основе. Слева: результаты реакции ПЦР по сборке генов CRM197 (дорожка 1) и SUMOCRM197 (дорожка 2); M – маркер молекулярных весов SM0311 (ThermoScientific, США). Справа: пример физической карты собранного экспрессионного вектора

Выводы. В ходе проделанной работы был разработан дизайн нуклеотидной последовательности гена мутантного дифтерийного токсина CRM197 для достижения эффективного уровня экспрессии в клетках *E. coli*. Ген был собран с высокой эффективностью из коротких олигонуклеотидных праймеров и клонирован в экспрессионные вектора pGEMEX1 и pET9a (+). Также при помощи ПЦР было проведено добавление нуклеотидной последовательности, кодирующей белок-партнер SUMO, для гибридной экспрессии целевого гена. Полученные вектора являются основой для дальнейшей разработки эффективной отечественной технологии получения CRM197 и станут толчком для импортозамещения конъюгированных вакцин.

Библиографический список

1. Романок С. И., Колибо Д. В., Комисаренко С. В. Перспективы применения рекомбинантных производных дифтерийного токсина // Биоорг. химия. 2012. 38(6). С. 639–652.

2. Trial to Evaluate the Safety and Immunogenicity of a 20-valent Pneumococcal Conjugate Vaccine in Pneumococcal Vaccine-naïve Adults. URL: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03760146 (дата обращения 29.12.2020).

3. Zhao Q., Gao Y., Xiao M., Huang X., Wu X. Synthesis and immunological evaluation of synthetic peptide based anti-SARS-CoV-2 vaccine candidates // Chem Commun (Camb). 2021. Vol. 57 (12). P. 1474–1477. URL: https://doi.org/10.1039/d0cc08265a (published: 15.02.2021).

4. Zhang H. L., Yuan C., Dong-Mei Z., Hua-Shan S. A novel combined conjugate vaccine: Enhanced immunogenicity of bFGF with CRM197 as a carrier protein. Mol. Medicine Reports. 2011. Vol. 4. I. 5. P. 857–863. URL: https://doi.org/10.3892/mmr.2011.521 (published: 29.06.2011).

5. Sambrook J., Green M. R. Molecular cloning: a laboratory manual – 4th ed. V. 3. N. Y. : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2012. 1546 p.

6. Герасимов А. С., Шульга А. А., Зейналов О. А., Скрябин К. Г. Синтез гетерологичных GPCR в клетках метилотрофных дрожжей *P. pastoris* // Доклады академии наук. 2011. Т. 441. № 5. С. 703–706.

Исследование различных вариантов утилизации жома борщевика Сосновского с помощью микроорганизмов

Устюжанинова Л. В. [a], Богатырев А. М. [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бм-2101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud114063@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Борщевик Сосновского – это крупное травянистое растение, вид рода Борщевик семейства Зонтичные, которое имеет в России статус вредного сорняка. Этот сорняк неоднократно пытались истребить, но были и попытки найти ему новое применение. При использовании сока борщевика остаются волокна (жом), из которых выжат сок. Жом борщевика нуждается в переработке и в дальнейшем использовании. Поэтому целью данной работы является исследование возможности силосования и компостирования жома борщевика Сосновского. В полученных пробах силоса определяли разные группы микроорганизмов согласно методикам из соответствующих ГОСТов. Компостирование проводили аналогично методике, описанной в ГОСТ Р 57225-2016 (ИСО 20200:2015), изменив только количество и состав компостируемой массы. В результате проделанной работы были получены пробы силоса из промытого и непромытого жома борщевика с использованием и без использования закваски. Проведенный микробиологический анализ проб силоса после 1,5 месяцев хранения показал различия микрофлоры данных проб. В том числе использование закваски позволяет получить корм с пониженным содержанием посторонней микрофлоры. Также было успешно проведено компостирование жома борщевика. Таким образом, жом борщевика Сосновского можно утилизировать с помощью микроорганизмов, а в результате можно получить силос или компост. Информация может быть полезна тем, кто интересуется практическим использованием зеленой массы борщевика Сосновского.

Ключевые слова: силосование, компостирование, жом, борщевик Сосновского.

Введение. Борщевик Сосновского – это крупное травянистое растение, вид рода Борщевик семейства Зонтичные, которое имеет в России статус вредного сорняка. В период вегетации в растении накапливаются светочувствительные вещества из группы фуранокумаринов. При попадании на кожу они способны вызывать сильные фотоожоги [14]. По этой причине растение было занесено в «Черную книгу флоры России» как сорное и опасное. Помимо того, борщевик Сосновского является одним из видов растений, которые определены как инвазивные виды [15].

Сорняк неоднократно пытались истребить, но были и попытки найти ему новое применение. По содержанию питательных веществ зеленая масса борщевика Сосновского не уступает многим известным кормовым растениям. Отличительной особенностью растения является наличие большого количества сахаров. Поэтому была разработана технология использования зеленой массы этого растения в промышленности для производства сахара и биотоплива [12, 13].

При данных способах полезного использования борщевика остаются отходы от производства – волокна (жом), из которых выжат сок. Жом борщевика нуждается в переработке и в дальнейшем использовании [9, 10]. Так, например, его можно использовать как корм для скота, сохранив на зимний период в виде силоса. При этом жом будет иметь меньше веществ, вредных для животных, чем нативная масса борщевика, так как большая часть растворимых веществ уйдет в сок. Такой силос можно использовать для откорма быков, свиней и других животных, которые идут на убой [11].

Сущность силосования заключается в консервировании растений, плотно уложенных в хранилище, органическими кислотами, которые образуются в результате жизнедеятельности бактерий (в первую очередь молочнокислых) из сахара, содержащегося в силосуемой массе [11].

Также жом борщевика можно попробовать переработать в компост.

Ценность компостов давно известна: компост – это очень хорошее удобрение, положительно влияющее на качество овощей и фруктов. Выращенные на компосте растения выглядят более крепкими и здоровыми, особо устойчивыми к стрессовым ситуациям перепада температур и влажности, болезням и вредителям. Компост широко применяют в сельском хозяйстве, муниципалитете, на приусадебных участках, в озеленении парков и скверов. Компост вносится в любое время года, во все типы почв и под любые культуры [8].

Поэтому целью данной работы является исследование возможности силосования и компостирования жома борщевика Сосновского.

Задачи исследования:

– произвести силосование проб промытого и непромытого жома борщевика с использованием силосной закваски и без нее;

– через 1,5–2 месяца провести микробиологический анализ полученных проб силоса;

– оценить влияние закваски при силосовании жома борщевика;

– произвести компостирование проб промытого и непромытого жома борщевика, а также неотжатой массы борщевика;

– оценить возможность силосования и компостирования жома борщевика Сосновского.

Методы исследования. Объектами исследования были образцы промытого и непромытого жома борщевика Сосновского после отжатия из массы сока [9], а также неотжатая масса борщевика.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) производили по ГОСТ 10444.15-94 [2]. Использовали питательную среду, приготовленную из готовой сухой среды «Питательная среда сухая для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ)» производства ООО «НПЦ «Биокомпас-С». Чашки Петри с посевами выращивали 72 часа в термостате при температуре 30 °С согласно [2].

Определение количества плесени и дрожжей производили по ГОСТ 10444.12-2013 [1]. Использовали агаризованную питательную среду, приготовленную из готовой сухой среды «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами выращивали 5 суток в термостате при температуре 25 °С согласно [1].

Для определения концентрации живых клеток лактобактерий чашечным методом по ГОСТ ISO 7218-2015 [6] использовали плотную питательную среду Лактобакагар, приготовленную из готовой сухой среды «Питательная среда для выделения и культивирования лактобацилл сухая (Лактобакагар)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–4 суток.

Расчет и обработку результатов микробиологических исследований проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [6] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Компостирование проводили аналогично методике, описанной в ГОСТ Р 57225-2016 (ИСО 20200:2015), изменив только количество и состав компостируемой массы [5].

Результаты исследований, их обсуждение. Жом борщевика Сосновского, оставшийся после получения сока без мацерации и промывки (непромытый

жом) и после получения сока с использованием промывки (промытый жом) [9], плотно утрамбовывали в пенициллиновые флаконы (примерно по 15 г жома в каждый флакон). Потом к пробам добавляли по 0,5 мл закваски, состоящей из лактобактерий штаммов *Lactobacillus plantarum* 8р-А3 и *Lactobacillus casei* ВКПМ В-4990 (в суммарной концентрации $3{,}0\times10^{10}$ КОЕ/мл) и ферментных препаратов Рапидаза CR и Optimash VR (в количестве 10 % от суммарного объема закваски). Далее все флаконы герметично укупоривали и хранили в темном месте при комнатной температуре (20–25 °С). Флаконы визуально осматривали каждый месяц [10]. За год хранения данных первых проб, полученных с использованием закваски, ни в одной пробе визуально не отмечается признаков порчи (плесневение, гниение). Таким образом, жом борщевика Сосновского (как непромытый, так и промытый) получилось засилосовать.

Позже аналогично была получена новая серия проб силоса, в которой часть проб была приготовлена без использования закваски, другая часть (больше половины) – с использованием закваски, которая по составу была аналогична вышеописанной закваске, с суммарной концентрацией лактобактерий $3{,}5\times10^{10}$ КОЕ/мл. Через 1,5 месяца после закладки силоса провели микробиологическое исследование всех видов проб. В пробах определяли КМАФАнМ, содержание плесени и дрожжей, концентрацию живых лактобактерий. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты микробиологического исследования проб силоса, полученных из жома борщевика Сосновского, после 1,5 месяцев хранения

Наименование показателя	Силос из промытого жома		Силос из непромытого жома	
	Без закваски	С закваской	Без закваски	С закваской
Содержание живых лактобактерий, КОЕ/г	$(1{,}2\pm0{,}1)\times10^5$	$(1{,}5\pm0{,}1)\times10^6$	$(4{,}5\pm0{,}4)\times10^5$	$(6{,}2\pm0{,}6)\times10^6$
Содержание КМАФАнМ, КОЕ/г	$(2{,}4\pm0{,}1)\times10^4$	$(2{,}6\pm0{,}2)\times10^3$	$(1{,}5\pm0{,}1)\times10^4$	$(2{,}2\pm0{,}2)\times10^3$
Содержание плесени, КОЕ/г	$(2{,}5\pm0{,}2)\times10^3$	Менее 50	Менее 50	Менее 50
Содержание дрожжей, КОЕ/г	$(2{,}5\pm0{,}1)\times10^4$	Менее 50	$(7{,}0\pm0{,}7)\times10^1$	Менее 50

Микробиологические показатели кормов для продуктивных животных в общем и силоса в частности не нормируются [3, 4, 7]. Данные показатели были определены для оценки влияния использования закваски на микрофлору сило-

са. Как видно по данным табл. 1, при использовании закваски содержание посторонней флоры (КМАФАнМ, плесени и дрожжей) снижается. Больше всего посторонних микроорганизмов было в пробе из промытого силоса без использования закваски. Это связано как с более низким содержанием лактобактерий, продукты жизнедеятельности которых подавляют постороннюю флору, так и с пониженным содержанием различных растворимых веществ (в том числе фуранокумаринов) в жоме борщевика, так как они вымылись из жома в процессе его промывания. Кроме того, применение нестерильной воды могло изменить как качественный, так и количественный состав микрофлоры жома.

Во всех пробах силоса наблюдалась довольно высокая концентрация лактобактерий (табл. 1), даже в пробах, полученных без использования закваски. Но в пробах с использованием закваски лактобактерий оказалось больше, что было вполне ожидаемо. Динамика снижения концентрации лактобактерий в пробах, полученных с использованием закваски, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Изменение концентрации лактобактерий в пробах силоса, полученных из жома борщевика Сосновского с применением закваски, во время хранения

Время хранения, нед.	Силос из промытого жома	
	Силос из промытого жома	Силос из непромытого жома
0	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	$(1,1\pm0,1)\times10^9$
2	$(6,4\pm0,6)\times10^7$	$(2,1\pm0,1)\times10^8$
4	$(4,6\pm0,4)\times10^6$	$(3,0\pm0,1)\times10^7$
6	$(1,5\pm0,1)\times10^6$	$(6,2\pm0,6)\times10^6$
8	$(5,7\pm0,5)\times10^5$	$(1,0\pm0,1)\times10^6$

Концентрация лактобактерий в пробах силоса из непромытого жома борщевика была выше, чем в пробах из промытого жома (табл. 2). Содержание МАФАнМ в пробах обоих видов после 1,5 месяцев хранения было примерно одинаковым (табл. 1).

В первой закладке силоса из жома борщевика значительное снижение содержания лактобактерий произошло быстрее [10], чем в этот раз (табл. 2).

Компостирование жома проводили в лабораторных условиях при имитировании температурного, влаго- и газообменного режима компостирования со-

гласно ГОСТ Р 57225-2016 [5]. Компостируемая смесь состояла в каждом случае примерно из 20 г земли и 80 г жома (промытого или непромытого) или неотжатой массы борщевика. К 30-му дню инкубирования при (58±1) °С компостируемая масса во всех случаях превратилась в однородную черно-коричневую массу со специфическим запахом. Неотжатая масса борщевика закомпостировалась несколько раньше, чем жом. Возможно, это может быть связано с чуть большей влажностью данной массы, более высоким содержанием питательных веществ (так как сок не удаляли), с более разнообразной микрофлорой и/или с большим количеством последней.

Выводы. В результате проделанной работы были получены пробы силоса из промытого и непромытого жома борщевика с использованием и без использования закваски. Проведенный микробиологический анализ проб силоса после 1,5 месяцев хранения показал различия микрофлоры данных проб. Использование закваски позволяет получить корм с пониженным содержанием посторонней микрофлоры. Также было успешно проведено компостирование жома борщевика. Таким образом, жом борщевика Сосновского можно утилизировать с помощью микроорганизмов с получением полезных продуктов: силоса или компоста. Планируется оценить качество полученных продуктов по физико-химическим показателям, регламентируемым для данных видов продукции.

Библиографический список

1. ГОСТ 10444.12-2013. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов: принят 14.11.2013; действ. с 01.07.2015. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200107308 (дата обращения 15.01.2021).

2. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов: принят 21.10.1994; действ. с 01.01.1996. М. : Стандартинформ, 2010. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200022648 (дата обращения 15.01.2021).

3. ГОСТ 23638-90. Силос из зеленых растений. Технические условия: принят 28.03.1990; действ. с 01.05.1991. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-23638-90 (дата обращения 15.01.2021).

4. ГОСТ Р 55986-2014. Силос из кормовых растений. Общие технические условия: принят 31.03.2014; действ. с 01.07.2015. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200110080 (дата обращения 15.01.2021).

5. ГОСТ Р 57225-2016 (ИСО 20200:2015) Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях: принят 08.11.2016; действ. с 01.05.2017. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200141087 (дата обращения 15.01.2021).

6. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124386 (дата обращения 15.01.2021).

7. Единые ветеринарные (ветеринарно-санитарные) требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору): утв. 18.06.2010. URL: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/laws/tsouz/tsouz_vettreb.pdf (дата обращения 15.01.2021).

8. Справочная книга по производству и применению органических удобрений / А. И. Еськов, М. Н. Новиков, С. М. Лукин. Владимир, 2001. 495 с.

9. Исследование возможности использования зеленой массы борщевика Сосновского для производства биоэтанола / Л. В. Устюжанинова, Е. А. Тиунова, И. А. Уржумцева, Е. А. Мартинсон // Общество. Наука. Инновации (НПК-2020) : сб. ст. : XX Всерос. науч.-практ. конф., 17февр. – 26 апр. 2020 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические и технические науки. Киров : Вятский государственный университет, 2020. URL: http://vestnik43.ru/obschestvo-nauka-innovacii-(npk-2020)-tom-2 (дата обращения 15.01.2021).

10. Исследование возможности силосования жома борщевика Сосновского / Л. В. Устюжанинова, А. М. Богатырев, Е. А. Мартинсон // Общество. Наука. Инновации (НПК-2020) : сб. ст. : XX Всерос. науч.-практ. конф., 17февр. – 26 апр. 2020г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические и технические науки. Киров : Вятский государственный университет, 2020. URL: http://vestnik43.ru/obschestvo-nauka-innovacii-(npk-2020)-tom-2 (дата обращения 15.01.2021).

11. Кельдыш М. А., Помазков Ю. И. Об использовании борщевика Сосновского // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 47.

12. Патент РФ № 2458106, подача заявки: 21.09.2010, публикация патента: 10.08.2012. URL: https://findpatent.ru/patent/245/2458106.html (дата обращения 15.01.2021).

13. Патент РФ № 2458148, подача заявки: 21.09.2010, публикация патента: 10.08.2012. URL: http://www.freepatent.ru/images/patents/7 /2458148/patent-2458148.pdf (дата обращения 15.01.2021).

14. Поиск путей борьбы с борщевиком Сосновского продолжается / Н. В. Смолин, Д. В. Бочкарев, А. Н. Никольский // Защита и карантин растений. 2011. № 8. С. 26–28.

15. Jahodová Š., Trybush S., Pyšek P., Wade M., Karp A. Invasive species of Heracleum in Europe: an insight into genetic relationships and invasion history. Divers Distrib. 2007. 13(1). P. 99–114.

Исследование возможности получения пива и пивных напитков, обогащенных пробиотиками

Л. В. Устюжанинова [a], В. А. Вятер [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097780@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В пищевой промышленности в последние годы широко используются пре- и пробиотики для увеличения пищевой ценности продукции. В сфере пивоварения потенциал обогащения пива и пивных напитков пребиотиками и пробиотиками до сих пор не используется. Поэтому для расширения ассортимента выпускаемой пивной продукции сортами с добавленными полезными свойствами целесообразно рассмотреть данные варианты. Целью данной работы является исследование возможности обогащения пробиотическими микроорганизмами пива и пивных напитков. Для определения количества живых клеток лактобактерий и бифидобактерий использовали соответственно чашечный метод и метод наиболее вероятного числа согласно ГОСТ ISO 7218-2015. При внесении пробиотических микроорганизмов в готовый светлый эль их концентрация резко снижалась при хранении в течение 1–2 недель. Таким образом, при простом добавлении пробиотических микроорганизмов в светлый эль не удалось получить пиво, обогащенное пробиотиками, с приемлемым сроком хранения (хотя бы один месяц). Удалось получить кислое пиво, обогащенное пробиотическими лактобактериями *Lactobacillus plantarum 8P-A3*, со сроком хранения не менее 3 месяцев в холодильнике и 1–2 месяца при комнатной температуре. В течение этого времени концентрация живых лактобактерий была не ниже 10^6 КОЕ/см^3, что удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 55577-2013. Применение разработанных рецептур и технологий будет интересно производителям пива и пивных напитков для расширения ассортимента выпускаемой продукции. Сам продукт будет интересен людям, которые употребляют пиво и пивные напитки и не готовы отказаться от них, но которые желают минимизировать наносимый вред здоровью или даже скомпенсировать его.

Ключевые слова: пробиотики, лактобактерии, бифидобактерии, пиво, пивные напитки.

Введение. В настоящее время в пищевой промышленности активно используются и развиваются технологии производства продуктов, обогащенных пре- и пробиотиками. Изучение влияния пре- и пробиотических продуктов на здоровье человека, а в частности на микрофлору кишечника, является предметом научного интереса как минимум в течение нескольких десятилетий [9]. Производство стимулируется высоким покупательским спросом на пре- и пробиотики, а также пищевые продукты, обогащенные данными компонентами. В современном мире заметна тенденция к увеличению заболеваемости людей, поэтому многие люди желают поддерживать свой иммунитет различными путями. Один из таких путей – это употребление как самих пре- и пробиотиков, так и продуктов, обогащенных ими [4, 5].

Производство пива и пивных напитков является динамично развивающейся отраслью пищевого производства [1, 6]. Известно, что во всем мире и в России в частности пиво пользуется огромным спросом среди населения. Однако пиво вовсе не приносит пользу для здоровья, а наоборот – вредит при систематическом употреблении [6, 7].

В сфере пивоварения потенциал обогащения пива и пивных напитков пребиотиками и пробиотиками до сих пор не используется. Отсюда остро встает вопрос о разработке пива и пивных напитков, обогащенных пре- и пробиотиками [8].

Применение разработанных рецептур и технологий будет интересно производителям пива и пивных напитков для расширения ассортимента выпускаемой продукции сортами с добавленными полезными свойствами. Сам продукт будет интересен людям, которые употребляют пиво и пивные напитки и не готовы отказаться от них, но которые желают минимизировать наносимый вред здоровью или даже скомпенсировать его.

Целью работы является исследование возможности обогащения пробиотическими микроорганизмами пива и пивных напитков.

Задачи:

- исследовать выживаемость пробиотических микроорганизмов при хранении после их внесения в готовый светлый эль;
- получить пробы кислого пива (Gose) с использованием пробиотических лактобактерий;
- провести микробиологическое исследование выживаемости пробиотических лактобактерий в полученных пробах кислого пива.

Методы исследования. Объектами исследования являются пробиотические микроорганизмы: *Lactobacillus plantarum 8P-A3*, выделенный из препарата «Флорин форте» (производство Партнер, Россия), *Lactobacillus acidophilus*, выделенный из Ацилола® (производство АО ОТИСИФАРМ, Россия), а также *Bifidobacterium bifidum*, выделенный из Бифидумбактерина (производство Партнер, Россия).

Концентрацию пробиотических лактобактерий определяли чашечным методом Коха согласно ГОСТ ISO 7218-2015 [3]. Для приготовления плотной питательной среды брали готовую сухую среду «Питательная среда для выделения и культивирования лактобацилл сухая (Лактобакагар)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–4 суток.

Количество живых клеток бифидобактерий определяют методом наиболее вероятного числа согласно ГОСТ ISO 7218-2015 [3] с использованием готовой сухой среды «Питательная среда для выделения и культивирования бифидобактерий сухая (Бифидум-среда)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Пробирки с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–5 суток.

Учет и обработку результатов по определению концентрации живых клеток микроорганизмов проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [3] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения концентрации живых клеток пробиотических микроорганизмов в светлом эле при хранении в холодильнике представлены в табл. 1.

Согласно ГОСТ Р 55577-2013 [2], содержание пробиотических микроорганизмов должно быть не менее 10^6 КОЕ/см^3, чтобы оказывать благоприятный эффект. При добавлении пробиотических культур в светлый эль и хранении данных проб в холодильнике наблюдалось значительное снижение концентрации бифидобактерий уже в первую неделю хранения, а лактобактерий – на второй неделе хранения. Таким образом, при простом добавлении пробиотических микроорганизмов в светлый эль не удалось получить пиво, обогащенное пробиотиками. Это может быть связано как с бактерицидным действием хмеля, так и с недостатком питательных веществ в пиве.

Таблица 1

Изменение концентрации живых клеток пробиотических микроорганизмов после их внесения в готовый светлый эль

Пробиотический микроорганизм	Время хранения при температуре (6±2) °С, недели		
	0	1	2
Lactobacillus plantarum 8P-A3, КОЕ/см^3	(3,0±0,1) × 10^6	(3,3±0,1) × 10^6	(1,1±0,1) × 10^3
Lactobacillus acidophilus, КОЕ/см^3	(3,5±0,1) × 10^6	(3,0±0,1) × 10^6	(6,1±0,5) × 10^4
Bifidobacterium bifidum, НВЧ/см^3	2,2 × 10^6	0,36	0

Результаты определения концентрации живых клеток пробиотических лактобактерий в кислом пиве при хранении в холодильнике и при комнатной температуре указаны в табл. 2 и 3.

Использованная технология получения кислого пива не включала в себя внесение хмеля. Кроме того, после брожения перед тем, как ставить на хранение, в пиво добавляли глюкозу в концентрации 5 г/дм^3 (для естественной карбонизации) и лактозу в концентрации 1 г/дм^3 (для питания лактобактерий). Поэтому концентрация живых лактобактерий в кислом пиве сохранялась дольше, чем в обычном светлом эле (табл. 1–3).

По представленным результатам видно (табл. 2), что можно получить кислое пиво, обогащенное пробиотическими лактобактериями *Lactobacillus plantarum 8P-A3*, со сроком хранения не менее 3 месяцев в холодильнике и 1–2 месяца при комнатной температуре. Кислое пиво, обогащенное пробиотиками *Lactobacillus acidophilus*, хранилось значительно меньше.

Таблица 2

Изменение концентрации живых клеток лактобактерий штамма *Lactobacillus plantarum 8P-A3* в кислом пиве, КОЕ/см^3

Вариант инокуляции лактобактерий	До брожения (вместе с дрожжами)		После брожения	
Температура хранения, °С	6 ± 2	25 ± 2	6 ± 2	25 ± 2
Концентрации живых клеток лактобактерий, КОЕ/см^3				
До брожения	(1,1±0,1) × 10^7		-	
После окончания брожения (11 суток)	(7,1±0,5) × 10^7		(1,7±0,1) × 10^7	

Окончание табл. 2

Вариант инокуляции лактобактерий	До брожения (вместе с дрожжами)		После брожения	
После 1 недели хранения	$(4,1\pm0,1) \times 10^7$	$(1,9\pm0,1) \times 10^7$	$(9,4\pm0,6) \times 10^6$	$(2,3\pm0,1) \times 10^7$
После 2 недель хранения	$(3,8\pm0,4) \times 10^7$	$(7,8\pm0,5) \times 10^6$	$(8,4\pm0,6) \times 10^6$	$(1,6\pm0,1) \times 10^7$
После 1 месяца хранения	$(1,6\pm0,1) \times 10^7$	$(4,1\pm0,4) \times 10^6$	$(4,9\pm0,1) \times 10^6$	$(1,6\pm0,1) \times 10^7$
После 2 месяцев хранения	$(1,3\pm0,1) \times 10^7$	$(5,9\pm0,6) \times 10^4$	$(4,2\pm0,4) \times 10^6$	$(2,5\pm0,1) \times 10^6$
После хранения в течение 3 месяца	$(4,7\pm0,1) \times 10^6$	–	$(3,5\pm0,4) \times 10^6$	$(3,1\pm0,1) \times 10^3$

Таблица 3

Изменение концентрации живых клеток лактобактерий *Lactobacillus acidophilus* в кислом пиве, КОЕ/см^3

Вариант инокуляции лактобактерий	До брожения (вместе с дрожжами)		После брожения	
Температура хранения, °С	6 ± 2	25 ± 2	6 ± 2	25 ± 2
Концентрации живых клеток лактобактерий, КОЕ/см3				
До брожения	$(3,3\pm0,1) \times 10^6$		–	
После окончания брожения (11 суток)	$(7,2\pm0,6) \times 10^5$		$(3,5\pm0,1) \times 10^6$	
После 1 недели хранения	$(8,1\pm0,6) \times 10^5$	$(1,4\pm0,1) \times 10^6$	$(3,3\pm0,1) \times 10^6$	$(1,3\pm0,1) \times 10^6$
После 2 недель хранения	$(2,6\pm0,1) \times 10^6$	$(3,0\pm0,3) \times 10^5$	$(1,8\pm0,1) \times 10^5$	Менее 5×10^3
После 1 месяца хранения	$(1,0\pm0,1) \times 10^6$	$(2,2\pm0,1) \times 10^5$	$(1,8\pm0,1) \times 10^5$	Менее 5
После 2 месяцев хранения	$(3,2\pm0,1) \times 10^5$	–	–	–

Можно организовать производство кислого пива с инокуляцией лактобактериями *Lactobacillus plantarum 8P-A3* как до, так и после брожения. Только с экономической точки зрения более рационально осуществлять инокуляцию пробиотиками после брожения в готовый напиток (после фильтрации и/или пастеризации). Хранить такой напиток можно не только в холодильнике, но и при комнатной температуре, только при комнатной температуре срок годности будет меньше. Это связано, скорее всего, с более активным метаболизмом лактобактерий при комнатной температуре (по сравнению с холодильником) и более быстрым расходованием питательных веществ.

Для установления наиболее оптимального варианта хранения и возможных сроков годности напитка, обогащенного пробиотическими лактобактериями, при внесении различных питательных добавок для поддержания лактобактерий необходимо продолжить исследование.

Выводы. При добавлении пробиотических микроорганизмов в светлый эль с последующим хранением в холодильнике наблюдалось значительное снижение концентрации бифидобактерий уже в первую неделю хранения, а лактобактерий – на второй неделе хранения. Таким образом, при простом добавлении пробиотических микроорганизмов в светлый эль не удалось получить пиво, обогащенное пробиотиками, с приемлемым сроком хранения (хотя бы 1 месяц).

Удалось получить кислое пиво, обогащенное пробиотическими лактобактериями *Lactobacillus plantarum 8P-A3*, со сроком хранения не менее 3 месяцев в холодильнике и 1–2 месяца при комнатной температуре. В течение этого времени концентрация живых лактобактерий была не ниже 10^6 КОЕ/см^3, что удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 55577-2013 [2].

Планируется продолжить исследования дальше, чтобы выяснить, как влияет на выживаемость пробиотических микроорганизмов в пиве и пивных напитков хмель и различные добавки, в том числе для поддержания жизнедеятельности лакто- и бифидобактерий.

Библиографический список

1. Биохимия брожения пива. URL: https://link.springer.com/book/10.1007 %2F978-3-319-15189-2#about (дата обращения 03.02.2021).

2. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности (с Изменением № 1): принят 06.09.2013; действ. с 01.01.2015. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200107585 (Дата обращения: 07.02.2021).

3. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124386 (дата обращения 03.02.2021).

4. Ражапов Б. Т., Красноселова Е. А. Иммунитет человека в современных реалиях // Сборник статей по материалам 75-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2019 год : сб. статей. К., 2020. С. 627–629.

5. Мостокалова Е. А. Проблемы снижения иммунитета в РФ и пути решения данной проблемы // Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории : сб. статей. С., 2016. С. 116–119.

6. Таточенко А. Л., Таточенко И. М., Бурыкина Е. А. Выявление трендов развития пивоваренной отрасли России на основе анализа динамики душевого потребления пива. М. :

МГУ, 2019. 154–160 с. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41265477 (дата обращения 03.02.2021).

7. Microbial Dynamics in Traditional and Modern Sour Beer Production/ Anna Dysvik, Sabina Leanti La Rosa, Gert De Rouck, Elling-Olav Rukke, Bjørge Westereng, Trude Wicklunda // Appl Environ Microbiol. 2020. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7357471/ (published: 02.07.2020).

8. Mei Zhi Alcine Chan, Jian Yong Chua, Mingzhan Toh, Shao-Quan Liu. Survival of probiotic strain Lactobacillus paracasei L26 during co-fermentation with S. cerevisiae for the development of a novel beer beverage // Food Microbiology. 2019. Vol. 8. P. 541–550. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31027817/ (published: 07.04.2019).

9. Role of probiotics in health and disease: a review. Varun Pratap Singh, Jagannath Sharma, Shankar Babu, Rizwanulla, Anshul Singla // Journal Of Pakistan Medical Association. 2013. Vol. 63, P. 253. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23894906/ (published: 02.2013).

Сравнительный анализ существующих биоинсектицидов РФ

Л. В. Устюжанинова [a], Р. Ю. Завалин [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097709@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Широкое применение химических пестицидов обусловлено их эффективным действием, но они имеют негативное влияние на экологическую обстановку. Чтобы устранить данную проблему, были созданы биопрепараты на основе микроорганизмов. В статье рассмотрены достоинства и недостатки ряда биоинсектицидов, а также предложены пути устранения последних. Основными недостатками оказались: низкая эффективность препаратов при недостаточной влажности, небольшой срок хранения, высокая чувствительность к воздействию солнечных лучей. Кроме того, некоторые препараты избирательно действуют только на определенных насекомых-вредителей, что снижает их эффективное действие на широкий спектр вредителей. Для повышения сроков хранения микроорганизмов и защиты их от внешних факторов, например, можно использовать иммобилизованные препаративные формы. Также для повышения эффективности биопрепарата применяются способы совмещения нескольких микроорганизмов.

Ключевые слова: биоинсектицид, биопрепарат, насекомые-вредители, растениеводство.

Введение. В сельскохозяйственном растениеводстве большой проблемой являются насекомые вредители. Потери урожая от вредных организмов достигают до 30–50 %. Чтобы улучшить выход продукта, используются различные средства, самым распространенным являются химические пестициды [6].

Обладая высокой эффективностью действия против вредителей, они имеют и ряд проблем. Накапливаясь в окружающей среде и в самих растениях, синтетические химические вещества влияют на здоровье людей и животных. Их действие распространяется и на не целевые полезные объекты, что негативно отражается на урожае. Постоянное применение химических средств вызывает резистентность у насекомых-вредителей, из-за чего увеличиваются нормы расхода пестицидов [16].

Экологически безопасной альтернативой химическим пестицидам служат биологические препараты, созданные на основе природных микробных агентов регуляции численности фитофагов [16].

Биоинсектициды – биологические препараты, созданные на основе микроорганизмов или их метаболитов, направленные против вредных насекомых. На данный момент самыми распространенными являются микробные биоинсектициды, но также существуют препараты на основе актиномицетов, вирусов,

грибов и нематод. Весьма перспективны препаративные формы комбинированного типа, включающие в себя несколько видов микроорганизмов, либо специальные технологии применения нескольких различных биоинсектицидов, в сочетании которых повышается эффективность защиты растений [7].

Целью работы является анализ рынка биоинсектицидов Российской Федерации и разработка предложений о способах их совершенствования.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи: найти наиболее востребованные на рынке РФ биоинсектициды, проанализировать их состав, достоинства и недостатки, а также предложить пути устранения недостатков и повышения эффективности данных препаратов, чтобы учесть это при создании нового биоинсектицида.

Ведущий подход. При работе с научно-технической и патентной информацией использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание. Для анализа рынка препаратов использовались «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов» [8], разрешенных к применению на территории Российской Федерации, научно-исследовательские работы и интернет-источники.

Для сравнения были взяты следующие биопрепараты: «Битоксибациллин», Лепидоцид, Боверин, Гаупсин, Фитоверм, Энтонем-F, Биостоп, Мадекс Твин.

Результаты исследований, их обсуждение. Чтобы продемонстрировать наглядно основные достоинства и недостатки выбранных биоинсектицидов, после анализа и обобщения информации по данным препаратам была составлена таблица [1–5, 9, 10, 12, 15, 17, 18].

Достоинства и недостатки биоинсектицидов РФ

Препарат	Состав	Достоинства	Недостатки
«Битоксибациллин»	Бактериальные споры, белковые кристаллы (дельта-эндотоксин) и термостабильный b-экзотоксин культуры *Bacillus thuringiensis var. thuringiensis*	Может применяться в любую фазу развития растений; действие на широкий спектр вредителей; в указанных нормах не обладает фитоксичностью и безопасен для животных, пчел и энтомофагов.	Малоэффективен для яиц вредителей и покоящиеся личиночные стадии – пупарии; мало эффективен от вредителей, которые не надгрызают кожицу растения, а прокалывают ее стилетом;

Продолжение таблицы

Препарат	Состав	Достоинства	Недостатки
		длительный период защитного действия	высокие нормы расхода при использовании их против колорадского жука; экзотоксин *Bacillus thuringiensis* ядовит для некоторых полезных почвенных микроорганизмов
«Лепидоцид»	Клеточные культуры и споры продуцента *Bacillus thuringiensis var. Kurstaki*, дельта-эндотоксин белково-кристаллической формы, инертный наполнитель, который обеспечивает стабильность и сохранность препарата	При применении в рекомендуемых нормах расхода безопасен для животных, пчел и энтомофагов; препарат не накапливается в растениях и плодах; активность препарата слабо зависит от температуры; лепидоцид полностью совместим с другими биопрепаратами	Слабо действует на имаго; действует избирательно, то есть поражает лишь чешуекрылых вредителей; действует только на грызущих; не уничтожает объекты устранения на 100 %, т. е. требуется более одной обработки за сезон; значительный расход препарата; неспособность удерживаться на растениях
«Боверин»	Активным компонентом средства считаются споры энтомопатогенных грибов *Beauveria bassiana*	Эффективен практически на всех стадиях развития насекомого; препарат обладает пролонгированным действием; безвредность для людей, животных, пчел; широкий спектр действия на вредителей	Малоэффективен при пониженной влажности
«Гаупсин»	Водная суспензия штаммов бактерии *Pseudomonas aureofaciens* В-306 (1МВ В-7096) и *Pseudomonas aureofaciens* В-111 (1МВ В-7097), продукты их метаболизма, стартовые дозы макроэлементов (N, P, K)	Оказывает еще и фунгицидное действие; стимулирует питание растений и улучшает рост корневой системы; проникая в сокодвижение, бактерии усиливают иммунитет растения; не токсичен для человека и животных, в том числе пчел, не накапливается в растениях, почве, не влияет на вкус выращиваемой продукции	Недолгое время хранения
«Фитоверм»	Действующее вещество – Аверсектин С, природная смесь четырех авермектинов B1a, A1a, A2a, B2a, продуцируемая микроорганизмами *Streptomyces avermectilis*	Быстрое время воздействия; действие на широкий спектр вредителей; не загрязняет окружающую среду, быстро разрушаясь в воде и почве	Незначительные осадки или обильная роса значительно снижают эффективность препарата, а также она зависит от температуры воздуха; нельзя смешивать с другими препаратами, имеющими щелочную реакцию; среднеопасен для пчел, не рекомендуется применять во время цветения; у ряда растений вызывает ожоги на листьях

Окончание таблицы

Препарат	Состав	Достоинства	Недостатки
«Энтонем-Ф»	Основа препарата – нематоды вида *Steinernema feltiae* штамм SRP 18-91	Длительно сохраняются в почве без хозяина (более 2 лет); поражают только насекомых; абсолютно безопасны для человека и животных; безопасны для большинства полезных членистоногих. Действуют на широкий спектр насекомых-вредителей	Условия хранения и транспартировки; нематоды очень чувствительны к ультрафиолетовым лучам; необходимо поддерживать высокую влажность почвы в течение нескольких дней после внесения
«Биостоп»	*Bacillus thuringiensis* + *Beauveria bassiana* + *Streptomyces sp.* штамм 3NN	Действует в отношении широкого спектра вредных насекомых; не обладает фитотоксичностью; применяется в любую фазу развития растений; совместим в баковых смесях с химическими пестицидами (кроме ртуть и хлор содержащих) и биологическими препаратами	Имеет минусы продуцентов, находящихся в составе
«Мадекс Твин»	*Cydia pomonella* (Вирус гранулеза яблонной плодожорки)	Действует только против яблонной плодожорки; нетоксичен для других насекомых и животных; сочетается со смачиваемой серой и обычными фунгицидами или пестицидами; хорошая фиксация на поверхности растений	Не сочетается с продуктами, содержащими медь; неприменим для поражения нескольких вредных насекомых

Биоинсектициды имеют множество достоинств, основным из которых можно считать их экологичность, так как основным компонентом являются микроорганизмы и их метаболиты, которые при правильном использовании не являются токсичными для окружающей среды. Помимо этого микробиологические препараты не так сложны в производстве.

Из данных таблицы можно заметить, что все достоинства и недостатки биоинсектицидов зависят от их состава. Например, микробиологический препарат «Битоксибациллин» действует на широкий спектр микроорганизмов и безопасен для животных, пчел и энтомофагов, но малоэффективен против яиц вредителей и насекомых, не надгрызающих растение. В свою очередь, вирусные препараты,

например «Мадекс Твин», благодаря своей специфичности действия эффективен против конкретного насекомого вредителя, но не действует на других, что будет недостатком, если необходимо избавится от нескольких вредителей.

Из перечисленных в таблице препаратов можно выделить препараты на основе бактерий *Bacillus thuringiensis*, являющиеся самыми распространенными биоинсектцидами. Они легки в производстве, имеют долгий срок хранения благодаря способности спорообразования продуцента, безопасны для человека, действуют на многих насекомых вредителей, при этом не влияют на полезных насекомых. Также стоит упомянуть препараты на основе энтомопатогенных грибов, вирусов и нематод, являющимися одними из самых перспективных в применении для защиты растений. Вирусные препараты обладают строгой специфичностью действия, что помогает им действовать только на один вид насекомого, никак не действуя на другие. Грибные биоинсектициды обладают высокой эффективностью и увеличенной продолжительностью действия (пролонгированное действие). Нематоды же, работая вместе с симбиотическими бактериями, обладают высокой вирулентностью и практически не вызывают резистентность у насекомых, а также могут существовать в инактивированном состоянии без питания более двух лет.

Для повышения эффективности биопрепаратов можно применять методы их усовершенствования. Например, чтобы битокибациллин эффективнее действовал на яйца вредителей, стоит учитывать определенные периоды, когда яйцо более чувствительно к препарату [14].

Совмещая разные виды энтомопатогенов, можно добиться повышения их общей биологической активности. Один из таких примеров – это совместное применение дейтеромицетов и *Bacillus thuringiensis Berliner*, которые дали лучшую эффективность при использовании на колорадском жуке [11].

Сильно влияет и сам выбор микроорганизмов, которые будут использованы в препарате. Стоит учитывать их влияние на насекомых вредителей, взаимодействие с полезными насекомыми, токсикогенные свойства к растениям, животным и человеку [16].

Также стоит упомянуть про использование иммобилизованной препаративной формы, которая может решить проблемы с хранением вегетативных клеток, значительно снижает уровень контаминации и защиту клеток от внешних физических воздействий [13].

Выводы. Проанализированы состав, достоинства и недостатки ряда биоинсектицидов: «Битоксибациллин», Лепидоцид, Боверин, Гаупсин, Фитоверм, Энтонем-F, Биостоп, Мадекс Твин. Выявлено, что все достоинства и недостатки биоинсектицидов зависят от их состава. Для повышения эффективности биопрепаратов можно применять методы их усовершенствования. Например, применять препарат в определенный период; использовать иммобилизованные препаративные формы; совмещать нескольких микроорганизмов и/или их метаболитов в составе препарата.

Таким образом, при разработке нового биоинсектицида особое внимание нужно уделить выбору продуцентов и составу коммерческой формы препарата.

Библиографический список

1. Аверсектин С. URL: https://www.pesticidy.ru/active_substance/aversectin (дата обращения 03.02.2021).
2. Биоинсектицид Лепидоцид: назначение, свойства и порядок применения. URL: https://udobreniya.info/obrabotka/lepidocid/#h2_1 (дата обращения 02.02.2021).
3. Биостоп. URL: http://agrokom-bio.ru/?p=49 (дата обращения 04.02.2021).
4. Битоксибациллин: средство от вредителей, проверенное временем. URL: https://udobreniya.info/obrabotka/bitoksibacillin/ (дата обращения 02.02.2021).
5. В помощь садоводу многофункциональный биопрепарат Гаупсин (инструкция по применению). URL: https://glav-dacha.ru/gaupsin-instrukciya-po-primeneniyu/ (дата обращения 02.02.2021).
6. Гольдин Е. Б. Биологическая защита растений в XXI веке: тенденции и перспективы // Агропромышленный комплекс Крыма в XXI веке : научные труды Крымского государственного аграрного университета. 2002. № 68. С. 122–131.
7. Гольдин Е. Б. Биологическая защита растений в свете проблем XXI века // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2.
8. Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации : ред. от 6.08.2020 // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Данилова Т. А., Данилов Л. Г., Синицына С. М. Перспективы использования энтомопатогенных нематод против проволочников на картофеле в органическом земледелии Северо-Западного региона РФ // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 8 (177).
10. Инструкция по применению Боверина и состав препарата, дозировка и аналоги. URL: https://dachamechty.ru/insektitsid/boverin.html (дата обращения 02.02.2021).
11. Крюков В. Ю. и др. Перспективы применения энтомопатогенных гифомицетов (Deuteromycota, Hyphomycetes) для регуляции численности насекомых // Евразиатский энтомологический журнал. 2007. Т. 6. № 2. С. 195–204.

12. Листопадова Е. С., Нефедова М. В., Агасьева И. С. Влияние биологических препаратов на комплекс энтомофагов // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 2 (21) Ч. 2. С. 10–11.

13. Марквичев Н. С., Чекалова К. В., Алексеева О. Б. Возможности продления срока хранения и периода активности биопрепаратов // Гавриш. 2006. № 3. С. 27–29.

14. Патыка Т. И., Патыка В. Ф. Токсигенные особенности энтомопатогенных бактерий bacillus thuringiensis // Корми і кормовиробництво. 2009. № 64. С. 128–136.

15. Фитоверм, КЭ. URL: https://floralworld.ru/insecticid/phitoverm.shtml (дата обращения 03.02.2021).

16. Штерншис М. В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России // Вестник томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18).

17. Энтонем-F. URL: https://kartofan.org/entonem-f-dlya-obrabotki-kartofelya.html (дата обращения 03.02.2021).

18. MADEX TWIN. URL: https://bio-group.net/portfolio/madex-twin/ (дата обращения 04.02.2021).

Лактобактерии как компонент косметических средств

Л. В. Устюжанинова [a], У. О. Земцова [b], В. А. Вятер [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097421@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В последние годы растет интерес к использованию и созданию новой «натуральной», «чистой» и «гипоаллергенной» косметики, свободной от химических веществ синтетического происхождения, в том числе от «вредных» отдушек и консервантов. Сохранить микробиологическую чистоту продукции без использования антимикробных веществ вообще практически невозможно, поэтому синтетические вещества пытаются заменить на природные, натуральные. Однако некоторые натуральные ингредиенты (например, экстракт миндаля, шалфея, пихты и другие) сами могут вызвать раздражение кожи, сенсибилизацию и аллергические реакции. Поэтому поиск новых путей повышения антимикробной защиты косметических средств актуален. Одним из вариантов может служить использование пробиотических микроорганизмов, в частности лактобактерий. Особенно это целесообразно для средств интимной гигиены, так как лактобактерии являются облигатными обитателями женского урогенитального тракта. Поэтому целью данной работы является выделение молочнокислых микроорганизмов из женского урогенитального тракта, которые можно было бы использовать в производстве косметических средств для интимной гигиены, и изучение основных пробиотических свойств выделенных изолятов. У выделенных изолятов определяли окраску по Граму, наличие каталазы, подвижность, кислотообразование, антагонистическую активность и устойчивость к антибиотикам по методикам из соответствующей нормативно-технической документации или учебно-методических пособий. Оказалось, что среди выделенных изолятов, по морфологии колоний похожих на МКБ, больше половины к ним не относятся. Оставшиеся культуры проявили антагонистическую активность и устойчивость к антибиотикам по-разному. Необходимо повторить некоторые эксперименты с большим количеством антибиотиков и тест-культур, чтобы более обоснованно выбрать культуру для дальнейших исследований.

Ключевые слова: лактобактерии, пробиотики, парфюмерно-косметические средства, средства для интимной гигиены.

Введение. В полном соответствии с экологическими тенденциями последнего десятилетия некоторые производители косметических средств провозгласили создание новой «натуральной», «чистой» и «гипоаллергенной» косметики, свободной от химических веществ синтетического происхождения, в том числе от «вредных» отдушек и консервантов [1].

Без использования веществ с антимикробной активностью (консервантов и т. п.) может пострадать антимикробная защита парфюмерно-косметических средств, что может привести к размножению микроорганизмов в продукте, что в лучшем случае закончится порчей продукта, а в худшем – может негативно сказаться на здоровье потребителей. Замена синтетических консервантов на

природные растительные экстракты не всегда оправданна, например, некоторые натуральные ингредиенты (экстракт миндаля, шалфея, пихты и многих других веществ природного происхождения) сами могут вызвать раздражение кожи, сенсибилизацию и аллергические реакции. Тем не менее существует несколько способов изготовления косметических средств, позволяющих исключить введение консервантов. К таким способам относятся [1]:

1. Введение отдушки.
2. Специальная упаковка.
3. Уменьшение содержания доступной воды.
4. Включение в рецептуру оксида цинка.

Так как возрос интерес к нетрадиционным методам защиты косметических средств от микробиологического заражения, то с недавних пор появился еще один способ предотвратить контаминацию. Стало интересным вариантом применение пробиотических микроорганизмов, в том числе молочнокислых бактерий (МКБ), не только в качестве полезных обогатителей парфюмерно-косметических средств (ПКС), но и как консерванта. Использование лактобактерий позволит существенно повысить эффективность и безопасность продукта, а также предотвратит размножение в нем посторонней флоры [1, 4].

Лактобактерии занимают многие ниши внутри и на поверхности тела человека: в респираторном, желудочно-кишечном и урогенитальном тракте. Они обладают различными полезными для человека свойствами, например антагонистической активностью в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, в том числе за счет активного кислотообразования [2, 4, 7].

Особенно большое значение лактобактерии имеют для женской микрофлоры. Во влагалище лактобациллы поддерживают низкий pH 3,5–4,5 (в основном за счет образования молочной кислоты) и препятствуют колонизации его патогенными и условно-патогенными микроорганизмами. У здоровой женщины по результатам анализа в мазке определяется всего 95 % лактобактерий. Нарушение данной концентрации бактерий приводит к изменению равновесия микрофлоры, которое проявляется в виде множества неприятных процессов [4]:

– увеличивается объем и изменяется цвет выделений из влагалища;

– появляются неприятный запах, зуд на половых органах снаружи, жжение и боль в процессе полового акта.

На сегодняшний день существует большое количество препаратов для восстановления микрофлоры влагалища (свечи, таблетки, капсулы, гели). Они, без сомнения, эффективны, удобны в использовании, но всем известно, что лучше предупредить заболевание, чем заниматься длительным и дорогостоящим лечением. Поэтому использование парфюмерно-косметических средств для интимной гигиены, в составе которых будут содержаться пробиотические лактобактерии, станет необходимой мерой профилактики заболеваний урогенитального тракта.

Целью данной работы является выделение молочнокислых микроорганизмов из женского урогенитального тракта, которые можно было бы использовать в производстве косметических средств для интимной гигиены, и изучение основных пробиотических свойств выделенных изолятов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

– выделить молочнокислые микроорганизмы из женского урогенитального тракта;

– изучить основные свойства для первичного подтверждения принадлежности выделенных изолятов к группе МКБ;

– исследовать кислотообразование, антагонистическую активность и устойчивость к антибиотикам выделенных микроорганизмов.

Методы исследования. Мазки из урогенитального тракта брали стерильным тампоном-зондом, смоченным в физиологическом растворе хлорида натрия, и сразу штрихом высевали на чашки Петри. Чистые культуры молочнокислых бактерий выделяли на «Питательной среде для выделения и культивирования лактобацилл сухой (Лактобакагар)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–4 суток.

Отдельные колонии со среды лактобакагар (ЛБА), по морфологии похожие на МКБ, высевали штрихом секторами на среду MRS [2] с мелом для выявления активного кислотообразования.

Далее проверяли основные свойства МКБ: тест на наличие каталазы (должна отсутствовать); окраска по Граму (Грам+, неспорообразующие) и исследование подвижности бактерий (как правило, неподвижны) [2, 8].

Кислотообразование оценивали по растворению мела при культивировании бактерий на среду MRS [2] с мелом и по скорости образования сгустка при ферментации на молоке.

Антагонистическую активность определяли методом перпендикулярных штрихов по отношению к *E. coli* М-17 и *B. cereus* согласно [6] на средах ЛБА и ПДЛ (плотная питательная среда на основе ПД-бульона производства ОАО «Биомед им. И. И. Мечникова» с добавлением лактозы в количестве 10 г/дм^3 и агар-агара в количестве 15 г/дм^3).

Устойчивость к антибиотикам выделенных микроорганизмов определяли диско-диффузионным методом по [5] на средах ЛБА и ПДЛ.

Концентрацию живых клеток молочнокислых бактерий определяли чашечным методом по ГОСТ ISO 7218-2015 [3] на среде ЛБА. Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–4 суток.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения у выделенных изолятов кислотообразования на среде с мелом, наличия каталазы, окраски по Граму и формы клеток, подвижности и отношения к кислороду представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные свойства выделенных молочнокилых бактерий

№	Обозначение изолята	Кислотообразование на среде MRS с мелом	Каталаза	Окраска по Граму	Форма клеток	Подвижность	Отношение к О2
1	ПС8	+/–	–	Г+	палочки	–	Ан
2	ПС 9	+/–	+	Н	Н	Н	Н
3	УЛВ1	+	–	Г+	палочки	–	Ан
4	УЛВ2	+	–	Г+	палочки	+/–	Ан
5	УЛВ3	+	–	Г+	палочки	–	Ан

Окончание табл. 1

№	Обозначение изолята	Кислотообразование на среде MRS с мелом	Каталаза	Окраска по Граму	Форма клеток	Подвижность	Отношение к О2
6	УЛВ4	+	+	Н	Н	Н	Н
7	УЛВ5	+	–	Г+	короткие палочки	–	Ан
8	УЛВ 6	+	+	Н	Н	Н	Н
9	УЛВ 7	+	+	Н	Н	Н	Н
10	УЛВ 8.1	+	–	Г+	палочки	–	Ан
11	УЛВ 8.2	+/–	Н	Н	Н	Н	Н
12	УЛВ 9Е	+	Н	Н	Н	Н	Н
13	№44	+	–	Г+	короткие палочки	–	Ан
14	№45	+	+	Н	Н	Н	Н
15	№46	+	+	Н	Н	Н	Н

Примечания:
«+» – положительное значение признака/наличие признака;
«– » – отрицательное значение признака/отсутствие признака;
«+/– » – слабое проявление признака или разный результат в параллельных пробах;
«Н» – признак не определялся;
«Г+» – Грам-положительная культура;
«Ан» – анаэробная культура

Из 15 выделенных изолятов только шесть могут относиться к группе МКБ., но это надо еще проверить.

Определение концентрации живых клеток в суточной культуре выделенных изолятов после ферментации на бульоне MRS показало, что все выделенные культуры могут накапливать биомассу в концентрации 10^8 КОЕ/мл.

Результаты определения антагонистической активности методом перпендикулярных штрихов по отношению к *E. coli* М-17 и *B. cereus* на средах ЛБА и ПДЛ представлены в табл. 2 (средние значения по 3–6 определениям). Изоляты ПС8 и УЛВ8.1 не удалось реанимировать после месячного хранения, поэтому они не исследовались дальше. Контроль роста тест-культур на средах ЛБА и ПДЛ был положительным. На среде ЛБА исследуемые культуры проявили высокую антагонистическую активность. На среде ПДЛ активность была ниже. Изоляты УЛВ 2 и УЛВ 3 проявили высокую антагонистическую активность и на среде ПДЛ (табл. 2).

Таблица 2

Определение антагонистической активности исследуемых культур методом перпендикулярных штрихов на разных средах

Исследуемая культура	Питательная среда	Зона задержки роста тест-культуры, мм	
		Bacillus cereus	*Escherichia coli*
УЛВ1	ЛБА	Более 40	Более 40
	ПДЛ	2,5	10,0
УЛВ2	ЛБА	Более 30	Более 35
	ПДЛ	23,6	25,1
УЛВ3	ЛБА	Более 25	Более 40
	ПДЛ	23,5	26, 0
УЛВ5	ЛБА	Более 30	Более 30
	ПДЛ	10,7	10,1
№ 44	ЛБА	Более 25	Более 30
	ПДЛ	0	9,3

Результаты определения устойчивости исследуемых культур к антибиотикам диско-диффузионным методом на средах ЛБА и ПДЛ представлены в табл. 3 (средние значения по 4–6 определениям). Наиболее чувствительными к антибиотикам оказались изоляты УЛВ2 и УЛВ3. Изоляты УЛВ1, УЛВ5 и № 44 в некоторых случаях проявили устойчивость к некоторым антибиотикам, например к полимексину, а в других получилось промежуточное значение.

Таблица 3

Определение устойчивости исследуемых культур к антибиотикам диско-диффузионным методом на разных средах

Исследуемая культура	Питательная среда	Диаметр зоны задержки роста исследуемых культур антимикробными препаратами, мм (диаметр диска 8 мм)				
		Оксициллин	Бензилпенициллин	Гентамицин	Ванкомицин	Полимиксин
УЛВ1	ЛБА	9,5	19	7,5	18	7,5
	ПДЛ	9	10	14	17	6,5
УЛВ2	ЛБА	24	20	22	20	7
	ПДЛ	27	17	32	24	6,5
УЛВ3	ЛБА	0	25	34	22	6,5
	ПДЛ	33	17	21	0	6
УЛВ5	ЛБА	15,5	13	12	14	7
	ПДЛ	10	11	25	22	7
№ 44	ЛБА	14	18	9,5	10	6
	ПДЛ	8	17	25	17	6

Выводы. Было выделено 15 изолятов, по морфологии колоний похожих на молочнокислые бактерии. У выделенных изолятов определили окраску по Граму, наличие каталазы, подвижность, кислотообразование, антагонистиче-

скую активность и устойчивость к антибиотикам. Оказалось, что среди выделенных изолятов больше половины не относятся к МКБ. Оставшиеся культуры проявили антагонистическую активность и устойчивость к антибиотикам по-разному. Необходимо повторить некоторые эксперименты с изолятами УЛВ1, УЛВ5 и № 44, используя большее количество антибиотиков и тест-культур, чтобы более обоснованно выбрать микроорганизм для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Антимикробные агенты, используемые в качестве консервантов. URL: https://my biblioteka.su/4-94953.html (дата обращения 28.01.2021).

2. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними : учеб.-метод. пособие / Д. Р. Яруллина, Р. Ф. Фахруллин. Казань : Казанский ун-т, 2014. 51 с.

3. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124386 (дата обращения 05.02.2021).

4. Лактобактерии для женской микрофлоры. Норма, таблетки, свечи, препараты при беременности. URL: https://healthperfect.ru/laktobakterii-dlya-zhenskoy-mikroflory.html (дата обращения 28.01.2021).

5. МУК 4.2.1890-04 Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200038583 (дата обращения 28.01.2021).

6. ОФС.1.7.2.0009.15 Определение специфической активности пробиотиков. URL: https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-7-2-0009-15-opredelenie-spetsificheskoj-aktivnosti-probiotikov/ (дата обращения 28.01.2021).

7. Промышленная микробиология : учеб. пособие для вузов по спец. «Микробиология» и «Биология» / З. А. Аркадьева, А. М. Безбородов, И. Н. Блохина и др. ; под ред. Н. С. Егорова. М. : Высш. шк., 1989. 688 с.

8. Руководство к практическим занятиям по микробиологии : учеб. пособие / под ред. И. С. Егорова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

Старение пивных дрожжей и факторы, влияющие на этот процесс

Л. В. Устюжанинова [a], Т. А. Ильина [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бм-2101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud114066@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Старение культуры дрожжей играет главную роль в явлении «медленного брожения» и подобных проблем, с которыми может столкнуться пивоварня. Активность культуры и её старение зависят от разных факторов. Сохранение жизнеспособной дрожжевой культуры как можно дольше сокращает экономические издержки производства за счёт снижения временных затрат на подготовку дрожжей к внесению в сусло и уменьшения вероятности нарушения хода брожения. Целью данной работы является оценка снижения жизнеспособности пивных дрожжей за один цикл пивоваренного процесса в условиях реального производства. Концентрацию живых пивных дрожжей в отобранных на производстве пробах определяли чашечным методом по ГОСТ ISO 7218-2015, по которому также проводили учёт и обработку полученных результатов. Общее количество живых дрожжей на рассмотренных этапах производственного цикла пивоварения со временем увеличивалось, т. е. отмирания культуры не наблюдалось. Таким образом, в данном случае мы не можем говорить о хронологическом старении культуры. Необходимо исследовать, за какое время (за сколько производственных циклов) происходит хронологическое старение используемых в процессе пивных дрожжей и какие факторы влияют на этот процесс. Результаты могут быть интересны специалистам в области пивоварения.

Ключевые слова: хронологическое старение дрожжей, репликативное старение дрожжей, двухуглеродные метаболиты, ограничение питания.

Введение. Старение дрожжевой культуры играет главную роль в явлении «медленного брожения» и подобных проблем, с которыми может столкнуться пивоварня [4].

Биосинтетическая активность клеток зависит от питания дрожжей, их возраста, который определяется по числу дочерних рубцов на поверхности клеток, физико-химических условий внешней среды [2].

Активность клеток изменяется в связи с осмотическими, гидростатическими, алкогольными, температурными, механическими стрессами, устойчивость к которым зависит как от штаммовых особенностей дрожжей, так и от их физиологического состояния [2].

Хронологическое старение дрожжей

CLS (chronological life span – хронологическая продолжительность жизни) измеряется как выживаемость дрожжевых клеток в стационарной фазе; варьируется для природных изолятов, включая коммерческие штаммы дрожжей,

и обычно короче, чем у лабораторных штаммов, для которых молекулярные причины старения тщательно изучены [6].

На примере дрожжей вида *S. cerevisiae* было рассмотрено влияние различных физических и химических факторов на CLS.

Стрессоустойчивость, особенно окислительная стрессоустойчивость, является ключевым фактором для CLS. Активные формы кислорода (АФК) оказывают негативное влияние на CLS, и, таким образом, антиоксидантные ферменты необходимы для увеличения CLS [6].

В лабораторных условиях показано негативное влияние на CLS двухуглеродных метаболитов – уксусной кислоты и этанола. Кроме того, в качестве вещества, резко способствующего старению, был определён ацетальдегид; также полифенолы кверцетин и ресвератрол неожиданно негативным образом влияют на долговечность дрожжей, поскольку могут влиять на активность некоторых ферментов, а добавление витаминов провоцировало гибель клетки и лизис в конце брожения [6].

В качестве физических факторов, влияющих на продолжительность жизни *S. cerevisiae,* были определены температура, осмолярность и значение pH. Влияние данных факторов рассмотрено для штамма EC1118, выращенного на синтетической полной питательной среде (SC) [6].

Культура, потребившая всю доступную глюкозу, была разделена на 3 аликвоты, каждая из которых была инкубирована при своей температуре (30 °C, 24 °C, 37 °C). Температура инкубирования, равная 37 °C, стала критической для выживания культуры: количество живых клеток сократилось более чем на 99 % в течение первых суток. Напротив, температура инкубирования, равная 24 °C, повышала жизнеспособность культуры (анализ до 3-го дня инкубирования), из чего следует вывод о положительном влиянии пониженной температуры на CLS (рис. 1) [6].

Для проверки влияния осмотического давления на CLS к питательной среде добавлялся осмолит сорбитол. По сравнению с контрольной пробой без сорбитола, увеличенная осмолярность среды за счёт добавления сорбитола в количестве 0,5 M увеличила среднюю и максимальную продолжительность жизни клетки, в то время как добавление сорбитола в количестве 1 M ещё

больше увеличило этот эффект. Таким образом, увеличение осмолярности увеличивает продолжительность жизни дрожжей (рис. 2) [6].

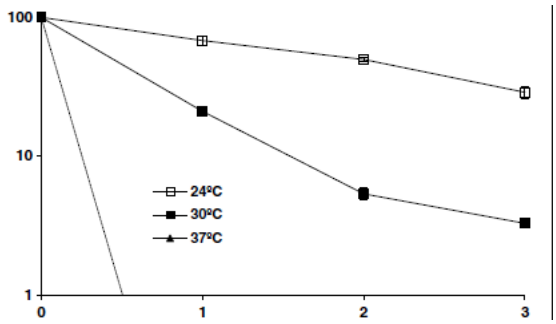


Рис. 1. Влияние температуры на выживание *S. cerevisiae* (EC1118). По горизонтали – дни наблюдения, по вертикали – процент выживших клеток [6]

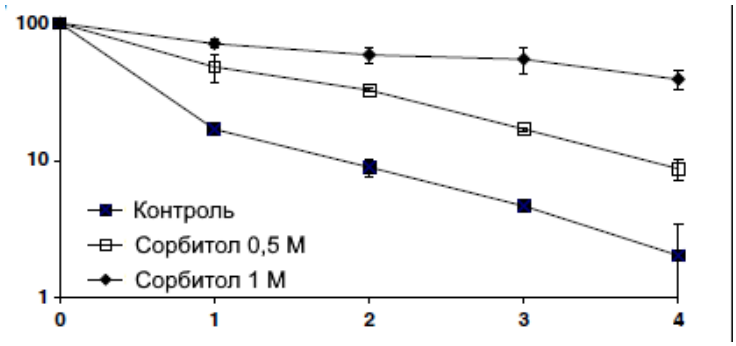


Рис. 2. Влияние присутствия сорбитола в питательной среде на выживание *S. cerevisiae* (EC1118). По горизонтали – дни наблюдения, по вертикали – процент выживших клеток [6]

Базовый pH синтетической полной питательной среды был равен 4.5. В качестве сравнительных уровней pH были выбраны повышенный (5.5) и пониженный (3.5) значения pH. Повышенный pH не оказал существенного влияния на выживаемость клеток, но немного увеличил максимальный срок жизни клетки. Пониженный pH увеличил среднюю продолжительность жизни, но сократил максимальный срок жизни клетки (рис. 3) [6].

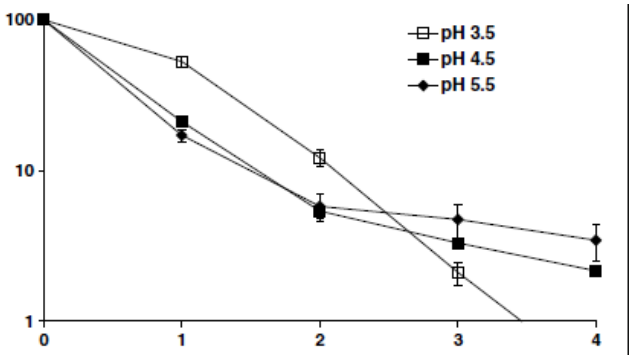


Рис. 3. Влияние pH на выживание *S. cerevisiae* (EC1118). По горизонтали – дни наблюдения, по вертикали – процент выживших клеток [6]

Репликативное старение дрожжей

Репликативная продолжительность жизни эукариотической клетки не зависит от условий роста и хронологического возраста и полностью определяется количеством делений [4].

Репликативное старение дрожжей может быть измерено путем пересчета количества рубцов на почках на поверхности клетки. Старая дрожжевая клетка отличается по своей морфологии и физиологии от более молодых клеток [7].

Для *S. cerevisiae* средний предел количества делений равняется 30±9 [7]. Для штамма LI 116 путём регистрации количества делений, выполненных каждой клеткой, был получен профиль старения, представленный на рис. 4 [4] (по вертикали – процент выживших клеток, по горизонтали – количество делений).

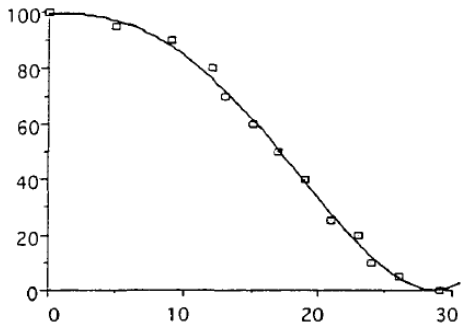


Рис. 4. Профиль репликативного старения *S. cerevisiae* (LI 116).
По горизонтали – количество делений, по вертикали – процент выживших клеток [4]

На примере дрожжей вида *Saccharomyces pastorianus* (штамм HEBRU) было рассмотрено репликативное старение дрожжей в цикле последовательных так называемых «прогонов». Количество дрожжевых клеток зависело от скорости аэрации сусла. Более того, дрожжевые клетки смогли поддерживать продолжительность жизни даже после серии прогонов из-за регулирования аутофагии, теломерного глушения и теломерных генов защиты [3].

Ограничение питания является одним из механизмов, который способен продлить репликативный срок жизни дрожжей [5].

Факторы цитоплазматического старения, специфические гены старения и молодости, повреждение и восстановление ДНК, окислительное повреждение и целостность митохондрий вовлечены в механизм старения [7]. Генетические

исследования показывают, что штаммы, которые имеют дополнительную копию гена SIR2, имеют продолжительность жизни, увеличенную на 40 %, в то время как делеция SIR2 сокращает продолжительность жизни на 50 %; штаммы, несущие дополнительную копию ADH1, демонстрируют увеличенный репликативный срок жизни [5].

Целью данной работы является оценка снижения жизнеспособности пивных дрожжей за один цикл пивоваренного процесса в условиях реального производства.

Для достижения цели работы были сформулированы следующие задачи:

1. Изучение и описание технологического процесса пивоварения в реальных производственных условиях.

2. Отбор проб на этапе подготовки к разбраживанию для определения количества жизнеспособных дрожжей и их анализ.

3. Отбор проб по окончанию брожения для определения количества жизнеспособных дрожжей и их анализ.

Основные методы исследования. Объектами исследования являются пробы сусла, осадка и пива, отобранные на разных этапах одного производственного цикла.

Концентрацию живых пивных дрожжей определяли чашечным методом по ГОСТ ISO 7218-2015 [1]. Использовали среду «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 20 °С в течение 3–5 суток.

Учёт и обработку результатов по определению концентрации живых клеток дрожжей проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [1] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Результаты исследований, их обсуждение

Ход пивоваренного процесса

Подготовка воды (1500 л) для процесса осуществлялась с использованием установки обратного осмоса мощностью 3000 л/сут. Дезинфекция оборудования и тары проводилась раствором надуксусной кислоты в концентрации 0,2 % в течение 5–10 минут.

Затирание засыпи (ячменный и пшеничный солод в соотношении 1:1, производитель Weyermann) массой 245 кг проводилось со следующими температурными паузами: 65 °С – 30 минут (осахаривание, сбраживаемые сахара), 72 °С – 30 минут (осахаривание, несбраживаемые сахара), 78 °С – 10 минут (мешаут, остановка работы бета- и альфа-амилазы).

После фильтрации затора было получено 1100 литров сусла и 500 кг дробины.

Кипячение сусла с хмелем (сорт Cascade) проходило в два этапа:

1. Подготовка охмелённого сусла для разбраживания дрожжей 1-й генерации (элевые дрожжи, штамм US05), хранившихся в ЦКТ (цилиндро-конический танк) при температуре 1,1–1,3 °С – 11 л сусла и 50 г хмеля в течение 80 минут.

2. Кипячение основной массы сусла с хмелем – 1089 литров сусла и 2,15 кг хмеля в течение 90 минут.

Выход охмелённого сусла после кипячения и охлаждения до 20–25 °С в течение 90–100 минут – 1000 л.

Для предварительного разбраживания были использованы отдельно подготовленные 11 л кипячёного охмелённого сусла и 20 л дрожжевого осадка. В момент подготовки к этапу разбраживания был осуществлён пробоотбор – начального сусла, дрожжевого осадка и инокулированного сусла (после внесения дрожжевого осадка). Предварительное разбраживание осуществлялось в течение 180 минут при температуре 20–21 °С. По окончании разбраживания, которое оценивалось по образованию пенной шапки, получившаяся масса была внесена в ЦКТ, в который предварительно была перекачана основная масса сусла. Основное брожение протекало при t = 18 °С в течение 7 дней, созревание молодого пива проходило при t = 17 °С в течение 15 дней, дображивание продукта заняло 3 дня при t = 15 °С. Итого этап брожения проходил в течение 25 дней. По окончании брожения был осуществлён второй пробоотбор – пива и дрожжевого осадка.

Выход готового продукта – 970 л, объём образовавшегося дрожжевого осадка – 70 л. Ожидаемые параметры готового продукта: pH – 5,4, плотность – 11 %, объёмная доля спирта – 3,7 %.

Результаты определения концентрации пивных дрожжей в отобранных пробах представлены в таблице.

Изменение содержания жизнеспособных дрожжевых клеток во время одного цикла пивоварения

Этап	Наименование пробы	Концентрация живых дрожжевых клеток в пробе, КОЕ/мл	Общий объём пробы на этапе, л	Общее содержание живых дрожжевых клеток на этапе, КОЕ
Подготовка к разбраживанию	Начальное незасеянное сусло	Менее 5 (не обнаружено в 0,2 мл)	11	$(9,4\pm0,8)\times10^{10}$
	Осадок до разбраживания	$(4,7\pm0,4)\times10^{6}$	20	
Начало разбраживания	Осадок+сусло	$(7,5\pm0,7)\times10^{6}$	31	$(2,3\pm0,2)\times10^{11}$
Окончание брожения	Осадок	$(1,0\pm0,1)\times10^{8}$	70	$(7,0\pm0,7)\times10^{12}$
	Пиво	$(3,3\pm0,3)\times10^{4}$	970	

Как видно по данным таблицы, общее количество живых дрожжей на рассмотренных этапах производственного цикла пивоварения увеличивалось со временем, т. е. отмирания культуры не наблюдалось. Таким образом, в данном случае мы не можем говорить о хронологическом старении культуры. Необходимо исследовать, за какое время (за сколько производственных циклов) происходит хронологическое старение используемых в процессе пивных дрожжей и какие факторы влияют на этот процесс. Это цель дальнейших исследований.

Выводы. Выбор штамма и обеспечение оптимальных условий пивоваренного процесса являются необходимыми для нормального брожения, что в итоге даёт продукт с предопределёнными характеристиками. Сохранение жизнеспособной дрожжевой культуры сокращает экономические издержки производства за счёт снижения временных затрат на подготовку дрожжей к внесению в сусло и уменьшения вероятности нарушения хода брожения. Поэтому важно знать время хронологического старения культуры, от которого зависит активность культуры и продолжительность её использования в производстве, а также факторы, позволяющие его увеличить.

Библиографический список

1. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124386 (дата обращения 03.02.2021).

2. Меледина Т. В., Давыденко С. Г., Васильева Л. М. Физиологическое состояние дрожжей. СПб. : ИТМО, 2013. 48 с.

3. Analysis of aging in lager brewing yeast during serial repitching / F. Buhlinger, P. Lindner, I. Fetzer et al. // Journal of Biotechnology. 2014. Vol. 187. P. 60–70.

4. Barker M. G., Smart K. A. Morphological Changes Associated with the Cellular Aging of a Brewing Yeast Strain // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 1996. Vol. 54. I. 2. P. 121–126.

5. Chronological and replicative life-span extension in Saccharomyces cerevisiae by increased dosage of alcohol dehydrogenase 1 / G. Reverter-Branchat, E. Cabiscol, J. Tamarit et al. // Microbiology. 2007. Vol. 153. P. 3667–3676.

6. Orozco H., Matallana E., Aranda A. Two-carbon metabolites, polyphenols and vitamins influence yeast chronological life span in winemaking conditions // Microbial Cell Factories. 2012. Vol. 11. URL: https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2859-11-104 (Published: 08 August 2012)

7. Replicative ageing and senescence in Saccharomyces cerevisiae and the impact on brewing fermentations / C. D. Powell, S. M. Van Zandycke, D. E. Quain, K. A. Smart // Microbiology. 2000. Vol. 146. P. 1023–1034.

Исследование эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами

Л. В. Устюжанинова [a], В. А. Матушкин [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097349@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Для предотвращения распространения заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, особое значение приобретает уровень обсемененности воздуха микроорганизмами и способы дезинфекции воздуха. Эффективность использования ультрафиолетового излучения для обработки воздуха зависит от ряда факторов. Целью работы является оценка эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами в аудиториях 4-го корпуса ВятГУ. Отбор проб воздуха производили с помощью импактора «Флора-100» в объеме 100 л на два вида сред (для выращивания бактерий и грибов соответственно); учет результатов осуществляли по МУК 4.2.734-99. Почти во всех сериях экспериментов микробиологические показатели соответствовали классу чистоты помещений А (для ЛПУ и аптек) согласно [4], т. е. общее количество микроорганизмов было не более 200 КОЕ/м^3 до начала работы и не более 500 КОЕ/м^3 во время работы. Четкие выводы относительно эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами на данный момент сделать сложно, но в целом они помогают держать обсемененность воздуха примерно на одном уровне. Планируется продолжить исследования дальше, в т. ч. с повторением уже проведенных экспериментов, для накопления материала и его статистической обработки.

Ключевые слова: ультрафиолет, облучатели закрытого типа, рециркуляторы, дезинфекция воздуха.

Введение. Для предотвращения распространения заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, особое значение приобретает уровень обсемененности воздуха микроорганизмами (патогенными и/или условно-патогенными), способными вызвать те или иные инфекционные заболевания у людей [1, 2, 7]. Хотя нормы обсемененности воздуха микроорганизмами для учебных организаций не установлены [4–6], все равно рекомендуется обрабатывать воздух в присутствии людей с использованием технологий и оборудования, разрешенных к применению в установленном порядке в соответствии с действующими методическими документами. Это оборудование и технологии на основе использования ультрафиолетового излучения (рециркуляторов), различных видов фильтров (в т. ч. электрофильтров) [1, 2, 7].

Эффективность использования ультрафиолетового излучения для дезинфекции воздуха зависит от ряда факторов [6, 7].

Поэтому целью работы является оценка эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами.

Задачи:

– отобрать пробы воздуха для микробиологического исследования до начала работы рециркулятора и во время его работы;

– провести учет полученных результатов и оценить степень эффективности дезинфекции воздуха УФ-облучателями закрытого типа.

Методы исследования. Объектами исследования являются 2 вида ультрафиолетовых облучателей закрытого типа – рециркуляторов:

1) облучатель-рециркулятор воздуха ультрафиолетовый бактерицидный настенный «ОРУБн-3-3-«КРОНТ» (Дезар-3);

2) облучатель-рециркулятор воздуха ультрафиолетовый бактерицидный без маркировки.

Отбор проб воздуха производили с помощью импактора «Флора-100» в объеме 100 л [3]. В каждой точке отбирали 2 пробы: на чашку Петри с питательной средой ГРМ и на чашку Петри с питательной средой Сабуро-ГРМ («Питательная среда № 1 ГРМ» и «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» соответственно, производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск, Россия). Культивирование проб на среде Сабуро осуществляли в термостате при 25 °С в течение 72 часов, на среде ГРМ – при 30 °С в течение 48 часов [3].

Учет результатов осуществляли по МУК 4.2.734-99 [3]. Эффективность дезинфекции воздуха оценивали по снижению обсемененности воздуха.

Первые пробы отбирали в начале рабочего/учебного дня, потом – через определенные промежутки времени. Отбор проб осуществлялся при закрытых окнах и двери, вытяжная вентиляция не работала. Источником возможной небольшой контаминации служил только сам исследователь, отбирающий пробы. Вероятность контаминации была снижена за счет использования СИЗ: сменная обувь, чистый халат, одноразовые медицинская шапочка, маска и перчатки. Но так как вход в аудитории 4-002 и 4-003 осуществлялся из коридора, где обработка УФ-излучением не проводилась, то исключить попадание микроорганиз-

мов из коридора на исследователе и с потоками воздуха было невозможно. Вход в аудиторию 4-005 осуществлялся из аудитории 4-006, где тоже работали УФ-облучатели. СИЗ, используемые при отборе проб, находились в аудитории 4-006, поэтому в данном эксперименте вероятность внесения контаминации с исследователем была максимально снижена.

Результаты исследований, их обсуждение. Исследование эффективности облучателя-рециркулятора воздуха ультрафиолетового бактерицидного без маркировки по обеззараживанию воздуха проводилась в аудитории 4-002 в отсутствие людей и животных. Результаты анализа данных проб воздуха до и после УФ-обработки с помощью исследуемой установки представлены в табл. 1–3.

Исследование эффективности облучателя-рециркулятора воздуха ультрафиолетового бактерицидного без маркировки по обеззараживанию воздуха также проводилось в аудитории 4-005 в отсутствии людей, но при нахождении в помещении лабораторных животных (белых мышей). Результаты анализа данных проб воздуха до и после УФ-обработки с помощью исследуемой установки представлены в табл. 4–6.

Таблица 1

Содержание бактерий до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора без маркировки в аудитории 4-002

Время УФ-обработки воздуха, ч.	Концентрация бактерий в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	40	40	50	0	40	34
0,5	20	20	40	0	10	18
0,5+2	30	30	20	20	30	26

Таблица 2

Содержание грибов до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора без маркировки в аудитории 4-002

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация дрожжей и плесени (суммарно) в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	90	130	150	160	110	128
0,5	80	30	30	90	50	56
0,5+2	100	140	120	130	160	130

Таблица 3

Процентное содержание бактерий и грибов в воздухе аудитории 4-002 до и после УФ-обработки с помощью рециркулятора без маркировки

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация микроорганизмов в воздухе, %	
	бактерий	грибов
0	100	100
0,5	53	44
0,5+2	76	102

Таблица 4

Содержание бактерий до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора без маркировки в аудитории 4-005

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация бактерий в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	60	80	200	150	220	142
0,5	110	140	130	130	130	128
0,5+1	70	100	110	40	90	82
0,5+6	20	110	120	100	120	94

Таблица 5

Содержание грибов до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора без маркировки в аудитории 4-005

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация дрожжей и плесени (суммарно) в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	130	130	130	80	270	148
0,5	90	140	130	110	120	118
0,5+1	80	80	90	40	100	78
0,5+6	60	60	120	70	110	84

Таблица 6

Процентное содержание бактерий и грибов в воздухе аудитории 4-005 до и после УФ-обработки с помощью рециркулятора без маркировки

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация микроорганизмов в воздухе, %	
	бактерий	грибов
0	100	100
0,5	90	80
0,5+1	58	53
0,5+6	66	57

Исследование эффективности облучателя-рециркулятора воздуха ультрафиолетового бактерицидного настенного «ОРУБн-3-3-«КРОНТ» (Дезар-3) по обеззараживанию воздуха проводилось в аудитории 4-003 при отсутствии учебных занятий, когда помещением пользовались только сотрудники ВятГУ, и в день проведения лабораторных работ: два занятия по 4 академических часа с

перерывом между занятиями примерно в 2,5 астрономических часа. Результаты перечисленных проб воздуха до и после УФ-обработки с помощью исследуемой установки представлены в табл. 7–12.

Таблица 7

Содержание бактерий до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора Дезар-3 в аудитории 4-003 при отсутствии занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация бактерий в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	0	20	20	50	90	36
0,5	60	60	30	90	100	68
1,5	50	0	40	0	70	32
6,5	40	80	10	40	50	44

Таблица 8

Содержание грибов до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора Дезар-3 в аудитории 4-003 при отсутствии занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация дрожжей и плесени (суммарно) в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	20	10	0	20	30	16
0,5	10	20	10	10	30	16
1,5	10	30	10	10	10	14
6,5	20	80	50	10	60	44

Таблица 9

Процентное содержание бактерий и грибов в воздухе аудитории 4-003 при использовании рециркулятора Дезар-3 в день отсутствия занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация микроорганизмов в воздухе, %	
	бактерий	грибов
0	100	100
0,5	189	100
1,5	89	88
6,5	122	275

Таблица 10

Содержание бактерий до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора Дезар-3 в аудитории 4-003 при проведении занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация бактерий в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	150	90	70	40	90	88
3	30	50	110	140	110	88
3,5	30	40	60	20	60	42
9	50	20	10	10	10	20
9,5	30	0	10	30	0	14

Таблица 11

Содержание бактерий до и после УФ-обработки с помощью исследуемого рециркулятора Дезар-3 в аудитории 4-003 при проведении занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация дрожжей и плесени (суммарно) в воздухе, КОЕ/м^3					
	Номер точки отбора пробы					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
0	20	20	20	30	20	22
3	20	10	30	30	30	24
3,5	20	20	20	0	30	18
9	20	20	10	30	10	18
9,5	10	10	40	50	30	28

При отборе проб после занятий пробы отбирались дважды: первый раз – минут через 20 после того, как студенты покинут лабораторию; второй раз – после 30 минут обработки УФ-лампами воздуха в ламинарных шкафах I типа. Это должно было усилить бактерицидный эффект, так как ламинары I типа свободно сообщаются воздухом с помещением лаборатории. Перед началом лабораторных работ также происходила обработка воздуха УФ-лампами в ламинарных шкафах I типа в течение 30 минут. По полученным данным (табл. 10–12) заметного эффекта дополнительного воздействия УФ-лампами в ламинарных шкафах I типа не наблюдалось при взятии соответствующих проб, однако в целом уровень обсемененности был низким, а процент бактерий от начального количества заметно снизился к концу рабочего дня (табл. 12). Возможно, это связано с тем, что бактерицидное действие проявляется не сразу после обработки.

Таблица 12

Процентное содержание бактерий и грибов в воздухе аудитории 4-003 при использовании рециркулятора Дезар-3 в день проведения занятий

Время УФ-обработки воздуха, ч	Концентрация микроорганизмов в воздухе, %	
	бактерий	грибов
0	100	100
3	100	109
3,5	48	82
9	23	82
9,5	16	127

Общее содержание микроорганизмов (бактерии+грибы) в пробах колебалось от 38 до 390 КОЕ/м^3. Наиболее микробиологически чистой оказалась микробиологическая лаборатория 4-003, куда осуществляется вход только в смен-

ной обуви и СИЗ, а также постоянно перед работой и после работы воздух в ламинарных шкафах I типа обрабатывается УФ-облучателями открытого типа.

Выводы. Было проведено по две серии экспериментов с двумя видами рециркуляторов. Почти во всех сериях экспериментов микробиологические показатели соответствовали классу чистоты помещений А (для ЛПУ и аптек) согласно [4], т. е. общее количество микроорганизмов было не более 200 КОЕ/м^3 до начала работы и не более 500 КОЕ/м^3 во время работы. Четкие выводы относительно эффективности дезинфекции воздуха ультрафиолетовыми облучателями закрытого типа – рециркуляторами на данный момент сделать сложно, но в целом они помогают держать обсемененность воздуха примерно на одном уровне. Планируется продолжить исследования дальше, в т. ч. с повторением уже проведенных экспериментов, для накопления материала и его статистической обработки.

Библиографический список

1. Инструкция по проведению дезинфекционных мероприятий для профилактики заболеваний, вызываемых коронавирусами. URL: https://minzdrav-irkutsk.ru/upload/iblock/c04/c04e008e56743e664db00569d7a59ceb.pdf (дата обращения 07.02.2021).

2. МР 3.1.0140-18. 3.1. Профилактика инфекционных болезней. Неспецифическая профилактика гриппа и других острых респираторных инфекций. Методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 10.12.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318106/dc1c38153441ac8f0b92c9577ceeeb5136c248ac/ (дата обращения 07.02.2021).

3. МУК 4.2.734-99. Микробиологический мониторинг производственной среды. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200029649 (дата обращения 07.02.2021).

4. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. № 44 г. Москва «Об утверждении санитарных правил СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ и оказание услуг»». URL: https://vademec.ru/download/ %D0 %9F %D0 %BE %D1 %81 %D1 %82 %D0 %B0 %D0 %BD %D0 %BE %D0 %B2 %D0 %BB %D0 %B5 %D0 %BD %D0 %B8 %D0 %B5_ %E2 %84 %96_44_ %D0 %A1 %D0 %B0 %D0 %BD %D0 %B8 %D1 %82 %D0 %B0 %D1 %80 %D0 %BD %D1 %8B %D0 %B5_ %D0 %BF %D1 %80 %D0 %B0 %D0 %B2 %D0 %B8 %D0 %BB %D0 %B0_ %D0 %BE %D0 %B1 %D1 %89 %D0 %B8 %D0 %B5_ %D0 %BE %D1 %82_24_12_2020.pdf (дата обращения 07.02.2021).

5. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29 декабря 2010 г. № 189 г. Москва «Об утверждении СанПиН 2.4.2.2821-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях»». URL: https://rg.ru/2011/03/16/sanpin-dok.html (дата обращения 07.02.2021).

6. Р 3.5.1904-04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200038484 (дата обращения 07.02.2021).

7. Эффективность дезинфекции воздушной среды УФ-облучением в экспериментальных виварiях / Е. Д. Бондарева, М. Н. Макарова, В. Г. Макаров, А. А. Крышень, А. В. Петрова, Е. К. Боровкова // Лабораторные животные для научных исследований. 2019. URL: http://labanimalsjournal.ru/ru/2618723x-2019-03-08 (дата обращения 07.02.2021).

Методы борьбы с плесневыми грибами

Л. В. Устюжанинова [a], А. В. Солодянкина [b], В. А. Вятер [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097841@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Плесневые грибы наносят ущерб многим отраслям промышленности, в том числе за счет разрушения материалов. Поэтому необходимо контролировать развитие плесневых грибов, используя эффективные способы борьбы с ними. Целью данной работы является изучение методов защиты конструкций и поверхностей от плесневых грибов. При изучении научно-технической информации использовались анализ, обобщение, описание. Объектами экспериментальных исследований служили некоторые наиболее активные изоляты плесневых грибов, выделенные из биоповреждений деревянных поддонов. Эффективность способов защиты от плесневых грибов оценивалась по отсутствию или наличию роста последних при применении исследуемого способа и сравнению интенсивности роста в опытных образцах с контролем. Методы борьбы с плесневыми грибами можно разделить на три основные группы: физические, химические и биологические. Была исследована эффективность воздействия на плесневые грибы ультрафиолетового излучения, а также эффективность применения химических методов защиты: Биозащитного состава ХМФ-БФ невымываемого (Ярославские краски®) и антисептика Сенеж® Экобио. Ультрафиолетовое облучение в течение 30–60 минут не оказало фунгицидного действия на выбранные изоляты. Расход биоцидов в условиях эксперимента составил около 50 мл/м^2, что меньше рекомендуемого производителями. Расход был ограничен впитывающей способностью питательной среды. Поэтому планируется повторить эксперимент с использованием рекомендуемого расхода биоцидов для адекватной оценки их эффективности. В условиях проведенного исследования можно лишь сравнить эффективность выбранных биоцидов в условиях эксперимента. При расходе 50 мл/м^2 Биозащитный состав ХМФ-БФ невымываемый (Ярославские краски®) оказался заметно эффективнее, чем антисептик Сенеж® Экобио, в отношении всех выбранных изолятов плесневых грибов. Результаты будут интересны тем, кто ищет и выбирает методы защиты деревянных изделий и конструкций от плесневых грибов. Исследования продолжаются.

Ключевые слова: плесневые грибы, плесневение, биоциды, фунгициды.

Введение. Грибы являются неотъемлемой частью многих биоценозов. Они растут и развиваются на разных поверхностях и могут являться причиной их биоповреждений. Плесневые грибы наносят весомый ущерб для многих отраслей промышленности, в том числе за счет разрушения материалов. Также микромицеты являются источниками токсичных веществ, что может быть опасно для здоровья человека. Борьба с биоповреждениями представляет особую проблему в современном мире. Поэтому необходимо контролировать развитие плесневых грибов, используя эффективные способы борьбы [1, 9].

Целью данной работы является изучение методов защиты конструкций и поверхностей от плесневых грибов.

Задачи:

– изучить методы защиты конструкций и поверхностей от плесневых грибов на основании научно-технической информации;

– выбрать 2–3 вида защиты от плесневения и испытать их эффективность в лабораторных условиях *in vitro*;

– проанализировать полученные результаты и дать рекомендации по защите конструкций и поверхностей от плесневых грибов.

Методы исследования. При изучении научно-технической информации использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание.

Объектами исследования служили некоторые наиболее активные изоляты плесневых грибов, выделенных из биоповреждений деревянных поддонов.

Для выращивания плесневых грибов использовали среду Чапека (производитель НПЦ «Биокомпас-С», Россия). Культивирование осуществляли в термостате при 25 °С 5–15 суток (в зависимости от эксперимента).

При исследовании влияния ультрафиолетового излучения на чашки Петри со средой Чапека высевали споры плесневых грибов выбранных изолятов тремя уколами микологического крючка [7]. Часть засеянных чашек служила контролем, т. е. посевы не подвергались воздействию УФ-лучей. Посевы в других чашках подвергались воздействию УФ-излучения в ламинарных шкафах I типа (под бактерицидной лампой с бактерицидным потоком излучения 18 Вт) в течение 30 и 60 минут соответственно. Далее все посевы инкубировали в термостате при 25 °С 5–14 суток.

При изучении эффективности химических средств защиты древесины от плесени сначала на чашки Петри с подсушенной средой Чапека наносили биоцид, распределяли его стерильным шпателем по всей поверхности среды и оставляли подсыхать на 40–60 минут согласно инструкции по использованию биоцидов. Далее обработку биоцидом повторяли. Расход биоцидов составил около 50 мл/м^2. Расход был ограничен впитывающей способностью питательной среды. Часть чашек Петри со средой оставляли необработанными (контроль). Далее все чашки засевали суспензией спор плесневых грибов. Все посевы инкубировали в термостате при 25 °С 5–15 суток.

Результаты исследований, их обсуждение. На сегодняшний день существует множество методов и средств борьбы с плесневыми грибами, которые можно разделить на три основные группы:

1. Физические методы защиты: электромагнитное и радиоактивное облучение, обработка ультрафиолетом или ультразвуком, электрохимическая защита (временно действующие). Применяются также специальные эксикаторы, снижающие влажность [1].

2. Биологические методы защиты. Используются способность микроорганизмов к антагонизму, применение антибиотиков. Также сюда можно отнести и отрицательный хемотаксис грибов и бактерий [6].

3. Химические методы – наиболее эффективные и длительно действующие способы защиты материалов. Применяются различные биоциды [4].

Биоцидом по отношению к грибам являются фунгициды. Действие фунгицидов основано на их способности подавлять некоторые реакции метаболизма микроскопических грибов путем разрушения клеточных структур. Вначале фунгицид контактирует с клеточной оболочкой и мембраной, после проникновения вступает в связь с внутренними структурами клетки. Вероятно, токсины поступают внутрь клетки путем диффузия через клеточную оболочку по градиенту концентрации [2].

Фунгициды разделяют на следующие группы [2, 9]:

– антибиотики (биофунгициды);
– органические соединения;
– неорганические соединения.

К наиболее применяемым фунгицидам относятся гетероциклические соединения (наибольший интерес представляют замещенные бензоксазолиноны); системные фунгициды – антифунгальные азолы; препараты группы тиазолов, имидазолов, пиримидинов и пиперазинов [9].

Для изучения воздействия ультрафиолетового облучения были выбраны изоляты Ш1, Ш4, Ш7, выделенные из биоповреждений шашки деревянного поддона; П1, выделенный из части деревянного поддона, представляющей со-

бой место скрепления двух досок, и Щ1, выделенный из щепки от деревянного поддона. Части поврежденного деревянного поддона, из которых были выделены изоляты, представлены на рис. 1.

Рис. 1. Части деревянного поддона с биоповреждениями: щепка и место скрепления доски настила с поперечной доской поддона (слева) и шашка (справа)

В данном эксперименте рост наблюдался во всех чашках Петри (часть чашек Петри с посевами из данной серии эксперимента представлена на рис. 2). В контрольных чашках рост был немного интенсивнее, чем в чашках после УФ-обработки, особенно после 60 минут облучения (рис. 2). Таким образом, ультрафиолетовое облучение в течение 30–60 минут не оказало фунгицидного действия на исследованные изоляты. Было отмечено только слабое фунгистатическое действие, возможно, за счет озона.

Рис. 2. Результаты исследования влияния УФ-излучения на жизнеспособность плесневых грибов на примере изолятов Ш7 (слева) и Ш1 (справа); время инкубации посевов – 5 суток

Далее была исследована эффективность применения химических методов защиты: Биозащитного состава ХМФ-БФ невымываемого (Ярославские краски®) и антисептика Сенеж® Экобио. Для данной серии экспериментов были выбраны изоляты Ш1, Ш4, Ш5, Ш7, П1, П2, П3, П4, Щ1. Расход биоцидов в условиях эксперимента составил около 50 мл/м^2, что меньше рекомендуемого производителями: до 500 мл/м^2 при обработке снаружи помещений для ХМФ-БФ [3] и не менее 250–300 г/м^2 для Сенеж® Экобио [8]. Расход был ограничен впитывающей способностью питательной среды. Поэтому планируется повторить эксперимент с использованием рекомендуемого расхода биоцидов для адекватной оценки их эффективности. В условиях проведенного исследования можно лишь сравнить эффективность выбранных биоцидов в условиях эксперимента. При расходе 50 мл/м^2 Биозащитный состав ХМФ-БФ невымываемый (Ярославские краски®) оказался заметно эффективнее, чем антисептик Сенеж® Экобио, в отношении всех выбранных изолятов плесневых грибов (рис. 3). На среде после обработки Биозащитным составом ХМФ-БФ невымываемым (Ярославские краски®) плесневые грибы или не выросли совсем, или росли только по краю чашки Петри в тех местах, где концентрация средства была ниже из-за неравномерного его нанесения на питательную среду (рис. 3 в)-д) и рис. 4). На среде после обработки антисептиком Сенеж® Экобио наблюдался рост всех исследованных изолятов, но в большинстве случаев он был менее интенсивным, чем в контрольных чашках (рис. 3).

Чашки Петри со средой, обработанной ХМФ-БФ, были оставлены еще на 9–10 суток. На чашках, где рост плесневых грибов после 5 суток инкубирования отсутствовал полностью, так ничего и не выросло. На тех чашках, где после 5 суток инкубирования был замечен рост по краю чашки Петри, грибы разрослись сильнее, но рост был также только по краям чашек, только более широкой полосой (рис. 4).

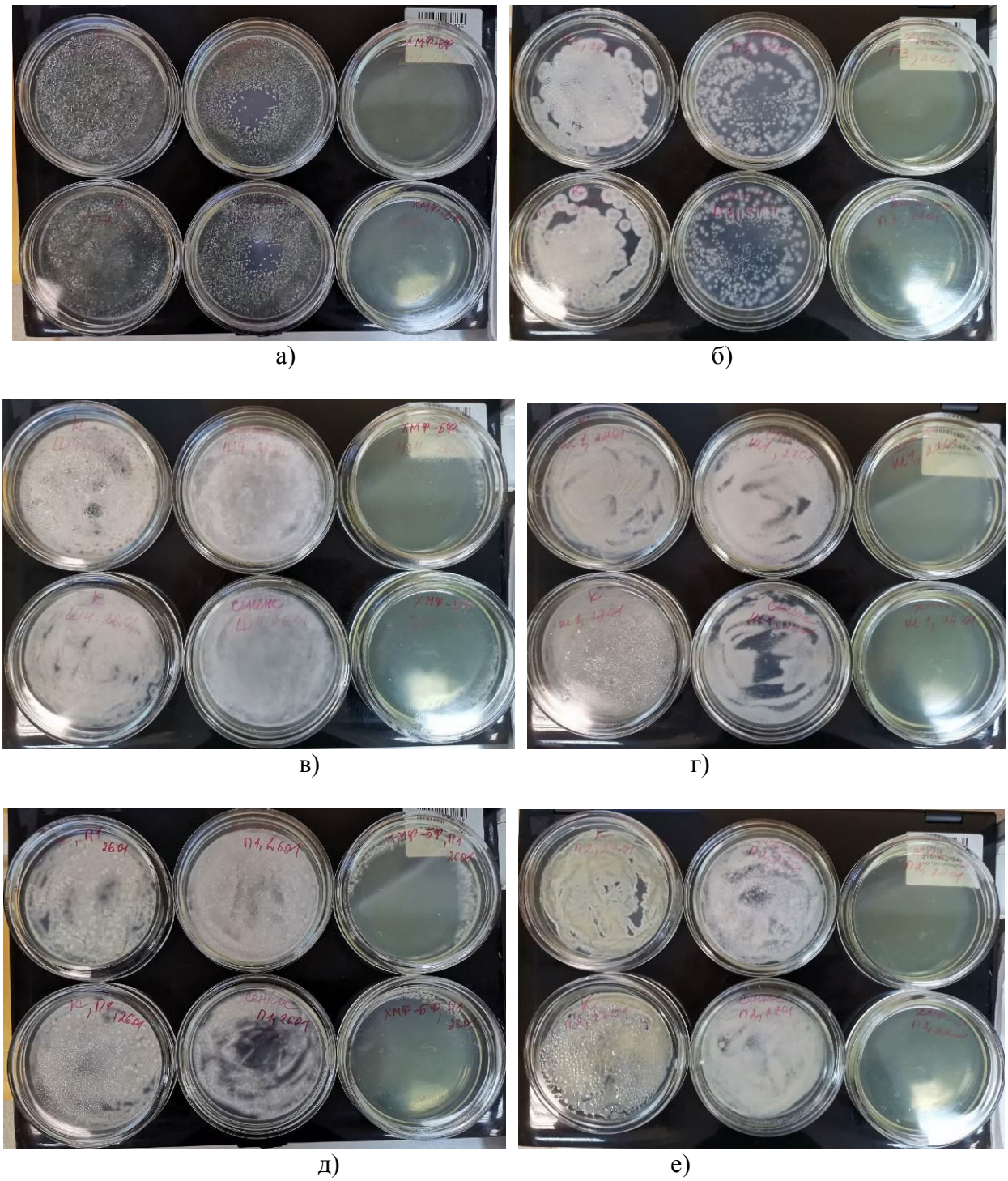


Рис. 3. Результаты исследования эффективности антисептиков для дерева Биозащитный состав ХМФ-БФ невымываемый (Ярославские краски®) и Сенеж® Экобио против плесневых грибов на примере выделенных изолятов: а) Ш7; б) П3; в) Ш4; г) Ш1; д) П1; е) П2 (при расходе 50 мл/м^2). На каждой фотографии 2 чашки Петри слева – контроль, 2 чашки Петри посередине – после применения Сенеж® Экобио, 2 чашки Петри справа – после применения ХМФ-БФ; время инкубации посевов – 5 суток

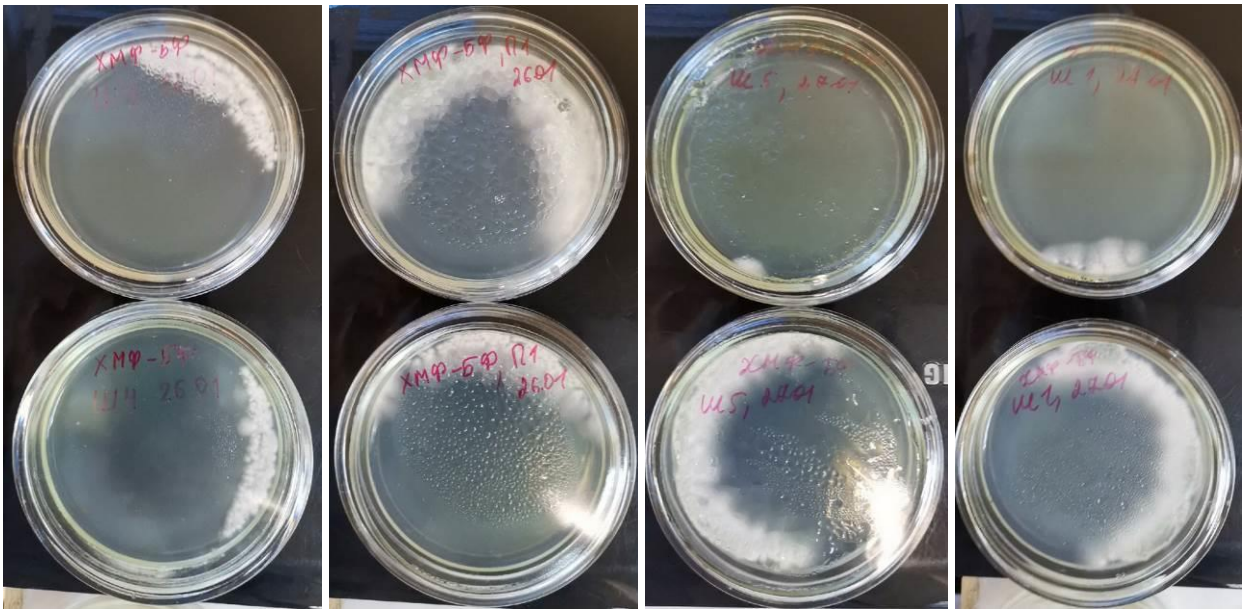


Рис. 4. Рост изолятов Ш4, П1, Ш5 и Ш1 на среде, обработанной Биозащитным составом ХМФ-БФ невымываемым (Ярославские краски®) при расходе 50 мл/м^2, на 14–15-е сутки инкубирования

Также планируется провести оценку защищающей способности антисептиков по отношению к выделенным изолятам по ГОСТ 30028.2-93 [5].

Выводы. Методы борьбы с плесневыми грибами можно разделить на три основные группы: физические, химические и биологические. Была исследована эффективность воздействия на плесневые грибы ультрафиолетового излучения, а также эффективность применения химических методов защиты: Биозащитного состава ХМФ-БФ невымываемого (Ярославские краски®) и антисептика Сенеж® Экобио. Ультрафиолетовое облучение в течение 30–60 минут не оказало фунгицидного действия на выбранные изоляты. При расходе 50 мл/м^2 Биозащитный состав ХМФ-БФ невымываемый (Ярославские краски®) оказался заметно эффективнее, чем антисептик Сенеж® Экобио, в отношении всех выбранных изолятов плесневых грибов. Расход биоцидов был ограничен впитывающей способностью питательной среды, поэтому планируется повторить эксперимент с использованием рекомендуемого расхода биоцидов для адекватной оценки их эффективности.

Библиографический список

1. Анисимов А. А., Смирнов В. Ф. Биоповреждения в промышленности и защита от них. Горький : Горьк. ун-т, 1980. 81 с.

2. Анисимов А. А., Семичева А. С. Биоповреждения полимерных материалов, используемых в приборо- и машиностроении // Биоповреждения и методы оценки биостойкости материалов. М., 1988. С. 32–39.

3. Биозащитный состав ХМФ-БФ невымываемый. Продукция компании Ярославские краски® для дерева. URL: https://yarkraski.ru/m/products/derevo/vibrozaschitniy+sostav+hmf-bf/ (дата обращения 25.01.2021).

4. Бочаров Б. В. Химическая защита строительных материалов от биологических повреждений // Биоповреждения в строительстве. М., 1984. С. 96–104.

5. ГОСТ 30028.2-93. Средства защитные для древесины. Метод оценки защищающей способности антисептиков к деревоокрашивающим и плесневым грибам: принят 21.10.1993 ; действ. с 01.01.1995. М., 1994. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200019591 (дата обращения 04.02.2021).

6. Гукасян А. Б., Гродницкая И. Д. Интродукция микробов-антагонистов в лесные и искусственные биоциды // Защита и карантин растений. 1998. № 9. С. 13.

7. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения : справ. пособие для студ. высш. учеб. завед., обучающихся по направлениям и специальностям экологического, биологического и биотехнологического профиля / АГТУ ; сост.: С. В. Еремеева. Астрахань, 2009. 104 с.

8. Сенеж® Экобио. Каталог продукции компании Сенеж®. URL: http://seneg.ru/products/catalogue/economic/ecobio (дата обращения 25.01.2021).

9. Сухаревич В. И., Кузикова И. Л., Медведева Н. Г. Защита от биоповреждений, вызываемых грибами. СПб. : «ЭЛБИ-СПБ», 2009. 206 с.

Идентификация плесневых грибов – возбудителей порчи деревянных изделий

Л. В. Устюжанинова [a], А. В. Солодянкина [b], К. Н. Синцов [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студентка группы Бб-4101-01-00 [b]
старший лаборант центра превосходства фармацевтической биотехнологии [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097841@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Огромный видовой состав и схожесть в строении представляет некоторую трудность в идентификации грибов. Идентификация микромицетов имеет большое значение, так как заселение ими субстратов может являться отрицательным фактором. Среди них имеются представители, которые могут приносить потери во многих отраслях, в том числе за счет разрушения материалов. Целью данной работы является выделение и идентификация плесневых грибов из поврежденных деревянных поддонов. Выделение возбудителей порчи проводили методом соскоба с помощью бактериологической петли с высевом на питательные среды ГРМ и Сабуро-ГРМ. Для идентификации выделенных плесневых грибов проводили высев на среду Чапека тремя уколами микологического крючка и культивирование в течение 14 суток с изучением макроморфологии на 3, 5, 7, 10 и 14-е сутки и микрофорфологии на 5–7-е сутки. В результате выделения возбудителей порчи из образцов поврежденных деревянных поддонов было получено 15 изолятов плесневых грибов. Изучены характер роста, макро- и микроморфология выделенных культур. На основании полученных данных и определителей грибов проведена идентификация выделенных культур до рода. Из 15 изученных изолятов 12 были отнесены к роду *Penicillium,* 2 – к роду *Chaetomium,* 1 – к роду *Botrytis*. В большинстве случаев для представителей рода *Penicillium* также определены подрод и секция, а для двух изолятов – еще и подсекция. Для определения вида необходимо использование электронной микроскопии.

Ключевые слова: выделение, идентификация, плесневые грибы, микромицеты.

Введение. Изучению грибов всегда уделяли особое внимание с самых древних времен. Но в настоящее время проявляется наиболее сильный интерес именно к плесневым грибам, так как они являются важным компонентом различных биоценозов и широко распространены в природе. Огромный видовой состав и схожесть в строении представляют некоторую трудность в идентификации грибов. Идентификация микромицетов имеет большое значение, так как заселение ими субстратов может являться отрицательным фактором. Среди них имеются представители, которые могут приносить потери во многих отраслях, в том числе за счет разрушения материалов. Одной из существующих проблем, которая возникает при попытках выявления источника контаминации, является дефицит консервативных методов видовой идентификации данных микроорганизмов. Поэтому изучение и идентификация плесневых грибов особенно важны [2, 5].

«Цель идентификации – установить таксономическое положение исследуемого штамма на основании сравнения его свойств с изученными и принятыми (официально зарегистрированными) видами» [7, с. 192].

Идентификация разных групп микроорганизмов может существенно отличаться. Так, идентификация грибов до классов, порядков и семейств основывается на характерных признаках колонии: физиологических и культуральных. Разделение на рода и определение видов проводится исходя из морфологических признаков с применением электронной микроскопии. Для идентификации гриба вначале определяется класс или порядок, а далее используется соответствующий определитель для дальнейшего распознания [7].

Идентификация плесневых грибов основана на сравнении как макроскопических, так и микроскопических признаков культуры с ранее описанными признаками известных грибов, но физиологические тесты используются редко. Для определения признаков подбирается соответствующая среда, которая определяет интересуемые диагностические структуры. Для плесневых грибов в особенности подходит среда на растительной основе. Записи полученных данных необходимо сохранять, чтобы можно было сравнивать выделяемые в разное время культуры. При выделении и идентификации штамма одного и того же гриба следует проявлять особое внимание, так как некоторые из них могут несколько различаться [5].

При идентификации плесневых грибов учитываются следующие факторы [1, 5]:

1) морфологические признаки, которые описывают отдельные клетки и их популяции;

2) характеристики полового процесса;

3) физиологические признаки, которые определяют тип питания, рост и энергетический метаболизм;

4) биохимические признаки, то есть особенности образования различных метаболитов, ферментативная активность и состав клеточных компонентов.

После выделения культуры мицелиальные грибы пересевают на дифференциальную среду Чапека для родового и, по возможности, видового опреде-

ления. Как правило, чаще всего при идентификации используют культурально-морфологические критерии идентификации: оценивают характер роста культуры гриба на агаровых средах (культуральная диагностика, макроморфология) и микроморфологию гриба (микроскопический метод исследования более детального строения гриба). Биохимические методы редко могут быть использованы для систематики, так как многие виды обладают схожими способностями, например, разжижать желатину [6].

В последние годы появились новые, достаточно эффективные методы идентификации представителей плесневых грибов [2, 5].

Целью данной работы является выделение и идентификация плесневых грибов из биоповреждений деревянных поддонов.

Задачи, которые необходимо выполнить:

– выделить возбудителей порчи из образцов поврежденных деревянных поддонов;

– изучить характер роста и свойства выделенных культур (культуральные свойства, макроморфологию и микроморфологию гриба);

– провести идентификацию выделенных культур до рода.

Методы исследования. Объектами исследования служили части деревянного поддона с биоповреждениями (рис. 1).

Рис. 1. Части деревянного поддона с биоповреждениями: щепка и место скрепления доски настила с поперечной доской поддона (слева) и шашка (справа)

Выделение возбудителей порчи проводили методом соскоба с помощью бактериологической петли с высевом на питательные среды ГРМ и Сабуро-ГРМ («Питательная среда № 1 ГРМ» и «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск, Россия). Культивирование осуществляли в термостате при 25 °С 14 суток.

Для идентификации выделенных плесневых грибов культивирование проводили на среде Чапека (производитель НПЦ «Биокомпас-С», Россия) в термостате при 25 °С 14 суток. Для идентификации высев спор плесневых грибов на чашки Петри со средой Чапека осуществляли тремя уколами микологического крючка [5].

При выращивании грибов оценивали характер роста культуры гриба на агаровых средах (культуральная диагностика, макроморфология) и микроморфологию гриба (микроскопический метод исследования более детального строения гриба) на 3, 5, 10 и 14-е сутки культивирования. Далее полученные данные сравнивали с информацией в различных определителях грибов [3, 4, 6].

Результаты исследований, их обсуждение. В результате выделения возбудителей порчи деревянных поддонов было получено 15 изолятов плесневых грибов.

Далее культуры выращивали на среде Чапека и изучали макрофорфологию колоний на 3, 5, 7, 10 и 14-е сутки культивирования. Часть фотографий представлена на рис. 2. После 5–7-х суток культивирования также изучали микроморфологию грибов под оптическим микроскопом. Часть фотографий представлена на рис. 3.

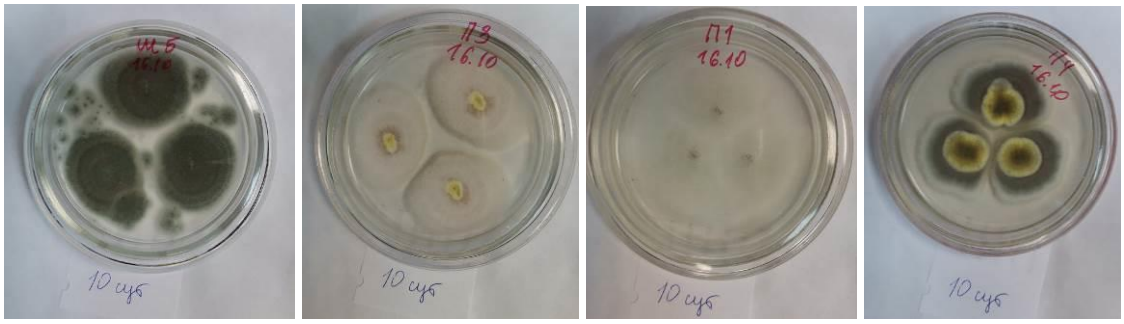
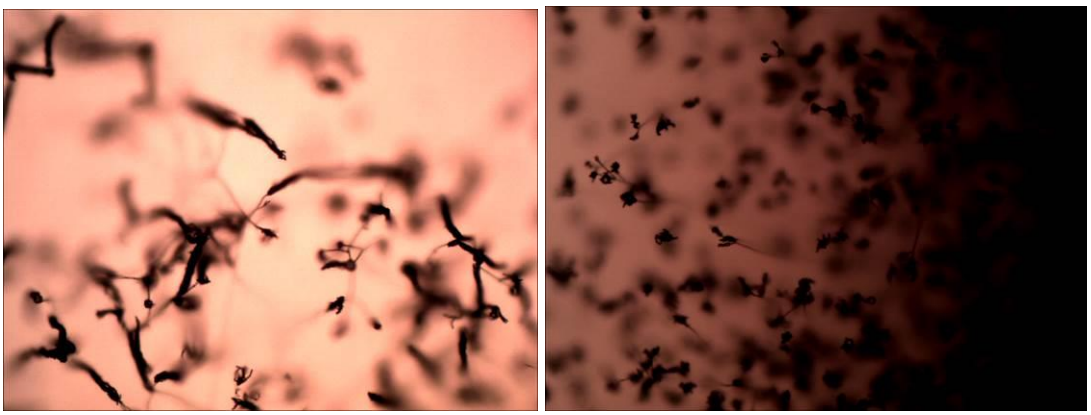
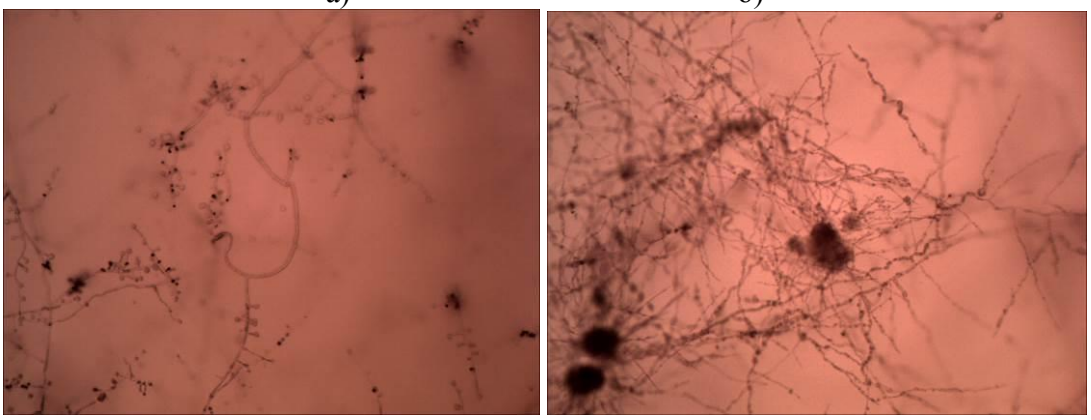


Рис. 2. Фотографии колоний некоторых изолятов плесневых грибов, выделенных из поврежденных деревянных поддонов после 10 суток культивирования на среде Чапека



а) б)



в) г)

Рис. 3. Фотографии воздушного мицелия некоторых изолятов плесневых грибов: а) Ш6, б) Ш2, в) Ш7, г) Щ1; после 7-х суток культивирования на среде Чапека (увеличение в 150 раз)

На основании всех изученных признаков была проведена идентификация выделенных культур плесневых грибов по определителям [3, 4, 6], результаты сведены в таблицу.

Результаты идентификации выделенных плесневых грибов – возбудителей порчи деревянных поддонов

Обозначение изолята	Результат идентификации (до рода, подрода и т. д.)	Основание для идентификации (ссылка на источник)
П1	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Asymmetrica* Подсекция *Fasciculata*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 61–63
П2	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52
П3	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Biverticillata-symmetrica* Подсекция *Ascogena*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 90–91
П4	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Biverticillata-symmetrica*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 90–91

Окончание таблицы

Обозначение изолята	Результат идентификации (до рода, подрода и т. д.)	Основание для идентификации (ссылка на источник)
П5	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Asymmetrica*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 61–63
Ш1	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Asymmetrica*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 61–63
Ш2	Род *Penicillium* Подрод *Paecilomyces*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–51, 106
Ш3	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Asymmetrica*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52, 61–63
Ш4	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52
Ш5	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Monoverticillata-stricta*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52
Ш6	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Monoverticillata-stricta*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52
Ш7	Род *Botrytis*	[3], с. 22, 66–68
Ш8	Род *Penicillium* Подрод *Eupenichilium Ludw.* Секция *Monoverticillata-stricta*	[3], с. 21, 59–61; [6], с. 47, 50–52
Щ1	Род *Chaetomium*	[4], с. 39
Щ2	Род *Chaetomium*	[4], с. 39

В некоторых случаях определен только род (изоляты Ш7, Щ1 и Щ2), в большинстве случаев для рода *Penicillium* также определены подрод и секция, а для двух изолятов – еще и подсекция (П1 и П3). Из 15 изученных изолятов 12 были отнесены к роду *Penicillium*, 2 – к роду *Chaetomium* (изоляты Щ1 и Щ2), 1 – к роду *Botrytis* (изолят Ш7). Изоляты, отнесенные к роду *Penicillium*, отнесены к двум подродам: *Eupenichilium Ludw.* (11 изолятов), в том числе к секциям *Asymmetrica* (П1, П5, Ш1, Ш3), *Biverticillata-symmetrica* (П3, П4) и *Monoverticillata-stricta* (Ш5, Ш6 и Ш8), и *Paecilomyces* (изолят Ш2). Для определения вида необходимо использование электронной микроскопии.

Выводы. В результате выделения возбудителей порчи из образцов поврежденных деревянных поддонов было получено 15 изолятов плесневых грибов. Изучены характер роста, макро- и микроморфология выделенных культур грибов. На основании полученных данных и определителей грибов проведена

идентификация выделенных культур до рода. Из 15 изученных изолятов 12 были отнесены к роду *Penicillium*, 2 – к роду *Chaetomium*, 1 – к роду *Botrytis*. В большинстве случаев для представителей рода *Penicillium* также определены подрод и секция, а для двух изолятов – еще и подсекция. Для определения вида необходимо использование электронной микроскопии.

Библиографический список

1. Бирюков В. В. Основы промышленной биотехнологии : учеб. пособие для вузов. М. : Колос, 2005. 180 с.

2. Грибы рода *Candida* (Методы выделения, идентификации на видовом уровне и определение чувствительности к противогрибковым препаратам) : метод. рек. / А. Ф. Мороз, А. Е. Снегирёва. М. : НИИЭМ имени Н.Ф. Гамалеи РАМН, 2009. 56 с. URL: http://www.himedialabs.ru/download/fungal.pdf (дата обращения 04.02.2021).

3. Определитель микроскопических почвенных грибов / М. А. Литвинов. Л. : Изд-во «Наука», Ленингр. отд., 1967. 303 с.

4. Определитель токсинобразующих микромицетов / В. И. Билай, З. А. Курбацкая ; АН УССР, Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного. Киев : Наук. думка, 1990. 233 с.

5. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения : справ. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям и специальностям экологического, биологического и биотехнологического профиля / АГТУ ; сост.: С. В. Еремеева. Астрахань, 2009. 104 с.

6. Пособие по определению грибов из родов *Aspergillus* и *Penicillium* / проф. Л. И. Курсанов. М. : Медгиз, 1947. 116 с.

7. Руководство к практическим занятиям по микробиологии : учеб. пособие / под ред. И. С. Егорова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

Сравнительный анализ существующих микробиологических препаратов для улучшения плодородия почв

Л. В. Устюжанинова [a], Ю. А. Фоминых [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru[a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097513@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В настоящее время большая часть почвы непригодна для выращивания сельскохозяйственных культур. Это связано с низкой активностью гумусообразования, которое, в свою очередь, является показателем плодородия почвы. Для решения этой проблемы используются микробиологические препараты, которые вносятся в почву вместе с растительными остатками. Такой способ использования биоудобрений позволяет ускорить разложение и повысить коэффициент гумификации послеуборочных растительных остатков. Препараты, компонентами которых являются ассоциации микроорганизмов, безопасны для человека и животных, технология их производства достаточно эффективна и выгодна, а результат их применения более продуктивен. Тем не менее такие препараты имеют ряд недостатков. Целью данной работы является сравнительный анализ существующих микробиологических препаратов для улучшения плодородия почв и разработка предложений о способах их совершенствования. В работе использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание. В статье представлен анализ существующих биопрепаратов, включая их достоинства и недостатки, рассмотрены пути устранения выявленных недостатков. На основании этого предложено решение для разработки нового препарата для улучшения плодородия почв. Информация будет полезна для представителей АПК и производителей биопрепаратов для растениеводства.

Ключевые слова: гумусообразование, плодородие почв, биопрепарат, пожнивные остатки.

Введение. Гумусообразование является важным фактором, определяющим плодородие почв. Еще в 2018 году мониторинг органического вещества (гумуса) показал, что большая часть почв является непригодной для выращивания сельскохозяйственных растений [2]. Использование химических удобрений и сжигание пожнивных остатков на полях привело к снижению количества почвенной биоты, нарастанию числа патогенных микроорганизмов и, как следствие, к снижению плодородия почв [9].

В агроценозах основными источниками образования гумуса являются пожнивные остатки растительных культур и удобрения [4]. Использование растительных остатков является более доступным и экономически выгодным, но процесс разложения растительных биополимеров, таких как лигнин и целлюлоза, является очень длительным процессом (от 3 до 5 лет) [8]. Для ускоренного разложения пожнивных остатков в настоящее время становится актуальным

использование комплексных микробиологических препаратов-деструкторов, которые также способны улучшать минеральное питание растений и повышать урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе за счет подавления роста патогенов. Биопрепараты имеют ряд преимуществ по сравнению с агрохимикатами: они безопасны для человека и животных и при этом эффективны, их производство не слишком сложное и экономически выгодное [7].

Основным компонентом таких биопрепаратов являются различные группы микроорганизмов: целлюлозолитики, азотфиксаторы, аммонификаторы, а также микроорганизмы-антагонисты фитопатогенов. В составе препарата может присутствовать как одна группа микроорганизмов, так и ассоциация из нескольких групп, что дает большое преимущество при использовании препарата. При использовании ассоциации микроорганизмов препарат будет эффективно выполнять сразу ряд важных функций: подавлять развитие фитопатогенов, продуцировать ростостимулирующие вещества, ассимилировать атмосферный азот и мобилизировать фосфор, переводя их в доступную для растений форму. Наиболее распространенными являются микробиологические препараты на основе азотфиксирующих бактерий, а также препараты с микроорганизмами, обеспечивающими растворение минерализованных форм фосфора [6].

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих микробиологических препаратов для улучшения плодородия почв и разработка предложений о способах их совершенствования.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

– выявить наиболее эффективные и востребованные на рынке препараты для улучшения плодородия почв;

– проанализировать их состав, достоинства и недостатки;

– предложить пути устранения недостатков, которые можно будет учесть при разработке нового препарата для улучшения плодородия почв.

Ведущий подход. При работе с научно-технической и патентной информацией использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание. Для

аналитического исследования были выбраны несколько образцов: препараты серии СТИМИКС®НИВА, гуапсин, трихофит, экстрасол и ресойлинг.

Результаты исследований, их обсуждение. Препараты серии СТИМИКС®НИВА обладают позитивным действием на плодородие почв и рост растений. Нанесение препарата происходит путем опрыскивания пожнивных остатков перед их заделкой в почву. В состав входят целлюлозолитические, азотфиксирующие и фосфатмобилизирующие микроорганизмы, которые успешно выполняют свою функцию в почве. Эффективность действия препарата снижается при его внесении в щелочную или недостаточно влажную почву, что говорит о его невыгодном применении на некоторых участках [3].

Микробиологические препараты гуапсин и трихофит проявляют высокую эффективность в деструкции растительных остатков только в смеси и в хорошо увлажненной почве [5].

При попадании биопрепарата экстрасол на основе *Bacillus subtilis* (штамм Ч-13) в агроценоз, формируются новые ассоциации микроорганизмов, действие которых направлено на деструкцию пожнивных остатков и стимуляцию роста растений [11]. Срок хранения препарата значительно больше, чем у остальных образцов (из-за того, что в состав препарата входят споровые бактерии). Однако концентрация клеток в 1 мл препарата небольшая и составляет всего 100 млн КОЕ [1], что говорит о его невыгодном положении с экономической точки зрения.

Основное действие препарата ресойлинг направлено на восстановление плодородия почв, но деструкция пожнивных остатков происходит с добавлением дополнительного трофического субстрата. Без добавления субстрата интенсивность гумусообразования зависит от ряда факторов, изменение которых влияет на жизнеспособность и функционирование микроорганизмов, входящих в его состав [10].

Основные недостатки рассматриваемых препаратов приведены в табл. 1 [1, 3, 5, 10, 11].

Таблица 1

Основные недостатки рассматриваемых препаратов

Препарат	Недостаток препарата
Биофит-2	Действие препарата направлено исключительно на разложение растительных остатков
Препараты серии СТИМИКС®НИВА (А, Б,Jp и No-till)	Препарат не эффективен на щелочных и сухих почвах, при температуре ниже +10 °С и при попадании солнечных лучей
Экстрасол	Концентрация микроорганизмов в препарате ниже, чем у других аналогов, что невыгодно с экономической точки зрения
Байкал ЭМ-1	При внесении препарата температура грунта должна быть не ниже +10 °С
Гуапсин и триховит	Препараты проявляют высокую эффективность только в смеси и хорошо увлажненной почве
Ресойлинг	Для разложения растительных остатков необходимо добавлять дополнительный трофический субстрат

Для анализируемых препаратов можно выделить основные недостатки: необходимость добавления питательной добавки или удобрения для поддержания дальнейшей жизнедеятельности микроорганизмов и влияние на эффективность препаратов различных факторов (влажность, УФ, температура и прочие). В полевых условиях коллекционные штаммы малоактивны, и причиной этому служат недостаточно хорошие условия для их роста. Также производство препаратов является недешевым процессом, что сказывается на их цене.

Проанализировав достоинства и недостатки исследуемых образцов, можно обозначить критерии, которые улучшат качество нового микробиологического препарата многоцелевого действия:

1. Необходимо разработать препарат с высокой антагонистической активностью в отношении патогенных бактерий и грибов, высокой ферментативной активностью в отношении деградации растительных биополимеров, увеличения подвижных форм соединений фосфора и фиксации азота. При этом нет одного микроорганизма, способного выполнить все эти задачи сразу и эффективно, следовательно, препарат должен содержать ассоциацию микроорганизмов (табл. 2), которую необходимо тщательно подобрать и исследовать.

2. Так как существуют различные типы взаимодействия живых существ друг с другом, то необходимо будет установить, как влияют выбранные культу-

ры микроорганизмов друг на друга не только в плане сохранения жизнеспособности, но и интенсивности проявления их полезных или негативных свойств.

3. Концентрация жизнеспособных клеток должна быть не менее 100 млн КОЕ/мл, что делает препарат экономически выгоднее.

4. Препарат должен быть безопасен для человека, животных и окружающей среды.

5. Препарат должен иметь длительный срок хранения (не менее 1 года, желательно – не менее 2 лет), его способ внесения должен быть удобным, а форма препарата пригодна и удобна для транспортировки, хранения и использования.

6. Препарат должен действовать при невысоких температурах (от +5 град. Цельсия) на различных типах почв, а также быть устойчив к воздействию солнечных лучей.

Таблица 2

Предлагаемые микробиологические компоненты препарата для улучшения плодородия почв и их положительное действие

Микробиологические компоненты	Позитивное действие
Целлюлозолитические микроорганизмы	Ускоренное микробное разложение растительных остатков
Азотфиксирующие микроорганизмы	Улучшение роста растений за счет способности переводить газообразный азот в допустимую для растений форму, некоторые представители группы синтезируют гормоны роста растений
Аммонифицирующие микроорганизмы	Расщепляют трудно усвояемые белки, присутствующие в почве на доступные для растений соединения
Микроорганизмы-антагонисты фитопатогенов	Уменьшение токсического влияния патогенных бактерий и грибов на растения

В борьбе с возбудителями заболеваний растений и деструкции пожнивных остатков, приводящим к улучшению плодородия почв, эффективным решением является использование в качестве микробного компонента ассоциации штаммов бактерий рода *Bacillus* [12]. Они являются спорообразующими микроорганизмами, следовательно, хорошо переносят неблагоприятные условия, что говорит о более длительном сроке хранения и действия препарата. Кроме того, эти бактерии способны повышать доступность для растений элементов питания в почве, а также подавлять развитие фитопатогенных грибов [10].

Выводы. Источниками гумуса в агроценозах являются удобрения и пожнивные остатки. Использование последних с применением биопрепаратов-деструкторов дает возможность более быстрого восстановления плодородия почв и стимуляции роста растений. Основным компонентом исследуемых препаратов являются ассоциации различных групп микроорганизмов, которые оказывают позитивное влияние на биоценоз почвы. Такое влияние проявляется за счет подавления роста фитопатогенов, активной целлюлозолитической, азотфиксирующей, аммонифицирующей и фосфорилирующей активности. Были выявлены недостатки анализируемых препаратов, и предложены пути их улучшения при создании нового препарата. Также выбран род бактерий, которые являются самым оптимальным компонентом микробиологического препарата многонаправленного действия для улучшения плодородия почв.

Библиографический список

1. Баубекова Д. Г. Разработка полифункционального биопрепарата на основе микроорганизма рода *Bacillus* для защиты сельскохозяйственной продукции // Естественные и математические науки в современном мире. 2014. № 18.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 225 с.
3. Лазарев В. И., Айдиев А. Я., Тарасов С. А. Разложения пшеничной соломы под влиянием микробиологических препаратов Гуапсин и Трихофит // Земледелие. 2014. № 8.
4. Органическое вещество почвы / Р. Тейт III ; пер. с англ. О. Д. Масаловой, Д. С. Орлова. М. : Мир, 1991. 399 с.
5. Петров В. Б., Чеботарь В. К. Управление деструкцией и гумификацией пожнивных остатков зерновых культур с использованием // Сельскохозяйственная биология. 2012. № 3. С. 103–108.
6. Регламент применения СТИМИКС®НИВА URL: http://стимикс-нива.рф/primenenie.php (дата обращения: 02.02.2021).
7. Рубанов Н. И., Фомин А. А. Рынок биопродуктов в растениеводстве // Московский экономический журнал. 2018. № 3.
8. Русакова И. В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах //Juvenis scientia. 2018. № 9.
9. Харченко А. Г. Восстановление плодородия почвы-возвращение к истокам. Разложение пожнивных остатков: какой препарат выгоднее? // Вестник МАНЭБ. 2015. Т. 20. № 2. С. 90–101.
10. Шляхов В. А., Григорян Л. Н. Влияние удобрения Ресойлинг на плодородие почв Астраханской области // Вопросы науки и образования. 2017. № 7 (8).
11. Эффективность применения биопрепарата Экстрасол / В. К Чеботарь., А. А. Завалин, Е. И. Кипрушкина ; Российская акад. с.-х. наук [и др.]. М. : ВНИИА, 2007. 215 с.
12. Pérez-García A., Romero D., de Vicente A. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological application of Bacilli in agriculture. Curr. Opin. Biotechnol. 2011. 22: 1–7.

Экспериментальное обоснование выбора питательной среды для ферментации бактерий рода *Bacillus* с целью получения биопрепарата

Л. В. Устюжанинова [a], Ю. А. Фоминых [b], В. А. Вятер [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud097513@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Подбор оптимальной питательной среды и условий культивирования является основным этапом при разработке технологии производства любого биопрепарата. В настоящее время очень актуальным направлением является разработка комплексных биопрепаратов для восстановления плодородия почв. В статье представлены результаты экспериментального подбора питательной среды для ферментации бактерий рода *Bacillus* с целью получения биопрепарата, повышающего плодородие почв. В настоящее время применение бактерий данного рода является наиболее актуальным, так как они имеют ряд преимуществ. Согласно полученным данным, питательная среда № 2 по всем критериям является наиболее оптимальной для культивирования выбранных изолятов: *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3. Оптимальным временем ферментации для наращивания максимального количества живых клеток данных культур является 48 ч при ферментации изолятов БАЦ-2 и БАЦ-3 на питательной среде № 2 и 12 ч для всех остальных вариантов культивирования.

Ключевые слова: плодородие почв, биопрепараты, питательная среда, бактерии рода *Bacillus*.

Введение. На данный момент наблюдается тенденция к ухудшению экологической ситуации в агропромышленном комплексе и ухудшению плодородия почв. Это связано с интенсивной механизацией и химизацией земледелия, а также с недостаточным поступлением органических веществ, что приводит к потере биоорганического потенциала почв. Для восстановления плодородия более экологичным приемом является запашка пожнивных остатков, но процесс их разложения в почве занимает слишком долгое время [2]. Во избежание долгого ожидания деструкции растительных остатков свое применение нашли микробные препараты-деструкторы. Благодаря таким препаратам разложение пожнивных остатков происходит намного быстрее, восстанавливается почвенный биоценоз, происходит стимуляция роста растений и улучшение плодородия почв [9].

Такие биопрепараты состоят из живых клеток или спор микроорганизмов, которые специально отобраны по их полезным свойствам, а также продуктов их метаболизма, которые могут находиться в культуральной жидкости или быть

адсорбированы на нейтральном носителе [6]. В последнее время для основного компонента биопрепаратов, которые будут активно улучшать плодородие почв, рассматриваются бактерии рода *Bacillus*. Это обусловлено тем, что многие виды бацилл обладают особыми свойствами, которые делают их хорошими объектами разработки бактериальных препаратов. К таким характеристикам можно отнести: безопасность для человека, животных и насекомых (за исключением некоторых патогенов группы *B. cereus*), высокую антагонистическую активность за счет вырабатываемых антимикробных веществ и токсинов, способность к спорообразованию, из-за чего такие бактерии смогут дольше оставаться живыми в неблагоприятных условиях и действие препарата на их основе будет дольше [4].

Перед селекцией нужных штаммов с необходимой биологической активностью появляется задача по подбору питательных сред и их компонентов, которые будут полезны для бактерий, а также по способу их культивирования, а именно выбору температурного режима и времени культивирования для получения максимального количества биомассы микроорганизмов [5].

Питательная среда должна содержать все необходимые компоненты для роста микроорганизмов, иметь оптимальные биофизические показатели для культивирования (температура, pH), основной питательный субстрат среды должен быть недефицитным и недорогим, так как во многом определяет стоимость целевого продукта [5].

Кроме того, для многофункционального биопрепарата, который будет ускорять процесс разложения растительных остатков, действовать против фитопатогенов и стимулировать рост растений, не существует одного микроорганизма, который может выполнять все эти функции эффективно, поэтому препарат должен содержать ассоциацию из нескольких микроорганизмов. Следовательно, необходимо будет установить, как влияют выбранные культуры микроорганизмов друг на друга [1].

Целью данной работы является выбор оптимальной питательной среды и продолжительности культивирования трех культур бактерий рода *Bacillus*.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

– исследовать, как влияют выбранные культуры микроорганизмов друг на друга, чтобы установить возможность совместной ферментации;

– на основании научно-технической и патентной информации найти составы питательных сред для ферментации бактерий рода *Bacillus*;

– провести культивирование трех культур бактерий рода *Bacillus* на выбранных питательных средах;

– через определенные промежутки времени определить концентрацию живых клеток бактерий и измерить pH и оптическую плотность культуральной жидкости во время ферментации;

– на основании полученных данных выбрать оптимальную питательную среду и время инкубации для каждой культуры.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были взяты культуры *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3, обладающие азотфиксирующей способностью (способны расти на безазотистой среде Эшби). Остальные производственно-полезные характеристики данных культур (антагонистическая активность в отношении фитопатогенов, высокая ферментативная активность и другие) планируется проверить экспериментально в ближайшее время.

В качестве питательных сред использовали среду ГРМ, питательную среду № 1 [8], питательную среду № 2 [7] и питательную среду № 3 (табл. 1).

Антагонистические взаимоотношения между культурами проверяли методом перпендикулярных штрихов путем высева бактериологической петлей суточных культур со скошенного агара на чашки Петри со средой ГРМ, плотными питательными средами № 1 и № 2, культивировании при 28 °С в течение 1 или 3 суток, подсеве суточных культур двух других изолятов, культивировании при 28 °С в течение суток и дальнейшей оценке зон задержки роста [7].

Таблица 1

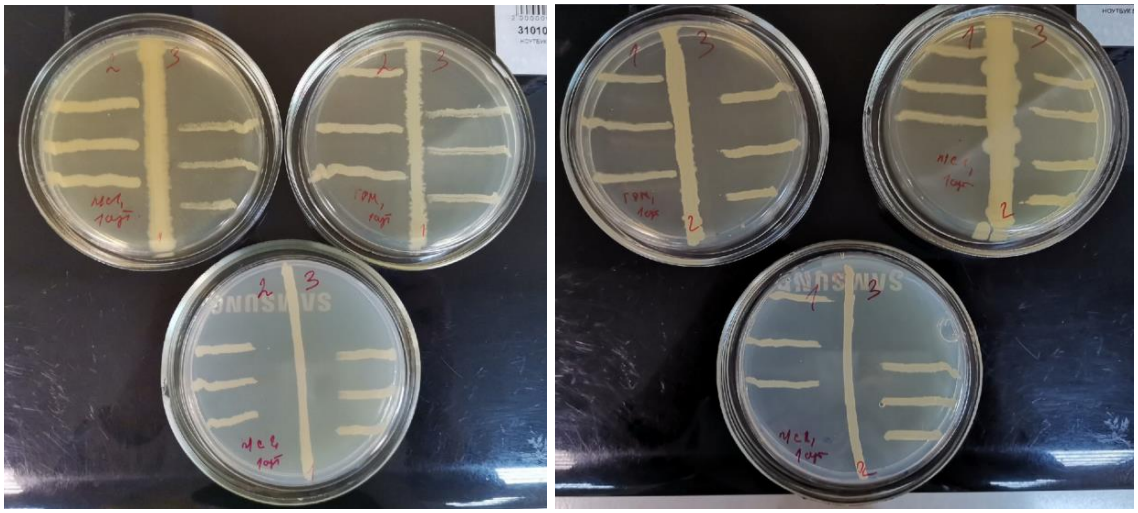
Составы использованных питательных сред

Питательная среда	Состав, г/дм^3
ГРМ	Панкреатический гидролизат рыбной муки – 15,0, панкреатический гидролизат казеина – 10,0, дрожжевой экстракт – 2,0, натрия хлорид – 3,5, Д-глюкоза – 1,0, агар – 10,0±2
Питательная среда № 1	Пептон ферментативный – 15, дрожжевой экстракт – 5, хлорид натрия – 5, сульфат аммония – 1, гидросульфат аммония – 0,25, дигидросульфат аммония – 0,75, для плотной среды агар-агар – 18
Питательная среда № 2	Марганец хлористый 4-водный или марганец сернокислый – 0,01, железо(III) сернокислое 7-водное – 0,01, магния хлорид 6-водный – 0,1, кальция хлорид – 0,08, пептон сухой – 0,5, дрожжевой диализат – 5,0, глюкоза – 10,0, для плотной среды агар микробиологический – 20–30
Питательная среда № 3	Натрия хлорид – 5,0, пептон – 10,0

Для выбора питательной среды осуществляли ферментацию трех взятых культур на жидких питательных средах № 1, 2 и 3 (табл. 1) по 50 см^3 в колбах Эрленмейра на 250 см^3 в шейкер-инкубаторе при 28 °С и 150 об/мин. В качестве посевного материала использовали суточные культуры бактерий, выращенные на ГРМ-бульоне; посевная доза составляла 5 %. Через 0, 8, 12, 24 и 48 ч культивирования отбирали пробы для определения количества живых клеток бактерий, pH и оптической плотности культуральной жидкости.

Концентрацию жизнеспособных клеток определяли чашечным методом Коха [3, 7]. Учет и обработку результатов по определению концентрации живых клеток микроорганизмов проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [3] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95. Оптическую плотность культуральной жидкости измеряли при длине волны 630 нм на спектрофотометре СПЕКС ССП-705-4. Активную кислотность культуральной жидкости определяли на pH-метре Sartorius PB-11-P11.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе изучения антагонистического взаимоотношения между культурами *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 было обнаружено, что антагонизм разных культур на разных средах выражен неодинаково (см. рисунок). Наиболее выраженную антагонистическую активность все три культуры проявили на питательной среде № 2.



а) б)

в)

Определение антагонизма продуцентов по отношению друг к другу методом перпендикулярных штрихов: а) у БАЦ-1 по отношению к БАЦ-2 и БАЦ-3; б) у БАЦ-2 по отношению к БАЦ-1 и БАЦ-3; в) у БАЦ-3 по отношению к БАЦ-1 и БАЦ-2

При увеличении длительности инкубирования культур до 3 суток перед подсевом других изолятов зоны задержки роста увеличивались, что говорит о более выраженном антагонизме. Таким образом, из-за антагонистического влияния культур друг на друга совместное культивирование штаммов нежелательно.

Результаты ферментации культур *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 на жидких питательных средах № 1-3 представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Изменение концентрации живых клеток бацилл при ферментации

Культура	№ п/с	Время ферментации, ч				
		0	8	12	24	48
БАЦ-1	1	$(2,1\pm0,2)\cdot10^8$	$(2,8\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,0\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,5\pm0,1)\cdot10^8$	Менее 10^7
	2	$(2,1\pm0,2)\cdot10^8$	$(9,9\pm0,6)\cdot10^8$	$(1,7\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,4\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,7\pm0,1)\cdot10^9$
	3	$(2,1\pm0,2)\cdot10^8$	$(9,6\pm0,6)\cdot10^8$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,6\pm0,1)\cdot10^9$
БАЦ-2	1	$(2,7\pm0,2)\cdot10^8$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,5\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,0\pm0,2)\cdot10^8$	Менее 10^7
	2	$(2,7\pm0,2)\cdot10^8$	$(1,8\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,4\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,6\pm0,1)\cdot10^9$	$(7,0\pm0,5)\cdot10^9$
	3	$(2,7\pm0,2)\cdot10^8$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,5\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,4\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,6\pm0,1)\cdot10^9$
БАЦ-3	1	$(2,6\pm0,2)\cdot10^8$	$(1,7\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,3\pm0,1)\cdot10^9$	$(4,0\pm1,2)\cdot10^7$	Менее 10^7
	2	$(2,6\pm0,2)\cdot10^8$	$(2,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,9\pm0,1)\cdot10^9$	$(2,8\pm0,1)\cdot10^9$	$(8,1\pm0,6)\cdot10^9$
	3	$(2,6\pm0,2)\cdot10^8$	$(8,9\pm0,6)\cdot10^8$	$(1,2\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^9$	$(1,4\pm0,1)\cdot10^9$

Таблица 3

Изменение оптической плотности культуральной жидкости во время ферментации бацилл

Культура	№ п/с	Время ферментации, ч				
		0	8	12	24	48
БАЦ-1	1	0,488	1,585	1,750	1,770	1,846
	2	0,396	1,513	1,668	2,070	2,186
	3	0,319	1,020	1,227	1,471	1,586
БАЦ-2	1	0,498	1,633	1,789	1,809	1,882
	2	0,428	1,603	1,792	2,118	2,109
	3	0,356	1,145	1,263	1,495	1,552
БАЦ-3	1	0,501	1,643	1,711	1,733	1,797
	2	0,435	1,659	1,773	2,155	2,124
	3	0,337	1,087	1,249	1,479	1,552

Таблица 4

Изменение активной кислотности (pH) культуральной жидкости во время ферментации бацилл

Культура	№ п/с	Время ферментации, ч				
		0	8	12	24	48
БАЦ-1	1	4,51	3,81	3,40	3,38	3,36
	2	7,37	7,50	7,70	7,90	8,23
	3	7,53	7,69	7,79	7,87	8,25
БАЦ-2	1	4,62	4,07	3,45	3,43	3,40
	2	7,39	7,52	7,68	7,95	8,44
	3	7,47	7,58	7,80	7,99	8,18
БАЦ-3	1	4,53	3,55	3,30	3,32	3,35
	2	7,31	7,48	7,70	8,02	8,43
	3	7,51	7,70	7,74	7,88	8,17

Анализ полученных данных после культивирования трех штаммов на трех выбранных средах показал, что накопление максимальной концентрации жизнеспособных клеток происходит при культивировании микроорганизмов в

течение временного периода от 8 до 48 часов (табл. 2). По данным табл. 2 и 3 самой оптимальной средой для культивирования бацилл БАЦ-2 и БАЦ-3 является питательная среда № 2. Значение pH (табл. 4) этой среды является оптимальным для роста бактерий рода *Bacillus*, как и значение pH у питательной среды № 3, однако состав последней среды является более бедным по сравнению со средой № 2 и недостаточным для удовлетворения всех питательных потребностей бацилл, из-за чего увеличение биомассы происходи не так активно. Значение pH питательной среды № 1 ниже оптимального для бацилл, что негативно влияет на активность роста культур. Планируется провести ферментацию выбранных культур на питательной среде № 1 при начальном значении pH 7,0–7,5. При этом стоит заметить, что низкое значение pH снижает вероятность контаминации при производстве препарата. Поэтому при окончательном выборе субстрата стоит учесть и этот момент.

Выводы. Выявлено антагонистическое влияние выбранных культур бацилл друг на друга, поэтому совместное культивирование данных штаммов нежелательно. Из трех исследованных жидких питательных сред для ферментации культур *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 наиболее оптимальной является питательная среда № 2, так как на ней бациллы достигают более высокого титра живых клеток. Это связано с ее многокомпонентным составом, наиболее удовлетворяющим питательные потребности бацилл, а также с более оптимальным для их роста значением pH. Для наращивания максимальной концентрации биомассы необходимо проводить культивирование микроорганизмов БАЦ-2 и БАЦ-3 в течение 48 ч, а БАЦ-1 – в течение 12 ч. Исследования продолжаются.

Библиографический список

1. Акимова Е. Е. и др. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности : учеб. пособие: [для бакалавров, магистрантов и аспирантов вузов, студентов средних спец. учеб. заведений по направлениям «Биотехнология средств защиты растений», «Сельскохозяйственная биотехнология», «Агрономия», «Защита растений»]. 2018.

2. Власова Я. Стернифаг, СП: заботишься о земле – заботишься о будущем // Рос. агр. газета. 2003. № 1–2. С. 30.

3. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят

18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124386 (дата обращения 05.02.2021).

4. Земцова В. О., Грицкевич Е. Р. Биопрепараты на основе бактерий рода Bacillus– экологически безопасная альтернатива химическим пестицидам // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века. 2018. С. 48–50.

5. Ленивко С. М. Экологическая биотехнология : электронный учебно-методический комплекс. М., 2020.

6. Муродова С. С., Давранов К. Д. Комплексные микробные препараты. Применение в сельскохозяйственной практике // Biotechnologia acta. 2014. Т. 7. № 6.

7. ОФС.1.7.2.0009.15 Определение специфической активности пробиотиков. URL: https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-7-2-0009-15-opredelenie-spetsificheskoj-aktivnosti-probiotikov/ (дата обращения 07.02.2021).

8. Пат. 2680702. РФ, МПК C12N 1/20, C12R 1/125. Питательная среда для культивирования *Bacillus subtilis* ВКПМ В-12079 : № 2017144487 : заявл. 06.12.2017 : опубл. 25.02.2019 / Питайкина А. О. и др. ; патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет».

9. Русакова И. В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // Juvenis scientia. 2018. № 9.

Современные проблемы микробиологической безопасности колбасных изделий и пути их решения

Л. В. Устюжанинова [a], А. А. Шинку [b]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бм 1101-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a], stud123675@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Пищевая промышленность занимает очень важное место в жизни современного человека, так как от потребляемых продуктов зависит здоровье, как физическое, так и эмоциональное, особенно в условиях современной экологии. Немалую роль в рационе человека играет потребление мяса и мясных продуктов, ведь здесь содержится много питательных веществ: аминокислот, белков, микро- и макронутриентов. Ответственные производители пищевых продуктов заинтересованы в выпуске безопасной и качественной продукции. Но на пути достижения данной цели производители встречают ряд проблем, которые необходимо решить для увеличения качества, упрощения технологии производства. Цель данной работы – выявление и описание проблем микробиологической безопасности при производстве колбасных изделий, а также путей их решения. В данной работе использовались такие методы, как анализ, наблюдение, метод обобщения, описание (технологического процесса). В ходе исследования были выявлены и описаны четыре основные проблемы и предложены способы их решения. Решения описанных проблем могут применяться на практике при производстве колбасных изделий на мясоперерабатывающих предприятиях, что позволит выполнять производителям свои обязанности по выпуску пищевых продуктов более качественно, правильно с точки зрения закона, совести и морали.

Ключевые слова: патогенная микрофлора, мясоперерабатывающее производство, пищевая отрасль, микробиологическая безопасность.

Введение. Пищевая промышленность – это одна из тех сфер производства, где действуют наиболее строгие санитарно-гигиенические правила и регламенты, так как продукты питания являются в большинстве случаев превосходной средой для размножения болезнетворных бактерий и вирусов [3, 4]. В частности, хочется обратить внимание на такой сегмент рынка пищевых продуктов, как мясоперерабатывающая отрасль, так как продукты животного происхождения являются одной из самых благоприятных сред для роста патогенов.

Объектом исследования является производство колбасных изделий. Предметом исследования выбрана микробиологическая безопасность при производстве колбасных изделий.

Цель данной работы – выявление и описание проблем микробиологической безопасности колбасных изделий, а также путей их решения.

Для достижения данной цели были выделены следующие задачи:

- выявить микробиологические опасности при производстве колбасных изделий;
- найти пути решения проблем микробиологической безопасности при производстве колбасных изделий.

Ведущий подход. В данной работе использовались такие методы, как анализ, наблюдение, метод обобщения, описание (технологического процесса).

Результаты исследований, их обсуждение. Вопросами по улучшению безопасности изделий в мясоперерабатывающей отрасли ученые задавались давно и задаются по сей день, так как мясные изделия пользуются спросом у населения [1, 6–8].

Микробиологические опасности при производстве колбасных изделий

Патогенная микрофлора, в т. ч. сальмонеллы; *Listeria monocytogenes*; КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов); БГКП (бактерии группы кишечной палочки); *Staphylococcus aureus*; сульфитредуцирующие клостридии; плесень – это микробиологические показатели, обязательно контролируемые государством и производителями мясоперерабатывающей промышленности и надзорными органами [7, 9].

Проверяемые показатели определены в международных нормативных документах, СанПиН, санитарных правилах, ГОСТ, ТУ [7, 9].

При производстве мясных и мясосодержащих изделий опасность микробиологического обсеменения подстерегает с самого начала технологического процесса, и с каждой технологической операцией (обвалка, жиловка, посол, измельчение, составление фарша, набивка оболочки) контаминация мяса увеличивается [7].

Патогенную микрофлору в мясоперерабатывающем производстве можно разделить на две группы: те, что приводят к порче сырья или изделия (как мясного, так и не мясного), и те, которые приносят вред потребителю. Различают несколько видов порчи колбас: гниение, прогорклость, кислое брожение, плесневение. Типичными инфекциями, связанными с недоброкачественными мясными продуктами, являются сальмонеллёз, ботулизм, листероз [5, 7, 10].

Последствия игнорирования рисков микробной обсемененности, несоблюдения санитарных норм могут привести к серьезным последствиям.

Проблемы микробиологической безопасности при производстве колбасных изделий

Основной проблемой любого пищевого производства является риск заражения продукции патогенными организмами. Заражение продукции может возникнуть в результате воздействия внешней среды (температурно-влажностной режим), несоблюдения персоналом санитарно-гигиенических норм [7].

Также относительно новой микробиологической опасностью являются вирусы, предаваемые через пищевые продукты и воду, которые вызывают желудочно-кишечные заболевания. К ним относятся калицивирусы, норовирусы (геногруппы I, II и IV), саповирусы (геногруппы I, II, IV и V), ротавирус, аденовирус (HAdV 40, 41), Вирус Аичи, гепатит А, гепатит Е [2].

Проблемой на пищевых, в том числе колбасных, производствах является образование биопленок. Биопленка – это устойчивая ассоциация микроорганизмов (бактериальный матрикс), представляющая собой продуцируемые бактериальной клеткой экзополисахариды, с заключенными в ней бактериями-продуцентами [11]. Существует проблема высеваемости бактерий, объединенных в биопленку. Отрицательные результаты анализов смывов с биопленок не отражают реальную картину контаминации поверхностей. Значимые пищевые патогены, способные к образованию биопленок: *L. monocytogenes; Salmonella spp.; Campylobacter spp.; Escherichia coli O157: H7; St. aureus; B. cereus; Pseudomonas spp.* [11].

Проблемой микробиологической безопасности также можно считать недостаточно быстрое определение обсемененности поверхностей, сырья, готовых изделий, воздуха [7].

Таким образом, определены четыре основные проблемы микробиологической безопасности при производстве колбасных изделий:

- риск заражения продукции патогенными организмами;
- риск заражения продукции вирусами, вызывающими желудочно-кишечные заболевания;

- образование биопленок;
- длительность микробиологических исследований.

Пути решения проблем микробиологической безопасности при производстве колбасных изделий

Для решения вышеизложенных проблем микробиологической безопасности предлагаются следующие пути решения.

Проблемы микробиологической обсемененности патогенами, вирусами, передающимися через пищевые продукты, а также образования биопленок имеют общие пути решения. Они заключаются в том, что на предприятии должны соблюдаться санитарно-гигиенические требования в полной мере. На предприятии должна проводиться соответствующая санитарная обработка рабочих поверхностей, оборудования, инвентаря, полов, стен, потолков, холодильных камер, стеллажей с соблюдением времени и порядка выполнения [7, 9].

Все работники, связанные с выпуском мясной продукции, должны быть в чистой санитарной одежде. Персонал должен проходить медицинский осмотр ежегодно. Лицам с признаками или с подозрениями на инфекционные, желудочно-кишечные заболевания или лицам, контактировавшим с больными данными заболеваниями, запрещено приступать к работе, приходить в производственные цеха [7, 9].

На предприятии постоянно должно проводиться обучение персонала с повышением знаний о санитарных требованиях. Также должен обеспечиваться контроль за соблюдением санитарных норм, а при их нарушении – приниматься соответствующие меры [7, 9].

На предприятии в обязательном порядке должна быть разработана система ХАССП. Расположение помещений, рабочих мест должно быть спроектировано таким образом, чтобы потоки движения готовых изделий, сырья и полуфабрикатов не пересекались в пространстве или времени. На предприятии должны соблюдаться все температурные режимы [7, 9].

Для проблемы недостаточно быстрого определения патогенных микроорганизмов; вариантом разрешения является организация микробиологической

лаборатории на предприятии с высококвалифицированным персоналом либо использование методов ускоренного определения патогенов, в частности кишечной палочки, энтерококков, стафилококка, возбудителей сальмонеллеза, листероза [7].

Для решения данной проблемы существуют экспресс-методы определения патогенов. Большой популярностью пользуются следующие методы [7]:

- ПЦР-диагностика;
- ИФА (иммуноферментный анализ);
- ИХА (иммунохроматографический анализ);
- использование дифференциально-диагностических сред.

Экспресс-методы не заменяют полноценного микробиологического исследования, но они могут помочь специалистам в режиме реального времени и в ускоренном темпе определить обсемененность исследуемого материала. Предложенные экспресс-методы имеют свои достоинства и свои недостатки. Внедрение каждого метода требует определенных денежных, кадровых и временных вложений. Но эти затраты окупятся в дальнейшем, так как описанные меры помогут избежать штрафов, качество продукции возрастет и будет пользоваться спросом у покупателей. Таким образом, каждое предприятие выбирает для себя, каким способом пользоваться им будет удобнее и выгоднее [7].

Исследователям будущего необходимо решать вопросы по удешевлению и упрощению существующих методов анализа для того, чтобы в ближайшем будущем как можно больше производителей смогли использовать их в своей работе, а как следствие – увеличился выпуск качественной и безопасной продукции [7].

Выводы. Таким образом, к основным современным проблемам производства колбасных изделий можно отнести:

- бактериологическое обсеменение, в том числе патогенами;
- обсеменение вирусами, передающимися через пищевые продукты;
- образование биопленок на поверхностях;
- слишком длительные исследования на наличие патогенных организмов.

Для решения данных проблем предложены были следующие решения:

1. На предприятии должна проводиться соответствующая санитарная обработка рабочих поверхностей, оборудования, инвентаря, полов, стен, потолков, холодильных камер, стеллажей.

2. Все сотрудники должны соблюдать санитарно-гигиенические требования. На предприятии постоянно должно проводиться обучение персонала с повышением их знания о санитарных требованиях.

3. Должен обеспечиваться контроль за соблюдением всех санитарных норм, а при их нарушении – приниматься соответствующие меры.

4. На предприятии в обязательном порядке должна быть разработана система ХАССП, и эта система должна «работать».

5. Для проблемы недостаточно быстрого определения патогенных микроорганизмов; вариантом разрешения является организация микробиологической лаборатории на предприятии с высококвалифицированным персоналом и использование ускоренных методов определения патогенов, например ПЦР-диагностики, ИФА (иммуноферментный анализ), ИХА (иммунохроматографический анализ), использование дифференциально-диагностических сред.

Таким образом, подход к решению проблем должен быть комплексным и всесторонним.

Библиографический список

1. Азаров В. Н. Основы микробиологии и санитарии : учеб. для учащихся техникумов, обуч. по спец. 1719 «Товароведение и организация торговли прод. товарами». 2-е изд., перераб.. М. : Экономика, 1986. 207 с.

2. Бранко Велебит, Пищевые вирусы – эмерджентные патогены // Институт технологии и гигиены мяса, Сербия. 2019. URL: https://www.researchgate.net/profile/Branko_Velebit (дата обращения 03.02.2021).

3. Донченко Л. В., Надыкта В. Д. Безопасность пищевой продукции : 2 ч. Часть 1 : учеб. для академического бакалавриата / Л. В. Донченко. 3-е изд., испр. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2018. 264 с.

4. Карпов О. И. Гигиена пищевых предприятий: всё про санпропускники // FOODBAY BLOG. 2020. URL: https://foodbay.com/wiki/masnaja-industrija/2020/03/31/chto-takoe-sanpropuskniki-i-zachem-oni-nuzhny/ (дата обращения 03.02.2021).

5. Карпов О. И. Как предотвратить появление листерии на пищевом производстве // FOODBAY BLOG, 15.11.2018. URL: https://foodbay.com/wiki/masnaja-industrija/2018/11/15/kak-predotvratit-poyavlenie-listerii-na-pischevom-proizvodstve/ (дата обращения 03.02.2021).

6. Методы улучшения микробиологической безопасности мясопродуктов / Я. М. Ребезов, А. О. Дуць, Ю. А. Полтавская [и др.] // Молодой ученый. 2014. № 8 (67). С. 235–237. URL: https://moluch.ru/archive/67/11466/ (дата обращения: 03.02.2021).

7. Микробиологический контроль качества пищевой продукции : коллективная монография под ред. д. м. н., профессора А. Ю. Поповой и академика РАН И. А. Дятлова. М. : Изд-во «Династия», 2020. 448 с.

8. Современные проблемы пищевой безопасности : материалы международной научной конференции / отв. ред. А. А. Стекольников, Л. Ю. Карпенко, Д. А. Померанцев; СПбГУВМ. СПб. : Свое издательство, издательство ФГБОУ ВО СПбГУВМ, 2020. 348 с.

9. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». URL: http://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения 03.02.2021).

10. Эпидемиологическая опасность мясных продуктов и меры по исключению связанных с ними пищевых отравлений. URL: http://40.rospotrebnadzor.ru/center/stats/149019/print/ (дата обращения 03.02.2021).

11. Юшина Ю. К. Биопленкообразование пищевыми патогенами и микроорганизмами порчи: проблема безопасности // Доклад ФИЦ Биотехнологии РАН. Москва, 28 ноября 2020.

Использование метода резонансного переноса энергии биолюминесценции для изучения фармакологии рецепторов сфингозин-1-фосфата

В. А. Чичерин [a], С. О. Рогожкин [b], А. С. Герасимов [c]
студент БТб-4101-03-00 [a]
студент группы БТм-1101-02-00 [b]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: stud097428@vyatsu.ru [a], stud123677@vyatsu.ru [b], usr09875@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Сфингозин-1-фосфат (S1P) является важным липидным медиатором, продуктом распада цитоплазматических мембран. Он обладает рядом функций, особенно в поддержании иммунитета и целостности сосудов, реализация которых может изменяться при развитии различных заболеваний, включая рассеянный склероз, сердечно-сосудистые заболевания и фиброз. Учитывая широкий спектр физиологических процессов, регулируемых S1P, было разработано нескольких лекарственных препаратов, в том числе препараты против рассеянного склероза и болезни Альцгеймера.

Среди рецепторов сфингозин-1-фосфата (S1PR) наиболее изучены рецепторы S1PR1, S1PR2, S1PR4, в то время как о роли рецепторов S1PR3 и S1PR5 имеется мало информации. К примеру, нет единого мнения об эффектах модуляции S1PR5, что объясняется отсутствием отработанной методики.

Данное исследование посвящено изучению функциональной активности рецептора 5 сфингозин-1-фосфата человека при помощи метода резонансного переноса энергии биолюминесценции (BRET). Для достижения поставленной цели была проведена оптимизация условий трансфекции клеточных линий. Проведено определение уровня поверхностной экспрессии рецептора 5 сфингозин-1-фосфата человека методом ИФА на трансфецированных клетках (wcELISA). Оптимизирована методика определения функциональной активности S1PR5 рецептора методом BRET.

Ключевые слова: GPCR, сфингозин-1-фосфат, BRET, S1PR5, агонист, клеточный сигналинг, функциональный тест.

Введение. Сфингозин-1-фосфат – сигнальный липид, присутствующий в концентрации до 3 мкМ в плазме и примерно 100 нМ в лимфе. Большая часть S1P в плазме связана с липопротеином высокой плотности, но небольшая часть, приблизительно 15–45 нМ, находится в несвязанном состоянии. Физиологически уровни S1P находятся под жестким гомеостатическим контролем.

Действие S1P опосредовано через специфические G-белок-связанные S1P-рецепторы, которые регулируют широкий спектр сигнальных путей, специфичных для различных клеток, тканей и органов. S1PR5 – это рецептор, экспрессирующийся в олигодендроцитах и клетках-предшественниках олигодендроцитов (OPCs), которые мигрируют на значительные расстояния во время развития мозга, и в эндотелиальных клетках гематоэнцефалического барьера (ГЭБ)

[2]. Было показано, что связывание агонистов S1PR5 улучшает целостность ГЭБа в модели *in vitro* и обращает вспять возрастное когнитивное снижение у мышей. Таким образом, S1PR5 – это инновационная фармакологическая мишень для разработки лекарственных препаратов для лечения нейродегенеративных расстройств, связанных с липидным дисбалансом и/или нарушением гематоэнцефалического барьера, таких как болезнь Альцгеймера или рассеянный склероз [3].

В ходе активации S1PR5 взаимодействует с G alpha (12/13) белками, в то время как многие другие авторы в ходе своих исследований показывают, что активация S1P5 приводит к снижению внутриклеточной концентрации cAMP, то есть происходит взаимодействие с G_i-белком. Одним из современных методов изучения активности GPCR является метод BRET [4, 5, 6].

Материалы и методы. В ходе работы использовались клеточные линии HEK293FT и CHOK1. Для приготовления культуральных сред использовали основы DMEM, DMEM/F12 с содержанием глюкозы 4500 мг/л, для трансфекции и функциональных исследований – среды Opti-MEM и MEM (все Thermo Scientific, США), фетальная бычья сыворотка (F6765, Sigma), растворы пенициллина-стрептомицина, Glutamax, DPBS (все Thermo Scientific, США). В качестве трансфекционного агента использовали Lipofectamine 3000 (Invirogen, США). Также в ходе работы использовали следующие реагенты: HRP конъюгированное моноклональные антитела мыши против флага M2 (1: 2000, приготовленное в 1 % BSA+1 × TBS, M2-HRP Sigma), TMB (T8665, Sigma), поли-d-лизин (0,01 %) (P4707, Sigma), моноклональные антитела мыши против HA-эпитопа, конъюгированные с пероксидазой хрена (12013819001, Roche), Janus Green B (201677, Sigma), сфингозин-1-фосфат (S1P, 73914, Sigma), A-971432 (SML1744, Sigma), IBMX (I5879, Sigma), цэлентенаразин h (S2011, Promega), изопротенолол (I6504, Sigma), форсколин (F6886, Sigma). Для трансфекции использовали экспрессионный вектор pCDNA3.1_S1PR5, содержащий оптимизированный ген исследуемого рецептора под контролем CMV-промотора, и исходный вектор pCDNA3.1 в качестве отрицательного контроля.

Оптимизация условий трансфекции клеточных линий. В качестве отправной точки в обоих случаях использовался стандартный протокол. Клеточные линии HEK293FT или CHOK1 выращивались в 60-мм чашках Петри до конфлюэнтности 60–80 % на средах DMEM или DMEM/F12 соответственно, дополнительно обогащенных стабильным глютамином Glutamax (Gibco, США) из расчета 1 мл на 100 мл среды. В день трансфекции проводили замену среды на Opti-MEM (Gibco, США), необходимую для повышения эффективности процедуры. На данное количество клеток использовали суммарно 6 мкг ДНК, однако в экспериментах по оптимизации соотношение векторов pCDNA_Epac (плазмида, кодирующая ген биосенсора для мониторинга изменения концентрации цАМФ) и pCDNA3.1_S1PR5 варьировало от 1:5 до 5:1. Также варьировалось соотношение концентрация ДНК, мкг / объем липофектамина – от 1:1.5 до 1:5 – и объем трансфекционной смеси от 50 до 200 мкл (2,5–10 % от объема среды Opti-MEM на 60-мм чашке Петри).

Определение уровня поверхностной экспрессии рецептора 5 сфингозин-1-фосфата человека методом ИФА на трансфецированных клетках (wcELISA) проводилась согласно [7].

Изучение функциональной активности рецептора 5 сфингозин-1-фосфата человека при (BRET). Клетки HEK293FT высевались на 100-мм чашки Петри в количестве 3 млн и выращивались до конфлюэнтности 60–80 % на среде DMEM, содержащей 10 % телячьей сыворотки. На следующий день проводили трансфекцию 10 мкг ДНК – 6 мкг вектора pCDNA3.1_S1PR5 и 4 мкг pCDNA_Epac, кодирующего биосенсор для мониторинга изменения концентрации внутриклеточного цАМФ, при помощи липофектамина. Затем снимали клетки при помощи пипетки и переносили в 96-луночные планшеты для измерения люминесценции (3610, Corning) в количестве 50–70 тысяч клеток в лунку. Инкубировали еще 12–18 часов при стандартных условиях.

Для проведения BRET среду из лунок удаляли при помощи аспиратора, а в лунки при помощи многоканальной пипетки добавляли 60 мкл фосфатно-солевого буфера, содержащего 0,003 % (w/v) аскорбиновой кислоты, IBMX

из стокового раствора 200 мМ до конечной концентрации 500 мкМ, цэлентеразин h до конечной концентрации 0,1 мкМ и форсколин из стокового раствора 10 мМ до конечной концентрации 10 мкМ. Ждали 5 минут для максимального повышения внутриклеточной концентрации цАМФ. По истечении времени добавляли лиганды рецептора 5 сфингозин-1-фосфата человека: сфингозин-1-фосфат или А-971432 в диапазонах концентрации от 100 мкм до 0,01 нМ. В качестве отрицательного контроля использовали фосфатно-солевой буферный раствор. После 10 минут интенсивность свечения измеряли при помощи планшетного ридера CLARIOstar (BMG Labtech, Германия), используя монохроматор со следующими параметрами: 475±25 – для измерения биолюминесценции и 550±40 для измерения флуоресценции. Измерение интенсивности излучения проводили в течение 30 минут, а изменение концентрации цАМФ определялось косвенно, путем изменения соотношения I_{550}/I_{475}. Далее ответ системы на то или иное соединение определялся путем построения дозозависимой кривой при помощи программы SigmaPlot.

Результаты и обсуждения. Разработка эффективного протокола трансфекции является залогом успешных и воспроизводимых экспериментов по определению функциональной активности целевых рецепторов. К сожалению, на сегодняшний день не разработано высокоэффективных методик, позволяющих эффективно переносить любую ДНК в клетки любой линии. Более того, сверхэкспрессия целевых генов может оказаться токсичной для клеток, в результате чего изменяется их физиологическое состояние. В ходе экспериментов по подбору условий оценивались такие параметры, как количество ДНК, соотношение векторных конструкций, соотношение суммарного количества ДНК к объему липофектамина, объем трансфекционной смеси по отношению к объему среды, время трансфекции. Полученные результаты приведены в таблице.

Подбор условий трансфекции

Название параметра	Клеточная линия	
	HEK293FT	CHOK1
Суммарное количество ДНК на 60-мм чашку Петри, мкг	8	6
Соотношение векторов pCDNA3.1_S1PR5: pCDNAEPAC	3:1	1:1

Окончание таблицы

Название параметра	Клеточная линия	
	HEK293FT	CHOK1
Соотношение ДНК (мкг): Липофектамин (мкл)	1:2,5	1:2
Объем трансфекционной смеси (в % от объема среды)	5	5
Время трансфекции, час	4	12 – 16
Время культивирования трансфецированных клеток, час	24	36
Интенсивность свечения люциферазы, ед	128200±33610 (в 6-ти повторах)	58922±11415 (в 6-ти повторах)

Из полученных результатов очевидно, что эффективность трансфекции клеточной линии HEK293FT более чем в 2 раза превосходит значение, полученное для клеточной линии CHOK1, однако данные величины вполне удовлетворяют требованиям функциональных тестов. Также следует отметить некоторые замеченные особенности поведения клеток во время трансфекции: эффективность трансфекции CHOK1 значительно снижается при повышении соотношения ДНК: липофектамин выше 1:2 и в несколько раз выше при инкубировании клеток с трансфекционной смесью в течение ночи.

В ходе экспериментов по изучению поверхностной экспрессии S1PR5 было установлено, что целевой рецептор активно транслоцируется на поверхность клетки в обеих клеточных линиях.

При постановке функциональных тестов в первую очередь мы столкнулись с недостаточным количеством информации касательно сигналинга рецептора 5 сфингозин-1-фосфата.

Еще одной интересной особенностью можно отметить тот факт, что, в отличие от других рецепторов данного подтипа, рецептор hS1P5 способен ингибировать функцию киназы ERK1/2 сигнальными каскадами, не зависящими от Gi-сигналинга. Также рецептор помимо внеклеточного связывания с молекулой сфингозин-1-фосфата может существовать и быть активным внутри клетки. Более того, данный рецептор сам по себе обладает высокой конститутивной активностью. Все эти факты делают методику изучения функциональной активности довольно трудоемкой.

В ходе постановки метода мы столкнулись с рядом проблем, которые необходимо было решить:

1. Высокая конститутивная активность дает значительное снижение в чувствительности данного метода.

2. Форсколин, даже в концентрации порядка 50 мкМ, не дает значительно и достоверно повысить концентрацию цАМФ в клеточной линии.

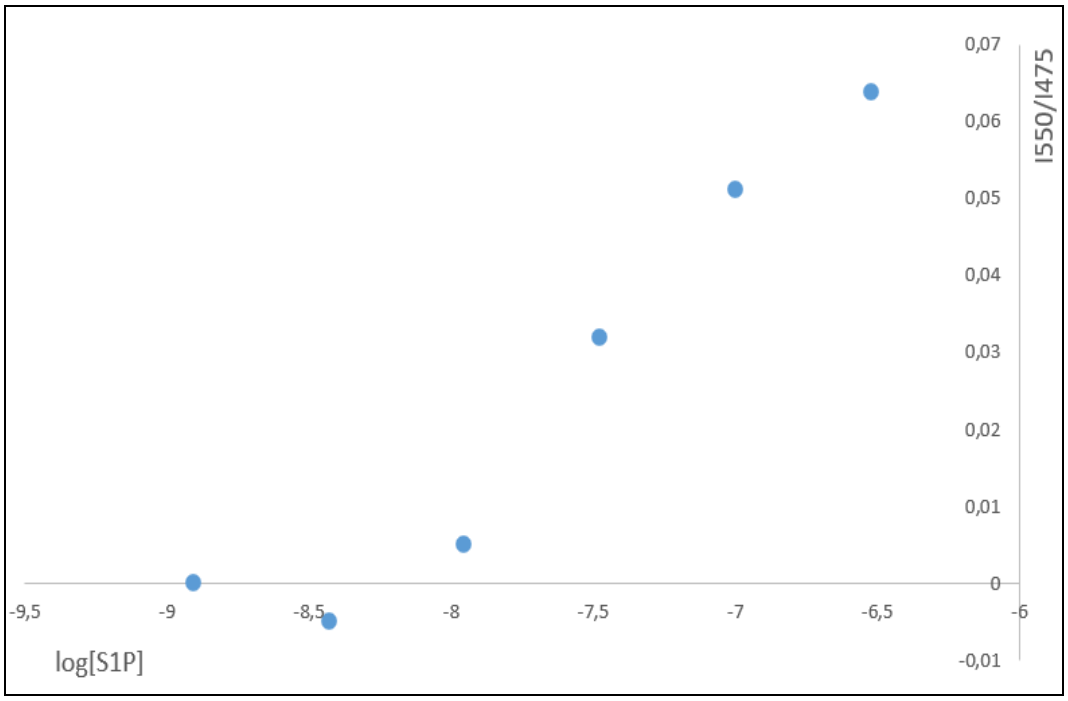
3. Телячья сыворотка не должна содержать примесей сфингозин-1-фосфата.

Если первая проблема является по сути функциональной характеристикой самого рецептора, то замена форсколина на изопротенолол – неселективный агонист бета-адренорецепторов – позволила значительно повысить максимальный ответ системы.

Следующим фактором, осложняющим разработку методики определения функциональной активности S1PR5, является присутствие сфингозин-1-фосфата в сыворотке – одного из компонентов культуральной среды. В различных работах описано изменение морфологии клеток, экспрессирующих данный рецептор, в результате чего они имеют шаровидную форму и быстро диссоциируют с поверхности [8]. Более того, клеточные линии не отвечали на введение дополнительного количества сфингозин-1-фосфата. Данные факты мы наблюдали и в нашем случае. Таким образом, использование сыворотки повышенной чистоты, полученной путем инкубирования с активированным углем, позволяет добиться сохранения морфологических характеристик и возможности активации сигнальных путей в ответ на добавление лигандов (см. рисунок). Значение EC_{50} для природного лиганда S1P составило 27±11 нмоль, что коррелирует с данными других авторов.

Выводы. Таким образом, резюмируя вышесказанное, можно сказать, что метод BRET возможно использовать в качестве методики функционального тестирования рецептора. Нами показана поверхностная экспрессия S1PR5 в двух клеточных линиях, а также дозозависимая кривая для сфингозин-1-фосфата. Значение EC_{50} для S1P составило 27±11 нмоль, что коррелирует с данными других авторов. Однако данный метод пока не обладает хорошей воспроизводимостью и соотношением «сигнал/шум», требующимися для серьезного фармакологического скрининга лигандов. Также стоит отрабатывать методики на анта-

гонизм и обратный агонизм, именно данные типы активности являются наиболее перспективными в разработке лекарственных препаратов.



Функциональная активность S1PR5 рецептора в ответ на сфингозин-1-фосфат

Библиографический список

1. Michael B. Oldstone A., Rosen H. Sphingosine-1-Phosphate Signaling in Immunology and Infectious Diseases. 1st ed. New York : Springer ; London : Heidelberg Dordrecht, 2014. 367 p.

2. Novgorodov A. S., El-Alwani M., Bielawski J., Obeid L. M., Gudz T. I. Activation of sphingosine-1-phosphate receptor S1P5 inhibits oligodendrocyte progenitor migration // The FASEB Journal. 2007. Vol. 21. I. 7. P. 1503–1514. URL: https://doi.org/ 10.1096/fj.06-7420com (published: 25.01.2007).

3. Hobson A. D., Harris C. M., Van der Kam E. L. Discovery of A-971432, An Orally Bioavailable Selective Sphingosine-1-Phosphate Receptor 5 (S1P5) Agonist for the Potential Treatment of Neurodegenerative Disorders // Journal of the American Chemical Society. 2015. Vol. 58. I. 23. P. 9154–9170. URL: https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b00928 (published: 23.11.2015).

4. Eglen R. M, Reisine T., Roby P. The Use of AlphaScreen Technology in HTS: Current Status // Curr Chem Genomics. 2008. Vol. 1. I. 1. P. 2–10. URL: https://doi.org/10.1021/10.2174/1875397300801010002 (published: 25.02.2008).

5. Degorce F., Card A., Soh S. HTRF: A Technology Tailored for Drug Discovery – A Review of Theoretical Aspects and Recent Applications // Curr Chem Genomics. 2009. Vol. 1. P. 22–32. URL: https://doi.org/10.2174/1875397300903010022 (published: 28.05.2009).

6. Lam V. M., Espinoza S., Gerasimov A. S., Gainetdinov R. R., Salahpour A. In-vivo pharmacology of Trace-Amine Associated Receptor 1 // Eur J Pharmacol. 2015. V. 15. I. 763 (Pt B). P. 136–142. URL: https://doi.org/10.1016/j.ejphar. 2015.06.026 (published: 26.06.2015).

7. Pandey S., Roy D., Shukla A. K. Measuring surface expression and endocytosis of GPCRs using whole-cell ELISA. Elsevier : Methods in Cell Biology, 2019. URL: https://doi.org/ 10.1016/bs.mcb.2018.09.014.

8. Niedernberg A., Blaukat A., Schöneberg T., Kostenis E. Regulated and constitutive activation of specific signalling pathways by the human S1P5 receptor // British Journal of Pharmacology. 2009. Vol. 138. I. 3. P. 481–493. URL: https://doi.org/ 10.1038/sj.bjp.0705055 (published: 30.01.2009).

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Исследование свойств биоразлагаемой композиции на основе полилактида и натурального каучука

А. А. Бурков [a], А. Д. Краев [b]
кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП [a]
студент группы ХТм-2501-01-00, старший лаборант кафедры ХТПП [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a, b]
E-mail: aa_burkov@vyatsu.ru [a], usr21900@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Решение проблемы накопления пластикового мусора становится с каждым днем всё актуальней и актуальней.

Одним из возможных решений данной проблемы является замена синтетических пластмасс, как правило, изготовленных на основе нефтепродуктов, на биоразлагаемые полимеры. Но биодеградируемые материалы уступают по свойствам традиционным полимерам. В настоящий момент времени полилактид (PLA) входит в число широко используемых биоразлагаемых полимеров, однако его применение ограничено из-за повышенной хрупкости и низкого удлинения при разрыве.

Сочетание двух биоразлагаемых материалов – полилактида и натурального каучука – позволяет скрыть недостатки обоих материалов (улучшить физико-механические свойства, снизить себестоимость композиции), а также оставить композицию «зеленой» – биоразлагаемой. Целью данной работы является подбор оптимальной рецептуры для биоразлагаемой полимерной композиции, способной конкурировать с синтетическими пластмассами, подбор оптимального режима смешения.

В данной работе были рассмотрены различные соотношения полилактида и натурального каучука, подобран режим смешения для данной композиции. Смешение проводилось в микросмесителе при температуре 180 °С, 40 об/мин в течение 15 минут. Также были испытаны физико-механические свойства полученных композиций.

Сферами применения данной композиции является производство биоразлагаемой упаковки, изготовление нитей для 3D-печати.

Ключевые слова: полилактид, натуральный каучук, биоразлагаемые полимеры, композиция, физико-механические свойства.

Введение. Полимерные материалы прочно вошли в нашу жизнь. Популярность изделий из полимеров, как пластических масс, так и эластомеров, объяснима и логична. Прежде всего, это низкая цена материала, простота переработки и использования, возможность получения необходимых свойств путем введения различных добавок. Полимерные материалы вытесняют своих конкурентов, таких как бумага, металл, картон, стекло. Растет спрос на изделия, в то же время увеличивается и объем производства полимеров. После использования таких материалов отходы попадают в окружающий мир и создают огромные полимерные свалки, отсюда и недостаток – разложение в стандартных условиях у полимеров достигает периода в сотни лет. В качестве альтернативы,

как правило, предлагаются два решения проблемы: утилизация полимерной тары и использование биоразлагаемых полимеров.

Биоразлагаемые полимеры – это полимеры, которые могут полностью разлагаться на свалках, компостах или очистных сооружениях под действием природных факторов. Биоразлагаемые пластики не оставляют токсичных, видимых или различимых остатков после разложения. Их биоразлагаемость резко контрастирует с большинством пластмасс на нефтяной основе, которые в биологическом контексте практически неразрушимы.

Однако синтетические пластики превосходят по свойствам биоразлагаемые. Целью работы является получение биоразлагаемой композиции на основе полилактида и натурального каучука с улучшенными физико-механическими характеристиками. Смесь полилактида и натурального каучука – перспективная композиция, благодаря совмещению двух полимеров можно скрыть главный недостаток полилактида – хрупкость, при этом композиция останется «зеленой» то есть биоразлагаемой, поскольку оба материала могут быть получены из возобновляемого сырья.

Методы исследования. Для изготовления композиции был использован полилактид марки Ingeo™ Biopolymer 4043D и натуральный каучук марки SVR-5.

ПЛА поставляется в виде гранул. Полимер обладает высокой стабильностью при переработке при условии соблюдения условий переработки и сушки. Свойства марки Ingeo™ Biopolymer 4043D представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физические свойства марки Ingeo™ Biopolymer 4043D

Плотность	1,24
ПТР, г/10 мин	6
Температура плавления, °С	145–160
Температура стеклования, °С	55-60
Прочность при растяжении, psi	7700
Относительная вязкость	4,0

Полилактид предварительно сушили в термошкафу на протяжении 24 часов при температуре 100 °С. Смешение проводилось с различным соотношением полилактида и натурального каучука (табл. 2). Каучук предварительно пластицировался в течение 15 минут на вальцах.

Для лучшей совместимости смесей из ПЛА и НК использовали компатибилизаторы. В нашей работе использовался малеиновый ангидрид. Предварительно малеиновый ангидрид совмещали с фазой натурального каучука в микросмесителе, но при достаточно высоких температурах наблюдался резкий неприятный запах, а также наблюдалось неравномерное распределение ангидрида в полимере. Было принято решение вводить малеиновый ангидрид при пластикации натурального каучука на вальцах для лучшего распределения, количество введённого малеинового ангидрида прямо пропорциально зависит от содержания натурального каучука.

Массу пластицированного каучука с малеиновым ангидридом далее вводили в двухроторный микросмеситель закрытого типа, после чего добавляли высушенный полилактид при температуре 180 °С и скорости вращения 40 об/мин.

Таблица 2

Соотношение полилактида и натурального каучука

Номер смеси	Количество ПЛА, масс. частей	Количество НК, масс. частей
1	100	0
2	80	20
3	70	30
4	60	40

Далее из смешанных композиций были получены образцы для испытания физико-механических свойств. Испытания проводились на универсальной испытательной машине серии Shimadzu Autograph AGS-X 5KN со скоростью 100 мм/мин.

Результаты работы. Полученные композиции внешне практически не отличались друг от друга по свойствам, однако при более детальном изучении было замечено отличие в технологических свойствах. У смеси № 2 (ПЛА/НК 80:20) зафиксирована повышенная хрупкость, пониженная ударная вязкость, в отличие от смеси № 4, где наблюдаются противоположные свойства.

Далее у всех трех смесей были исследованы физико-механические свойства, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические свойства

Номер смеси	Рецептура смеси	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
1	ПЛА/НК 100:0	32,0	1,1
2	ПЛА/НК 80:20	9,5	3,3
3	ПЛА/НК 70:30	6,3	4,8
4	ПЛА/НК 60:40	4,7	8,1

Как мы видим по данным табл. 3, с повышением содержания натурального каучука увеличивается относительное удлинение при разрыве, но понижается прочность. Введение эластомера позволяет значительно снизить жесткость и хрупкость чистого полилактида, увеличение содержания каучука увеличивает относительное удлинение в 8 раз, тогда как прочность снижается в 5 раз.

Выводы. Композиция полилактида и натурального каучука является очень перспективных материалом. За счет совмещения этих двух материалов удается существенно уменьшить недостатки материала и сделать его конкурентоспособным, способным заменить синтетические полимеры.

Таким образом, исследована зависимость содержания полилактида и натурального каучука, определены оптимальные дозировки. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований, подобранную рецептуру можно модифицировать и использовать подобранный оптимальный режим смешения.

В дальнейшей перспективе на основе этого исследования планируется реализовать динамическую вулканизацию для данной композиции.

Библиографический список

1. Bitinis N., Verdejo R., Cassagnau P., Lopez-Manchado M. Structure and properties of polylactide/natural rubber blends // Materials Chemistry and Physics. 2011. Vol. 129. Is. 3. P. 823–831.

2. Buys Y. F., Aznan A. N. A., Anuar H. Mechanical properties, morphology, and hydrolytic degradation behavior of polylactic acid/natural rubber blends // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. Vol. 290. №. 1. P. 012077.

3. Mohamad Z. et al. Properties Enhancement of Polylactic Acid Biocomposite // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol. 63. P. 361–366.

4. Mongkolvai A. et al. Preparation and Properties of Poly (Lactic Acid)/Epoxidized Natural Rubber/Nano-Silica Composites // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltd. 2018. Vol. 773. P. 20–24.

5. Tessanan W. et al. Improvement of mechanical and impact performance of poly (lactic acid) by renewable modified natural rubber // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 276. P. 123800.

6. Yuan D. et al. Phenolic resin-induced dynamically vulcanized polylactide/natural rubber blends // Polymer-Plastics Technology and Engineering. 2016. Vol. 55. № 11. P. 1115–1123.

Синтез полимерных материалов на основе поливинилиденфторида, способных к переработке методом 3D-печати

А. Н. Бушуев [a], В. А. Кряжевских [b], И. С. Солодянкина [c], В. С. Трухин [d]
младший научный сотрудник Центра компетенций
«Экологические технологии и системы» ВятГУ [a]
аспирант кафедры химии и технологии переработки полимеров ВятГУ [b, c]
магистрант кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ВятГУ [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr08083@vyatsu.ru [a], usr21806@vyatsu.ru [b], usr20765@vyatsu.ru [c], stud123915@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Фторполимеры обладают рядом уникальных свойств: химической стойкостью, биологической совместимостью, пьезоэлектрическими свойствами, низким коэффициентам трения, гидрофобностью и т. д. В связи с этими особенностями данного типа высокомолекулярных соединений повышение технологичности фторполимерных материалов и композитов на их основе является актуальной задачей. В данной работе рассматриваются вопросы подбора оптимальной рецептуры и режимов синтеза полимера на основе поливинилиденфторида с реологическими характеристиками, подходящими для переработки в филамент с последующей печатью на 3D-принтере. Полученные образцы анализировали методами дифференциальной сканирующей калориметрии и рентгенофазового анализа, определяли показатель текучести расплава. Методом экструзии были получены образцы филамента поливинилиденфторида. Целью настоящей работы был поиск условий синтеза полимерных материалов на основе поливинилиденфторида, обладающих достаточной термостабильностью, пригодных для переработки методом 3D-печати. Данные материалы могут найти применение в химической технологии, авиатехнике, при производстве датчиков давления.

Ключевые слова: поливинилиденфторид, фторполимеры, FDM-печать.

Введение. Фторполимеры в сравнении с другими высокомолекулярными соединениями обладают рядом уникальных свойств: химической стойкостью, биологической совместимостью, низким коэффициентам трения, гидрофобностью и т. д. Благодаря этому они находят широкое применение в различных областях от космонавтики и авиации до медицины и бытовой техники. Переработка таких полимеров при помощи аддитивных технологий затруднена по ряду причин (например, узкий температурный интервал переработки). В связи с этим вопросы повышения технологичности фторполимерных материалов и композитов на их основе являются актуальными. Одним из наиболее удобных фторированных полимеров данного класса для переработки методом экструзии представляется поливинилиденфторид (ПВДФ).

Целью настоящей работы был поиск условий синтеза полимерных материалов на основе поливинилиденфторида, обладающих достаточной термостабильностью, пригодных для переработки методом 3D-печати.

Методы исследования. Синтез полимера проводился в закрытом реакторе объемом 500 мл, с возможностью поддержания давления до 10 МПа и температуры 300 ^{o}C (производства фирмы AMAR EQUIPMENTS PVT. LTD, Индия). Температура процесса составляла 80 ^{o}C, давление варьировалось от 1,0 до 1,5 МПа. В качестве реакционной среды использовалась дистиллированная вода. Инициатором служил персульфат аммония, регулятором молекулярной массы – этанол. Триэтиламин использовали как стабилизатор готового продукта (для увеличения термостабильности полимера) и как эмульгатор. Разрушение полученного латекса проводилось вымораживанием, затем продукт отфильтровывали и сушили при 80 °C. Выход продукта составил от 67 до 97 масс. %. Общий вид высушенного полимера представлен на рис. 1.

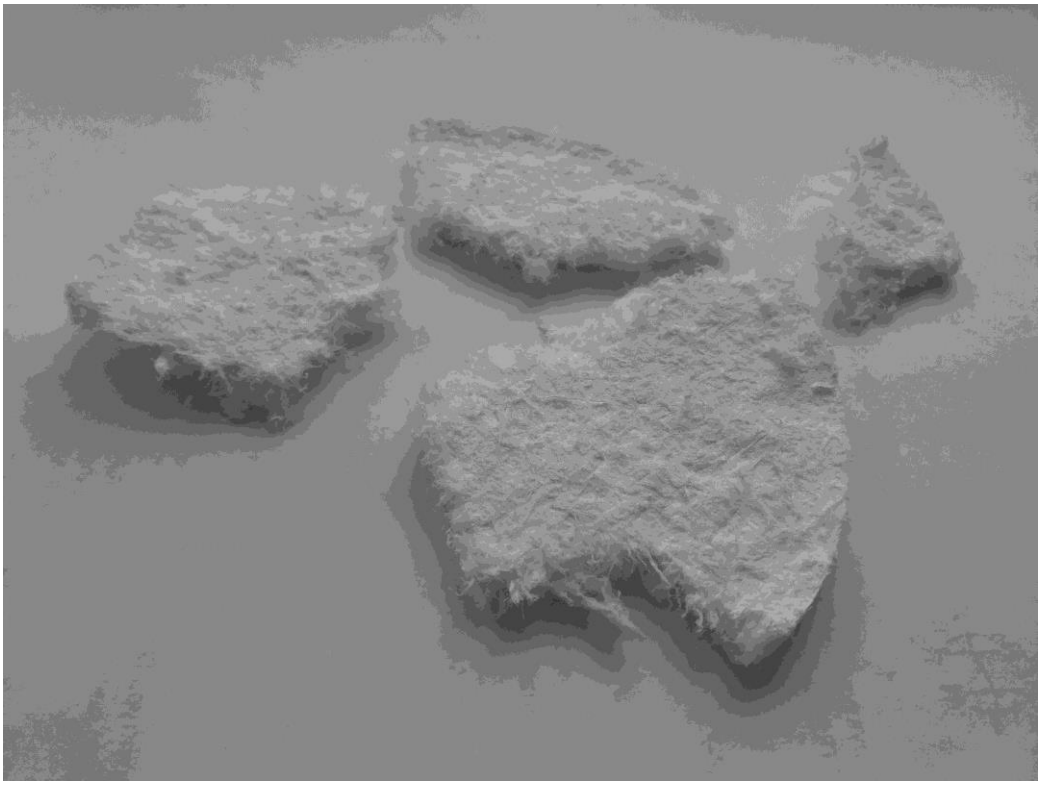


Рис. 1. Типичный образец ПВДФ после сушки

Полученные образцы анализировали методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгенофазового анализа. Измерения показателя текучести расплава (ПТР) проводили по стандартной методике [1] при 230 °C с нагрузкой 5 кг.

Результаты исследований, их обсуждение. Условия синтеза полимеров представлены в таблице. На основании данных ДСК образцов (рис. 2) оценена степень кристалличности, которая составила 51–58 %. У образцов, полученных без введения триэтиламина, кривые ДСК имеют единственный пик плавления при температурах 163–168 °С, который соответствует α-фазе (кривые 1–4, рис. 2). При добавлении триэтиламина у образцов появляется еще один пик плавления при более высоких температурах 174–177 °С (кривые 5–9, рис. 2). По нашему мнению, это объясняется тем, что образцы № 5–9 содержат две фазы ПВДФ – α и γ. Рентгенофазовый анализ также показал у образцов 5–9 наличие α- и γ-фаз.

Условия синтеза

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Давление, бар	10,4	11,3	14,9	14,1	13,3	12,5	11,3	10,3	12,9
Выход, %	67	64	60	83	97	96	93	92	97

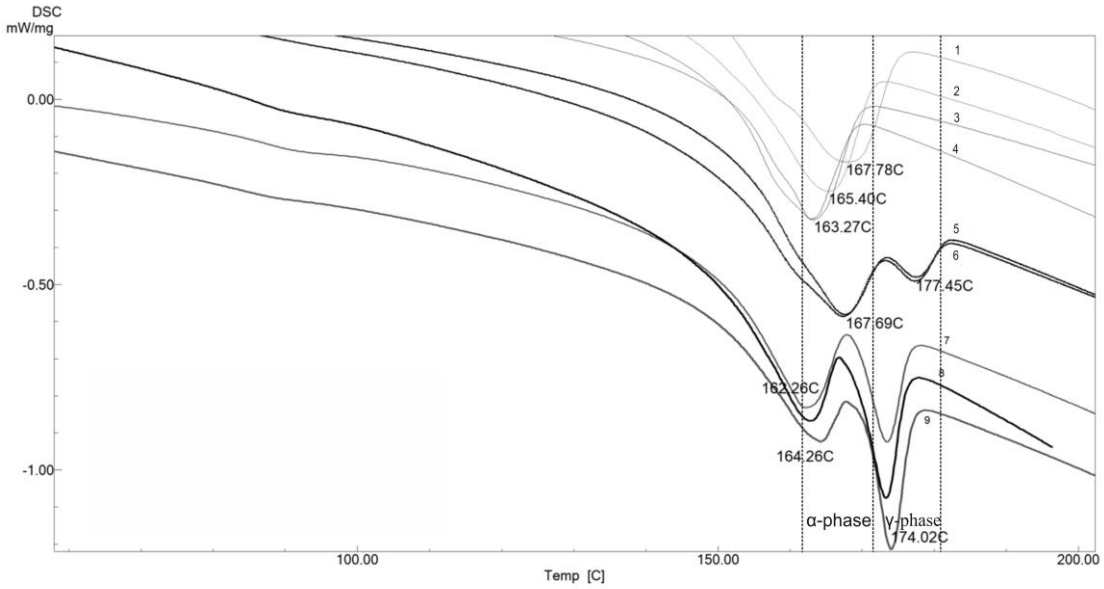


Рис. 2. Кривые ДСК (номер кривой соответствует номеру образца)

Из таблицы видно, что оптимальными условиями синтеза являются давление 12,5–13,5 бар с добавлением триэтиламина.

ПТР полученных образцов ПВДФ лежит в диапазоне (2–3) г/10 мин, что допустимо для переработки полимера методом экструзии [2]. Экструзию образцов № 5–9 выполняли на лабораторном экструдере при температуре 190 °С. В результате был получен филамент диаметром 1,8 мм, пример представлен на рис. 3.

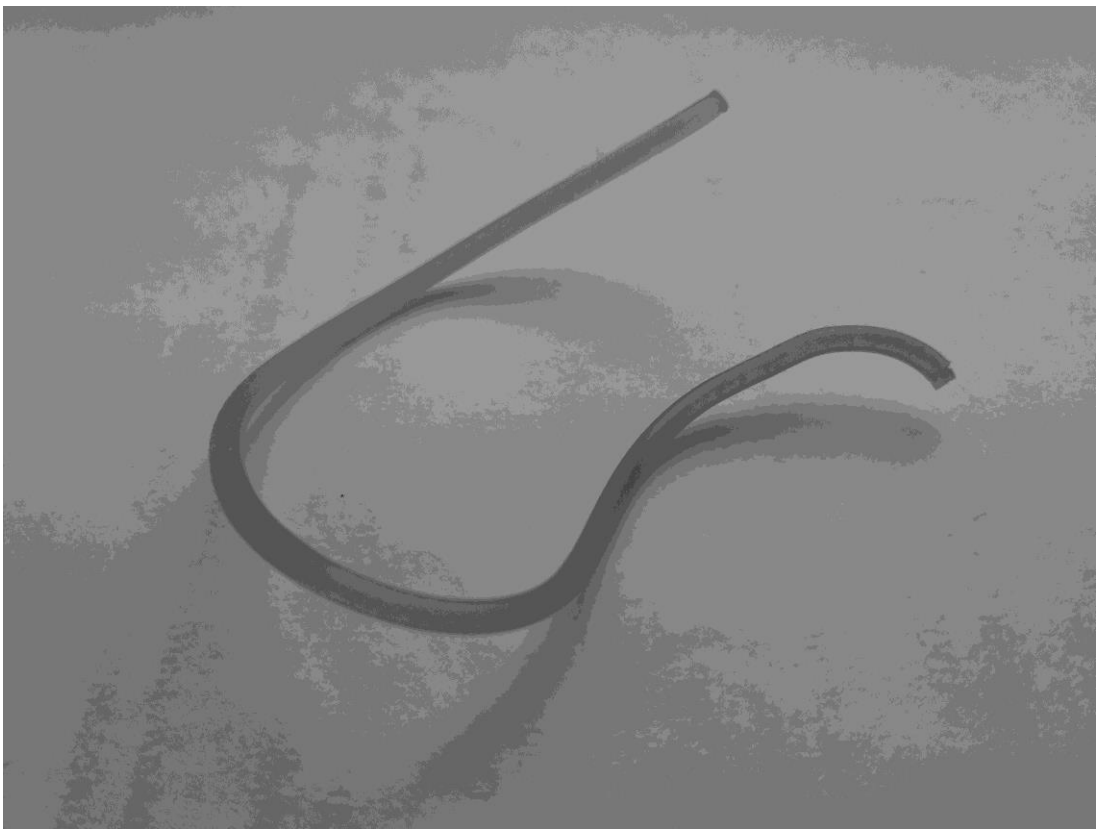


Рис. 3. Типичный образец филамента ПВДФ

Выводы. В данной работе подобран режим синтеза и состав полимера на основе ПВДФ с оптимальными реологическими свойствами. Из данного полимера экструдирован филамент, пригодный для FDM-печати.

Библиографический список

1. ASTM D1238-04 Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. URL: https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1238-04.htm (дата обращения 18.01.2021).

2. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / В. К. Крыжановский [и др.] ; под общ. ред. В. К. Крыжановского. СПб. : Профессия, 2008. 464 с.

Получение пенополиуретанов из переработанных отходов пластмасс

Р. Л. Веснин [a], В. В. Пятина [b], М. А. Вохмянин [c]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой химии и технологии переработки полимеров [a]
студентка группы ХТм-2501-01-0 [b]
студент группы ХТа-3502-03-00 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: vesninroman@mail.ru [a], verapyatina@gmail.com [b], vmisha7@gmail.com [c]

Аннотация. Ежегодный рост объемов производства и потребления изделий из пластмасс приводит к значительному увеличению образования твердых бытовых и производственных отходов. Существуют, улучшаются и разрабатываются все новые подходы и методы утилизации твердых отходов полимеров с извлечением ценных компонентов либо с получением энергии. В данной статье представлены результаты разработки технологии химического рециклинга отходов полиэтилентерефталата с получением новых ценных соединений, которые в дальнейшем используются в качестве одного из компонентов (полиола) вспененных полиуретанов. Разработаны несколько основных рецептур пенополиуретанов с различными физико-механическими свойствами. Регулирование свойств обусловлено наличием и соотношением различных компонентов, в том числе продуктами химического рециклинга полиэтилентерефталата. Полученные пенополиуретаны могут быть использованы в качестве звуко- и теплоизолирующих материалов в строительстве.

Ключевые слова: химический рециклинг, пенополиуретаны, отходы, полиэтилентерефталат.

Введение. Композиции на основе полиуретанов находят широкое применение в качестве звуко- и теплоизоляции, защитных покрытий и строительных материалов. Основой данных материалов являются изоцианаты и полиолы, их химическое строение и структура в дальнейшем определяют свойства получаемых полиуретанов [4].

Наиболее перспективным направлением исследования в области полимерных материалов является разработка безотходных технологий рециклинга твердых бытовых и производственных отходов полимеров. Особое внимание уделяется технологиям и методам, направленным на рециклинг крупнотоннажных полимеров, в частности полиэтилентерефталата (ПЭТ) [3, 2].

Полиэтилентерефталат является одним из самых распространенных полимерных отходов во всем мире. Ежегодно образуется более 13 миллионов тонн отходов ПЭТ, что приводит к проблемам окружающей среды глобального масштаба. Кроме проблем загрязнения окружающей среды, можно выделить потерю ценного сырья, что является следствием отсутствия качественных и экономически выгодных методов переработки ПЭТ [4, 3, 2].

Существует несколько основных направлений переработки отходов ПЭТ: механический – измельчение и повторное использование в качестве добавки («вторички») к первичному ПЭТ, например, при изготовлении ПЭТ-тары, волокон, нитей; термический – сжигание с получением тепловой энергии или пиролиз для получения жидких и газообразных топлив; химический – получение исходного сырья либо других полиэфиров и ценных соединений [2].

Наиболее перспективным направлением переработки отходов ПЭТ является аминолитическая деструкция под действием смеси аминоспиртов ввиду того, что данный метод позволяет получить и выделить широкий спектр новых полезных соединений [4, 6].

Целью данной работы является исследование возможности использования продуктов деструкции отходов ПЭТ и олигомеров на их основе в качестве полиолов при получении новых вспененных полиуретанов.

В качестве задач можно выделить следующие: проведение процесса деструкции отходов ПЭТ смесью аминоспиртов (моноэтаноламина и триэтаноламина); смешение полученного продукта деструкции ПЭТ с одним из наиболее распространенных изоцианатов (метилендифенилдиизоцианатом) для получения полиуретанов; исследование свойств полученных полиуретанов.

Методы исследования. В качестве объекта исследования выступает продукт аминолитической деструкции полиэтилентерефталата N, N’-бис (2-гидроксиэтил) терефталамид, полученный путем проведения реакции смеси аминоспиртов (моноэтаноламина и триэтаноламина) с отходами ПЭТ.

Результаты исследования. В результате протекания процесса аминолитической дестукции ПЭТ образуется N, N’-бис (2-гидроксиэтил) терефталамид (БГЭТА), который в дальнейшем используется в качестве полиола (гидроксилсодержащего компонента) при получении полуиретанов (рис. 1) [5].

Полученный продукт деструкции ПЭТ очищается от остатков аминоспиртов двукратной перекристаллизацией из горячей воды. Кристаллы имеют белый цвет. Растворяются в диметилсульфоксиде и диметилформамиде в незначительном количестве.

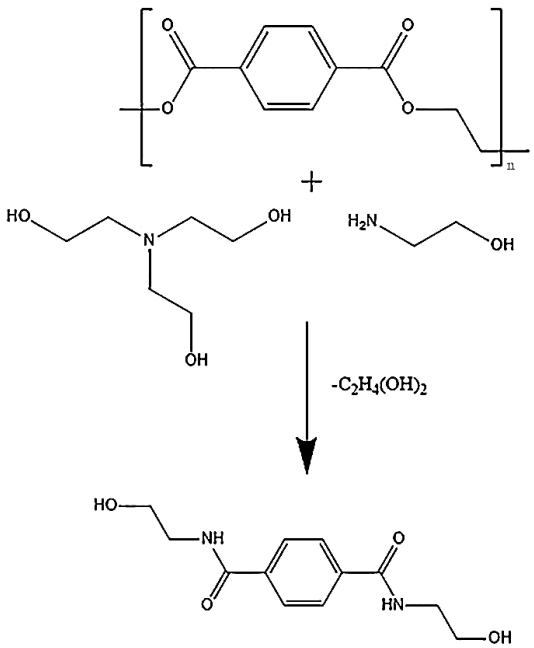


Рис. 1. Процесс аминолитической деструкции полиэтилентерефталата

Далее продукт аминолитической деструкции ПЭТ использовался в качестве полиола при получении новых полиуретанов (рис. 2). В качестве второго компонента для образования полиуретанов использовался метилендифенилдиизоцианат (МДИ) как один из наиболее распространенных изоцианатов.

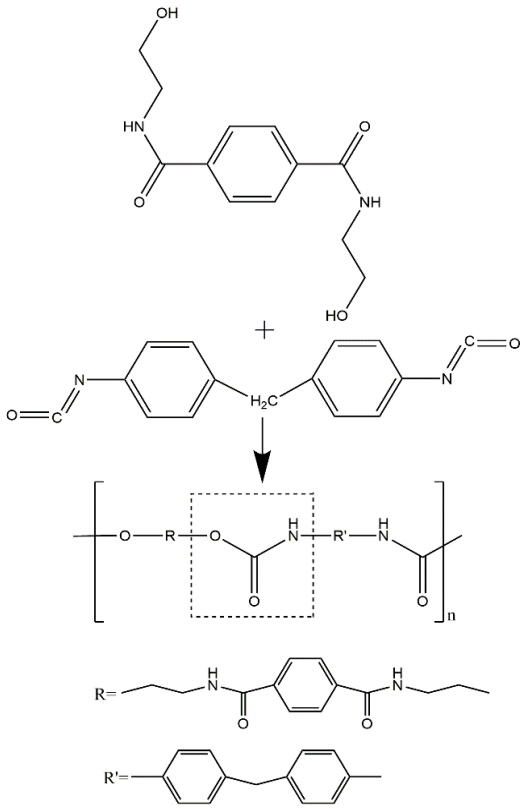


Рис. 2. Реакция получения полиуретана из N, N’-бис (2-гидроксиэтил) терефталамида и метилендифенилдиизоцианата

Описание рецептур пенополиуретанов приведены в таблице.

Рецептуры полученных полиуретанов

№ образца	Компоненты	Описание продукта
С1	Раствор олигомера* Глицерин Вазелин Полиакрилат Na ТЭА Изоционат	Мгновенное пенообразование после перемешивания смеси, выделение большого количества тепла. Поры среднего размера. Спустя неделю образец сохранил свою первоначальную форму и эластичность, при после полного сжатия образец восстанавливает свою исходную форму
С5	Раствор олигомера Глицерин Вазелин Полиакрилат Na ТЭА Изоционат	Бурное протекание реакции образования полиуретана, большое пенообразование и выделение тепла. Реакция идёт через 15 секунд перемешивания реакционной массы. Равномерное распределение пор в объеме образца. Поры среднего размера. Спустя неделю образец сохранил свою первоначальную форму и эластичность, после полного сжатия образец восстанавливает свою исходную форму
С8	Раствор олигомера Глицерин Вазелин Полиакрилат Na Изоционат	Большой индукционный период реакции. Бурная реакция при перемешивании через 30 секунд. Неравномерное распределение пор в образце, различные размеры пор. Через неделю образование твердой корки на поверхности образца из-за контакта влагой воздуха

Примечание* Раствор олигомера представляет собой продукт поликонденсации N, N’-бис (2-гидроксиэтил) терефталамида в диметилсульфоксиде

Все полученные полиуретаны не растворяются в органических растворителях (этанол, этилацетат, ацетон, орто-ксилол, диметилсульфоксид, диметилформамид и др.) ввиду пространственно-сшитой структуры.

При исследовании физико-механических свойств установлено, что полученные полиуретаны проявляют эластическое восстановление – полное восстановление формы после нагружения материала.

Выводы. В ходе проведения данного исследования подтверждена возможность использования продуктов аминолитической деструкции отходов ПЭТ в качестве компонентов для получения вспененных полиуретанов. Кроме этого обнаружено, что изменение количества вводимого БГЭТА либо его олигомера может изменять некоторые физико-механические свойства, а также скорость реакции образования пенополиуретанов.

В дальнейшем планируется более подробное изучение физико-механических и физико-химических свойств полученных полиуретанов: тепло- и зву-

коизоляционных свойств, стойкости к действию агрессивных сред (кислот, щелочей), стойкости к действию ультрафиолетового излучения.

Библиографический список

1. Вохмянин М. А., Веснин, Р. Л., Пятина, В. В., Седых, В. А. Использование диамида терефталевой кислоты в резинах на основе СКН-40 // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 2. С. 161–168.

2. Зелке С., Кутлер Д., Хернандес Р. Пластиковая упаковка. СПб. : Профессия. 2011. 560 с.

3. Веснин Р. Л., Вохмянин М.А., Алалыкин А. А. Технология утилизации отходов полиэтилентерефталата с получением амида терефталевой кислоты // известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2020. Т. 63. № 2. С. 99–104.

4. Aslzadeh M. M., Sadeghi G. M. M., Abdouss M. Synthesis and characterization of BHETA based new polyurethanes // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2010. V. 41. № 8. P. 682–688.

5. Shamsi R., Abdouss M., Sadeghi G. M. M., Taromi F. A. Synthesis and characterization of novel polyurethanes based on aminolysis of poly (ethylene terephthalate) wastes, and evaluation of their thermal and mechanical properties // Polymer International. 2009. V. 58. № 1. P. 22–30.

6. Soni R.K., Singh S. Synthesis and characterization of terephthalamides from poly (ethylene terephthalate) waste // Journal of Applied Polymer Science. 2005. V. 96. № 5. P. 1515–1528.

Синтез сополимера винилиденфторида

О. В. Елькин [a], И. С. Солодянкина [b], В. А. Кряжевских [c], И. В. Толстобров [d]
кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник
Центра компетенций «Экологические технологии и системы» ВятГУ [a]
аспирант кафедры химии и технологии переработки полимеров ВятГУ [b, c]
младший научный сотрудник Центра компетенций
«Экологические технологии и системы» ВятГУ [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: ov_elkin@vyatsu.ru [a], usr20765@vyatsu.ru [b], usr21806@vyatsu.ru [c], usr08669@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Перспективным сырьем для изготовления «интеллектуальных материалов» представляются сополимеры, в которых основная цепь образована звеньями винилиденфторида с включением иных фторсодержащих мономерных звеньев и с боковыми цепями различной длины и химической структуры. Поливинилиденфторид и его сополимеры обладают пьезоэлектрическими свойствами, т. е. могут преобразовывать электрическую энергию в механическую и наоборот, что делает данные материалы привлекательными для широкого спектра применений. В данной работе методом эмульсионной полимеризации был синтезирован сополимер винилиденфторида и фторированного сложного эфира. Методами инфракрасной спектроскопии и вискозиметрии установлен состав и определена средняя молекулярная масса полученных образцов. Данный сополимер является перспективным сырьем для изготовления «интеллектуальных материалов», в том числе для изделий медицинского назначения и химических источников тока.

Ключевые слова: поливинилиденфторид, сополимеризация, интеллектуальные материалы.

Введение. В настоящее время внимание исследователей и инженеров привлекают так называемые «интеллектуальные материалы» (smart materials), которые могут изменять свою структуру и свойства под воздействием температуры, света, изменения pH, электрических и магнитных полей. Такие материалы могут быть различной природы – сплавы, полимеры, керамика, гели, композиты [1].

Наиболее перспективными умными материалами являются полимеры с памятью формы, так как они обладают уникальным комплексом характеристик, таких как химическая инертность, простота обработки, биосовместимость, способность менять свою форму при изменении температуры или ином внешнем воздействии, что предопределяет их применение в различных областях науки и техники. При этом очевидно, что для каждой сферы применения необходим уникальный набор свойств и функций материала с возможностью тонкой настройки под специфику условий эксплуатации. Полимеры с памятью формы имеют широкий потенциал применения в медицине. Из них изготавливают стенты, экстракорпоральные устройства, самозатягивающиеся швы, агенты доставки лекарств

и т. д. Не менее интересными с практической точки зрения представляются материалы с памятью формы, которые обладают высокими температурами перехода. Такие материалы имеют большой потенциал для различных приложений, требующих высокой устойчивости в экстремальных условиях (например, в аэро- и космической технике, в химических технологиях и др.).

Перспективным сырьем для материалов такого типа представляются сополимеры, в которых основная цепь образована звеньями винилиденфторида с включением иных фторсодержащих мономерных звеньев и с боковыми цепями различной длины и химической структуры [2]. Важно отметить, что поливинилиденфторид (PVDF) и его сополимеры обладают пьезоэлектрическими свойствами, т. е. могут преобразовывать электрическую энергию в механическую и наоборот, что делает данные материалы еще более привлекательными для широкого спектра применений.

Целью данной работы является отработка режима синтеза сополимера на основе фторсодержащих мономеров как основы для получения новых интеллектуальных материалов, обладающих функциональными свойствами.

Методы исследования. В качестве мономеров использовали винилиденфторид (мономер-2) и ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеат – продукт этерификации [3] малеинового ангидрида и 1,1,7-тригидрододекафторгептилового спирта, предоставлен Национальным исследовательским томским политехническим университетом.

Сополимеризацию винилиденфторида и ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеата осуществляли методом эмульсионной полимеризации в водной среде, в качестве инициатора применяли перекись бензоила, в качестве эмульгатора использовали лаурилсульфат натрия. Синтез сополимера проводился в закрытом реакторе объемом 500 мл, с возможностью поддержания давления до 10 МПа и температуры до 300 ^{o}C (производства фирмы AMAR EQUIPMENTS PVT. LTD, Индия). Температура процесса составляла 110 ^{o}C, давление в реакторе 3 МПа. По завершении реакции полученный сополимер осаждали из эмульсии вымораживанием и высушивали.

Молекулярную массу полученного сополимера определяли методом вискозиметрии [4]. Кроме того, на ИК-Фурье спектрометре ФТ-801 были сняты ИК-спектры полученного соединения.

Результаты исследований, их обсуждение. Внешний вид полученного сополимера представлен на рис. 1. Данный сополимер, как и другие сополимеры винилиденфторида, растворим в диметилсульфоксиде, горячем ацетоне, N,N-диметилформамиде, не растворим в воде. Среднемассовая молекулярная масса сополимера составила 26000. На рис. 2 представлен ИК-спектр ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеата, а на рис. 3 представлен ИК-спектр поливинилиденфторида и полученного сополимера. На спектре наблюдается усиление поглощения в областях 1000–1400 см$^{-1}$, что соответствует валентным колебаниям C–F связи, привнесенным в сополимер винилиденфторидом.

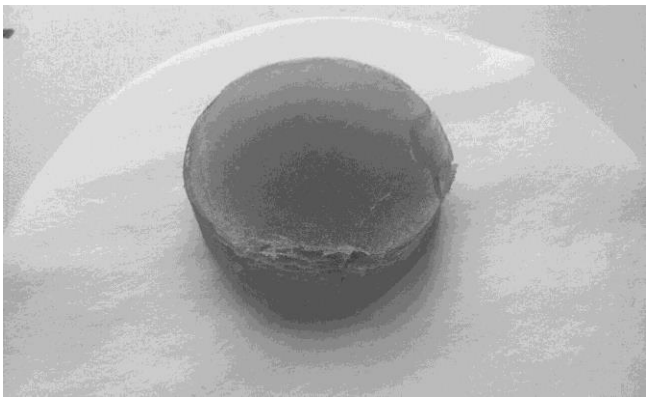


Рис. 1. Сополимер винилиденфторида и ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеата

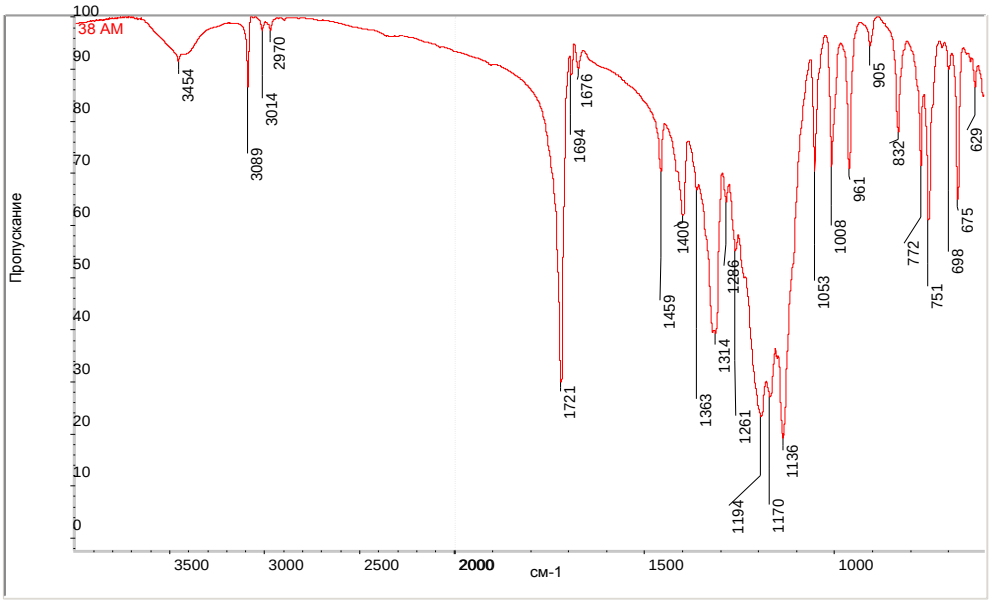


Рис. 2. ИК спектр исходного ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеата

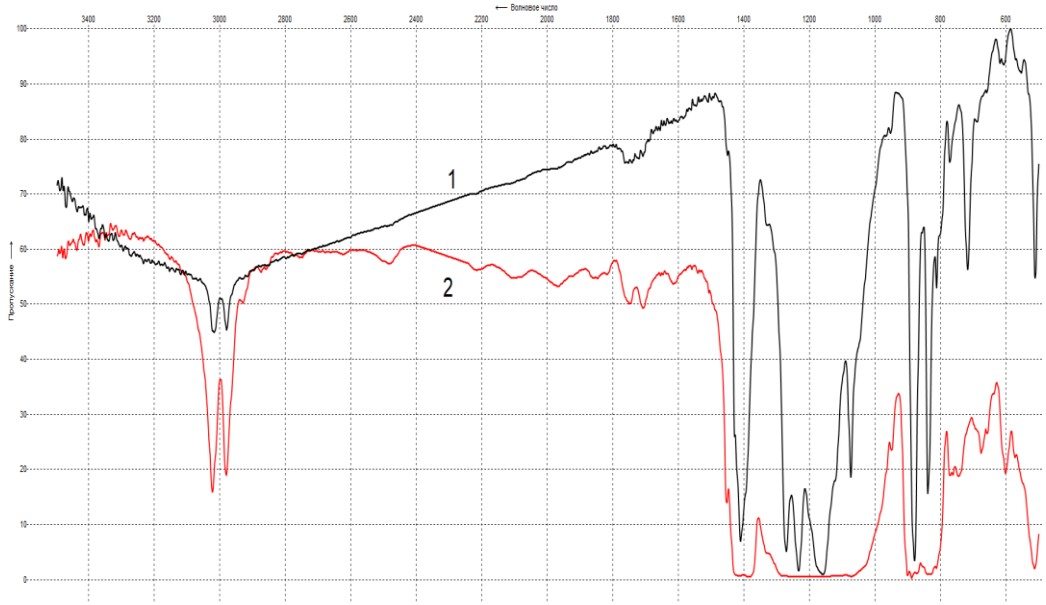


Рис. 3. ИК спектры гомополимера винилиденфторида (кривая 1)
и полученного сополимера (кривая 2)

Выводы. В лаборатории синтеза фторполимерных материалов ВятГУ был впервые получен сополимер винилиденфторида и ди(1н,1н,7н-перфторгептил) малеата, методом ИК-спектрометрии подтвержден состав полученного сополимера, определена его молекулярная масса. Данный сополимер может быть использован при создании различных функциональных материалов.

Библиографический список

1. Введение в систематику умных материалов / Л. С. Пинчук [и др.] ; под. общ. ред. Л. С. Пинчука. Минск: Беларус. навука, 2013. 399 с.

2. Eken G. A., Acar M. H. PVDF-based shape memory polymers // European Polymer Journal. 2019. № 114. P. 249–254.

3. Изучение трибологических свойств сополимера дициклопентадиена и ди(1н, 1н, 7н-перфторгептил) малеата / А. Г. Зайкова, В. Г. Бондалетов, А. А. Мананкова // Актуальные проблемы науки о полимерах : сб. ст. по материалам Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) преподавателей и студентов вузов. Казань, 2020. С. 20.

4. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. М. : Химия, 1978. 544 с.

Обеззараживание воды для бассейнов: расчеты возможной растворимости меди

Т. В. Еремеева [a], Л. Л. Лобанова [b], Ю. П. Хранилов [c], И. С. Юдинцев [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭП [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭП [b]
кандидат технических наук, профессор кафедры ТЭП [c]
студент группы ХТм-1502 [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr04759@vyatsu.ru [a], usr00803@vyatsu.ru [b], usr00451@vyatsu.ru [c], stud127787@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Одним из перспективных методов обеззараживания воды бассейнов является насыщение её ионами меди до концентрации 0,5–0,7 мг/л за счёт анодного растворения медного электрода в специальном электролизёре. Представляет интерес выяснить, какая концентрация ионов двухвалентной меди может быть достигнута при различных значениях pH бассейновой воды. Для достижения указанной цели был использован метод расчета ионных равновесий в системе Cu^{2+} – OH^-, учитывающий образование четырёх видов гидроксокомплексов двухвалентной меди и её гидратированных ионов.

Расчёты показали, что при pH воды 7 и менее рекомендуемая концентрация ионов меди может быть достигнута. Расчётные значения концентрации меди могут служить исходными данными при электрических и конструктивных расчётах электролизёра и вспомогательного насоса.

Ключевые слова: обеззараживание воды бассейнов, растворимость меди, расчёты ионных равновесий.

Введение. Обеззараживание воды является одной из важных процедур в водоподготовке, позволяющей обезвредить содержащиеся в воде штаммы различных бактерий, продуктом жизнедеятельности которых являются бактериальные токсины. Для решения этой задачи используют различные химические методы, например озонирование, хлорирование, ультрафиолетовое облучение, дозирование ионов меди и серебра (олигодинамическая обработка) или сочетание этих методов в комплексной обработке [1]. Насыщение бассейновой воды ионами меди за счёт анодного растворения медного электрода в специальном электролизёре имеет преимущество перед другими способами дезинфекции, так как обеззараживание воды происходит при минимуме энергозатрат и отсутствии затрат на покупку химических препаратов (альгицидов, pH-корректоров, дезинфектантов).

Цель исследования – получить рекомендации для электрохимического меднения хозяйственно-питьевой воды.

Задачи исследования – провести расчеты возможной растворимости меди с учетом образования гидроксокомплексов.

Ведущий подход. Применение ионных равновесий для изучения зависимости распределения концентрации меди от pH раствора.

Результаты исследований, их обсуждение. Согласно [2] рекомендуемая концентрация ионов меди составляет 1 мг/л. В этой связи в данной работе были проведены расчеты возможной растворимости меди при проведении электролиза с медными анодами в хозяйственно-питьевой воде.

Основная анодная реакция при электролизе:

$$Cu - 2e \rightarrow Cu^{2+} \quad (1)$$

Поэтому в качестве основной расчетной величины было взято произведение растворимости (ПР ($Cu(OH)_2$)), равное $[Cu^{2+}][OH^-]^2$. Согласно [3] ПР = $8{,}3 * 10^{-20}$. Приняв pH воды равным 7 ($[OH^-] = 10^{-7}$), получим $[Cu^{2+}] = 8{,}3*10^{-20}/(10^{-7})^2 = 8{,}3*10^{-6}$ моль/л или $8{,}3*10^{-6}$ моль/л * 63,5 г/моль = $527 * 10^{-6}$ г/л = 0,527 мг/л, что несколько меньше максимального рекомендуемого значения (0,7 мг/л).

Однако расчеты по произведению растворимости (ПР) не учитывают образование гидроксокомплексов ионов меди. Ионы меди существуют не только в виде гидратированных катионов Cu^{2+}, но также в виде гидроксокомплексов типа $Cu(OH)_m^{n-m}$ (катионы при n>m; анионы при n<m; нейтральные молекулы в растворе при n = m). Активности гидроксокомплексов определяются равновесиями комплексообразования:

$$Cu^{2+} + mOH^- \leftrightarrow Cu(OH)_m^{2-m}. \quad (2)$$

Устойчивость комплекса характеризуется константой устойчивости K_m:

$$K_m = [Cu(OH)_m^{2-m}] / ([Cu^{2+}][OH^-]^m). \quad (3)$$

Общая растворимость [*Cu*] (моль/л) катионов меди и гидроксокомплексов будет равна:

$$[Cu] = [Cu^{2+}] + \sum[Cu(OH)_m^{2-m}] = [Cu^{2+}]\{1+\sum K_m[OH^-]^m\}. \quad (4)$$

Величина $[Cu^{2+}]$ рассчитывается из ПР.

Константы устойчивости комплексов:

$K_1 = [CuOH^+] / ([Cu^{2+}][OH^-])$, $\lg K_1 = 6{,}0$

$K_{1,2} = [Cu(OH)_2] / ([Cu^{2+}][OH^-]^2)$, $\lg K_{1,2} = 10,7$

$K_{1,2,3} = [Cu(OH)_3^-] / ([Cu^{2+}][OH^-]^3)$, $\lg K_{1,2,3} = 14,2$

$K_{1,2,3,4} = [Cu(OH)_4^{2-}] / ([Cu^{2+}][OH^-]^4)$, $\lg K_{1,2,3,4} = 16,4$

Произведем расчеты для pH=6, при котором $[OH^-]=10^{-8}$. Активность гидратированных ионов меди: $[Cu^{2+}]=8,3*10^{-20}/(10^{-8})^2=8,3*10^{-4}$ (моль/л).

Активность комплекса $[CuOH^+]$:

$$[CuOH^+] = K_1 [Cu^{2+}][OH^-].$$

$[CuOH^+] =10^6*8,3*10^{-4}*10^{-8}=8,3*10^{-6}$ (моль/л).

Активность нейтрального комплекса $[Cu(OH)_2]$:

$$[Cu(OH)_2] = K_{1,2} [Cu^{2+}][OH^-]^2.$$

$[Cu(OH)_2] =10^{10,7}*8,3*10^{-4}*(10^{-8})^2=4,15*10^{-9}$ (моль/л).

Активность $[Cu(OH)_3^-] = K_{1,2,3} [Cu^{2+}][OH^-]^3$.

$[Cu(OH)_3^-] =10^{14,2}*8,3*10^{-4}*(10^{-8})^3=1,3*10^{-13}$ (моль/л).

Активность $[Cu(OH)_4^{2-}] = K_{1,2,3,4} [Cu^{2+}][OH^-]^4$.

$[Cu(OH)_4^{2-}] =10^{16,4}*8,3*10^{-4}*(10^{-8})^4=2,1*10^{-19}$ (моль/л).

Расчеты для остальных значений pH представлены в таблице, также построена зависимость распределения логарифма концентрации от pH на рисунке.

Таблица 1

Расчеты растворимости меди с учетом гидроксокомплексов

pH	$[Cu^{2+}]$	$[CuOH^+]$	$[Cu(OH)_2]$	$[Cu(OH)_3^-]$	$[Cu(OH)_4^{2-}]$	сумма моль/л	сумма мг/л
5,5	$8,3*10^{-3}$	$2,6*10^{-5}$	$4,16*10^{-9}$	$4,16*10^{-14}$	$2,1*10^{-20}$	$8,33*10^{-3}$	529
6	$8,3*10^{-4}$	$8,3*10^{-6}$	$4,16*10^{-9}$	$1,3*10^{-13}$	$2,10*10^{-19}$	$8,38*10^{-4}$	53,2
6,5	$8,3*10^{-5}$	$2,6*10^{-6}$	$4,16*10^{-9}$	$4,16*10^{-13}$	$2,1*10^{-18}$	$8,56*10^{-5}$	5,44
7	$8,3*10^{-6}$	$8,3*10^{-7}$	$4,16*10^{-9}$	$1,33*10^{-12}$	$2,1.10^{-17}$	$9,13*10^{-6}$	0,58
7,5	$8,3*10^{-7}$	$2,6*10^{-7}$	$4,16*10^{-9}$	$4,16*10^{-12}$	$2,1*10^{-16}$	$1,1*10^{-6}$	0,07
8	$8,3*10^{-8}$	$8,3*10^{-8}$	$4,16*10^{-9}$	$1,33*10^{-11}$	$2,1*10^{-15}$	$1,7*10^{-7}$	0,0108
8,5	$8,3*10^{-9}$	$2,6*10^{-8}$	$4,16*10^{-9}$	$4,16*10^{-11}$	$2,1*10^{-14}$	$3,87*10^{-8}$	$2,46*10^{-3}$
9	$8,3*10^{-10}$	$8,3*10^{-9}$	$4,16*10^{-9}$	$1,32*10^{-10}$	$2,1.10^{-13}$	$1,34*10^{-8}$	$8,5*10^{-4}$
9,5	$8,3*10^{-11}$	$2,6*10^{-9}$	$4,16*10^{-9}$	$4,16*10^{-10}$	$2,1*10^{-12}$	$7,29*10^{-9}$	$4,63*10^{-4}$
10	$8,3*10^{-12}$	$8,3*10^{-10}$	$4,16*10^{-9}$	$1,32*10^{-9}$	$2,08*10^{-11}$	$6,31*10^{-9}$	$4,01*10^{-4}$

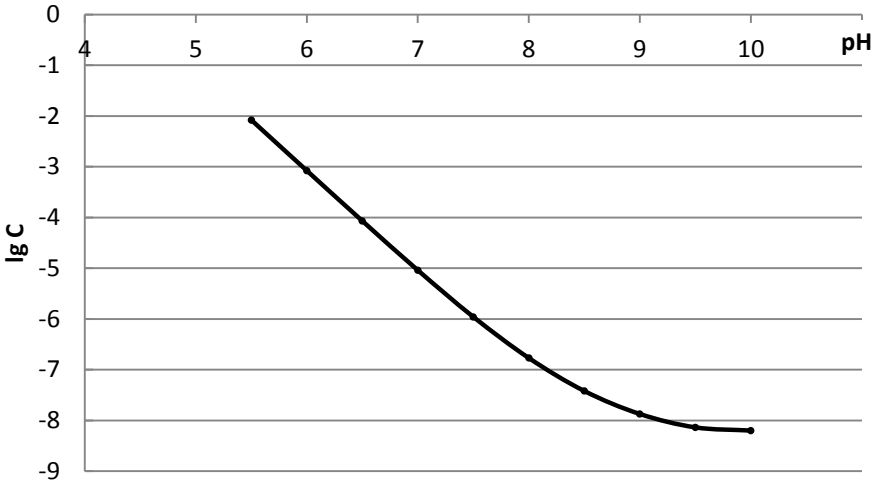


Рис. 1. Распределение концентрации гидроксокомплексов (моль/л) в зависимости от pH раствора

Расчёты ионных равновесий дают нам информацию о концентрации меди в растворимой форме (то есть сумма гидратированных ионов Cu^{2+} и различных комплексов меди с ионами гидроксила) – в зависимости от pH. Следовательно, если внутри электролизёра с хозяйственно-питьевой водой за счёт работы медного анода образуется больше двухвалентной меди, чем по расчёту, то излишняя медь выпадет в осадок. Этот осадок может быть в виде хлопьев $Cu(OH)_2$ между электродами, в виде осадка на самом аноде, в виде мельчайшей коллоидной взвеси. Насос прокачивает воду с медью в растворённой форме, с хлопьями, с коллоидными частицами. Затем хлопья и часть коллоидных частиц задерживаются на фильтре. В то же время желательно, чтобы на фильтре оставалось по минимуму. Следовательно, знание возможной концентрации меди в растворённой форме в совокупности с количеством пропущенного электричества позволяет нам оценивать необходимую скорость прокачки воды между электродами.

Следует иметь в виду, что эти расчёты не учитывают другие анионы, которые могут давать с медью как осадки, так и растворимые комплексы. Это хлориды, сульфаты, карбонаты. Однако для определения расчетной растворимости меди следует знать точный состав хозяйственно-питьевой воды.

Выводы. Расчёты возможной растворимости меди с учётом образования гидроксокомплексов показали, что в нейтральной воде (pH 7) концентрация меди соответствует рекомендуемой для обеззараживания воды в бассейнах.

Библиографический список

1. Петухова Е. О. Методы обеззараживания воды в плавательном бассейне // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 2. С. 36–51.

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: с Изменениями № 20, № 10, № 74: принят 26.09.01. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

3. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1971. 456 с.

Исследование способов удаления мышьяка из технологических растворов медеплавильного производства

К. О. Камалов [a], Ф. И. Ахмаров [b], Д. Ю. Дубовцев [c]
старший преподаватель кафедры ТНВиЭП [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры БТ [b]
студент группы ХТм-1502-02-00 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr00705@vyatsu.ru [a], usr00014@vyatsu.ru [b], stud123912@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Раствор, полученный в процессе выщелачивания цинксодержащих возгонов медеплавильного производства, содержит значительное количество примесей. Вместе с цинком в раствор переходят медь, кадмий, мышьяк, железо и др. Такой раствор не пригоден для выделения из него соединений цинка, поэтому его необходимо подвергнуть очистке. К этому добавляются возросшие экологические требования по допустимому содержанию чрезвычайно вредных соединений таких элементов, как мышьяк, в окружающей среде. Поэтому весьма актуальным является вопрос очистки технологических растворов от мышьяка.

Целью настоящей работы явилось исследование способов удаления мышьяка из технологических растворов.

Большую группу методов очистки технологических растворов от мышьяка составляют методы осаждения и соосаждения. Осаждение мышьяка из растворов осуществляют соединениями двух или трехвалентного железа, а также совместно с окислителями, такими как перманганат калия, дитионит цинка, хлор, кислород, воздух, гипохлорит натрия и др. При осаждении трехвалентным железом остаточная концентрация мышьяка определяется не только количеством трехвалентного железа, но и нейтрализующего реагента.

Ключевые слова: очистка, технологический раствор, осаждение, арсениты, арсенаты.

Введение. В медеплавильной промышленности при производстве черновой меди из концентрата, на различных стадиях технологического цикла происходит образование отходов – шлаков и возгонов, с которыми удаляются соединения примесных металлов. В шлаки и возгоны нацело переходят цинк, свинец, железо, кадмий, частично – серебро, золото, мышьяк, сурьма, висмут, селен и др. [1] Возгоны высокотемпературных переделов частично перерабатываются на цинковый купорос, а частью теряются безвозвратно из-за отсутствия экономичной технологии переработки.

При сернокислотном выщелачивании происходит растворение оксида цинка по реакции:

$$ZnO + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O.$$

По аналогичной реакции в раствор переходят соединения кадмия, меди, двухвалентного железа.

Соединения мышьяка и сурьмы взаимодействуют с серной кислотой с образованием растворимых соединений. Мышьяк в сернокислых растворах цинка может содержаться в виде анионов AsO_3^{3-} и AsO_4^{3-}. Свинец, сопутствующий цинку в возгонах, при выщелачивании остаётся в твёрдом остатке в виде сульфата. В растворе присутствует 1–3 мг/л свинца.

В работе [2] приведены результаты исследований по гидрометаллургической переработке конверторных пылевозгонов медеплавильных заводов. Указывается, что оптимальными параметрами режима выщелачивания являются: конечное содержание серной кислоты в растворе 5 г/л, температура 70 °С, Т:Ж = 1:5, продолжительность выщелачивания 1 час. При этих параметрах извлечение в раствор соответствует: % 88–90 цинка, 80–82 кадмия, 30–32 меди, 47–50 мышьяка, 12–14 железа от общего содержания этих элементов в пылях и возгонах.

Подробное исследование сернокислого выщелачивания тонких конверторных пылей приведено в работе [3]. Изучено поведение цинка, кадмия, таллия и элементов, примесей, а также степень отстаивания и скорости фильтрации пульп при различных значениях pH среды прямым и обратным методами. Отмечается, что извлечение цинка и кадмия в раствор при прямом выщелачивании гранулированной пыли (после измельчения) при pH = 3,0 на 5–15 % ниже, чем при обратном. Авторы объясняют это переходом мышьяка в раствор вследствие растворения арсенатов цинка на стадии кислого выщелачивания пыли, а также осаждением гидратированных арсенатов цинка, меди и кадмия на стадии нейтрализации пульпы. При обратном выщелачивании пыли максимальное извлечение металлов в раствор достигается при pH = 3,4–3,8. При значениях pH среды 3,2–4,5 способ обратного выщелачивания по сравнению с прямым позволяет получить при прочих равных условиях более качественные растворы по содержанию в них примесей меди, мышьяка и сурьмы.

Цель и задачи исследования – рассмотреть эффективность очистки цинксодержащих растворов от мышьяка при влиянии различных факторов.

Материалы и методы. Очень большую группу методов очистки растворов от мышьяка составляют методы осаждения и соосаждения.

Часто удобным способом является метод осаждения мышьяка в элементарном виде. Восстановление обычно проводят в кислой среде, что обеспечивает получение чистых осадков элементарного мышьяка, не загрязненных малорастворимыми гидроксидами металлов, образующихся в нейтральных и щелочных растворах. В качестве восстановителя используют гипофосфит натрия или кальция, хлорид двухвалентного олова. Хлорид олова является менее эффективным.

Метод осаждения можно разделить на несколько подгрупп по реакции среды раствора (кислая, щелочная, нейтральная), из которого осаждают мышьяк, и по составу применяемых реагентов.

Из соединений железа, применяемых для удаления мышьяка из кислых технологических растворов и сточных вод, используются элементарное железо, соединения двух- и трехвалентного железа. Сернокислые растворы, содержащие Cu^{+2}, As^{+3}, Zn^{+2}, получающиеся при металлургическом получении меди, свинца и цинка, можно очищать от мышьяка и меди также с помощью металлического железа [4]. Применяют железо и совместно с другими реагентами, например с окислителями [5].

Из кислых растворов мышьяк удаляется соединениями двухвалентного или трехвалентного железа; применение Fe^{+3} наиболее эффективно. Из солей двухвалентного железа нашли применение сульфат и сульфид [6].

При сульфидно-купоросном методе мышьяк осаждается из сточных вод в виде As_2S_3. Схема сульфидно-купоросного способа обезвреживания хвостовой пульпы обогатительной фабрики включает приготовление растворов железного купороса и сернистого натрия; обработку пульпы смесью железного купороса и образующегося моносульфида железа; отстой пульпы в хвостохранилище и использование осветленной ее части в обороте [7].

Хвостовые пульпы, подвергнутые сульфидно-купоросному обезвреживанию при хранении в естественных условиях, постепенно самопроизвольно раскисляются до стабильных значений pH ~ 6,0, и в этих условиях пульпы не представляют опасности для окружающей среды, так как концентрация в водной фазе не превышает ПДК и не происходит вымывание мышьяка из твердой фазы.

Для перевода солей Fe^{+2} в Fe^{+3} используются окислители: хлор, кислород, воздух или смесь кислорода и воздуха, NaOCl, $KMnO_4$, пероксид водорода. Из соединений трехвалентного железа используют гидроксид, сульфат, хлорид, тиосульфат. Соединения трехвалентного железа используются при флотации как коагулянты.

Сероводород и сульфиды металлов используют для очистки от мышьяка в основном производственных сточных вод. Растворы сульфата цинка можно очищать от мышьяка сульфидом цинка. Кислые растворы, полученные при выщелачивании цинкового огарка серной кислоты, обрабатывают сульфидом цинка в одну стадию при остаточной кислотности не менее 40 г/л.

Необходимый для очистки реактивный ZnS можно получить из части подкисленных уксусной кислотой очищенных растворов путем воздействия на них легкорастворимого сульфита. Мышьяк осаждается практически полностью в виде легко фильтруемого осадка. Вместе с мышьяком из раствора осаждаются медь, висмут и сурьма, сульфиды которых имеют малые произведения растворимости. При очистке сульфатных цинковых растворов, используемых при гидрометаллургическом получении цинка и солей цинка для очистки растворов, применяют соли цинка: сульфид и дитионит [8].

Применение сульфида цинка для очистки цинковых растворов имеет ряд недостатков: наряду с мышьяком, сурьмой, медью в осадок выпадают редкие металлы, что снижает степень извлечения последних из сульфатных цинковых растворов; процесс протекает при избытке серной кислоты и сульфида цинка и при высокой остаточной кислотности (40 г/л); процесс идет при нагревании (60–80 °С), что приводит к усложнению процесса и выделению большого количества токсичного газа – сероводорода.

Дитионит цинка и натрия позволяет выделить из кислых цинковых растворов мышьяк, сурьму, медь, теллур, висмут, свинец в виде металлов.

Редкие металлы остаются в растворе. и дальнейшее их извлечение может быть осуществлено цементацией на меди. Соль дитионистой кислоты берут в соотношении 1,3–1,4 к стехиометрически необходимому для осаждения метал-

лов. Известен способ очистки раствора сульфата цинка от примесей марганца, железа, мышьяка путем обработки персульфатом аммония, который является дефицитным и дорогостоящим реагентом [9].

В качестве окислителя для сульфатных цинковых растворов можно использовать высшие оксиды свинца в виде щелочных плавов, которые являются полупродуктом свинцового производства. Процесс ведут при температуре 40–80 °С в присутствии серной кислоты в количестве 2–5 г/л, конечное значение pH 4,8–5,4. Железо, мышьяк и другие примеси осаждаются в виде соответствующих гидратов и арсенатов. Полученный после очистки купорос соответствует требованиям ГОСТ 8723-82 [10].

Результаты и обсуждение. В работе [11] исследовалась эффективность очистки растворов $ZnSO_4$ при влиянии следующих факторов: исходной концентрации примесей мышьяка в растворе x, г/л, количества Fe^{3+} y, г/л; количества добавляемой в раствор твердой окиси Zn, определяющей pH среды z, г/л. В работе рассматривался параметр, связанный с конечной концентрацией As в растворе h, г/л.

Опыты проводили в лабораторных условиях в бутылках емкостью 0,5 л с перемешиванием в течение 4 часов при температуре 40 °С, эти условия обеспечивают достижение равновесного состояния системы. Были приготовлены синтетические растворы $ZnSO_4$ состава 100 г/л Zn с pH=5,4, $Fe_2(SO_4)_3$ состава 49,31 мг/мл Fe^{3+} с pH=8,0 и мышьяксодержащий раствор, имеющий 20 мг/мл As^{+5}с pH=1,8. Использовавшаяся ZnO была прокалена при 960 °С.

Экспериментальный материал обрабатывался методом математической статистики с целью нахождения зависимости конечного содержания мышьяка от начального его содержания, количеств железа и добавленного оксида цинка. Результаты исследований приведены в таблице.

Экспериментальные данные расчетов

x	y	z	h
0,2531	Нет	0,246	0,00465
0,2531	Нет	0,246	0,00043
0,9762	Нет	1,19	0,0042

Окончание таблицы

x	y	z	h
0,9762	Нет	2,38	0,0002
0,24117	1,9205	4,2165	0,0002123
0,93181	1,8551	3,238	0,0004875
0,96476	0,480	0,9306	0,573

Сопоставление показывает, что чем больше Fe^{3+} содержится в исходном растворе, тем выше расход ZnO для достижения одинаковой степени глубокой очистки от As. Из расчетов видно, что для очистки сульфатных цинковых растворов от мышьяка не требуется десятикратный и более избыток железа.

Таким образом, показано, что конечная концентрация мышьяка зависит не только от исходной начальной концентрации, но и в большей степени от количества трехвалентного железа и нейтрализующего реагента (оксида цинка).

Выводы. Обзор способов удаления мышьяка из технологических растворов показывает, что наиболее приемлемыми в производственных условиях способами являются те, в которых мышьяк наиболее полно осаждается в виде солей с наименьшим произведением растворимости. Совершенно очевидно, что осаждение необходимо сочетать с окислением мышьяка до арсената и осаждать в средах, близких к нейтральным, до начала гидролитического осаждения цинка. Внесение количеств железа, многократно превышающих стехиометрические, для осаждения мышьяка нежелательно из-за возможности попадания его в конечный продукт.

Библиографический список

1. Металлургия меди, никеля и кобальта: для металлургических вузов и факультетов / В. И. Смирнов, А. А. Цейдлер, И. Ф. Худяков, А. И. Тихонов, М. : Металлургия, 1964. Ч. 1. 462 с.

2. Ермаков В. И. Комплексная переработка тонких пылей уральских медеплавильных предприятий // Цветные металлы. 1977. № 12. С. 26–30.

3. Иванов Б. Я., Ярославцев А. С., Ванюшкина Г. Н. Гидрометаллургическая переработка тонких конверторных пылей медеплавильного производства // Цветные металлы. 1982. № 5. С. 16–21.

4. Дикаревич А. В., Лебедев К. Б., Салин А. Л. К вопросу извлечения цинка из очищенных от мышьяка растворов // Очистка сточных оборотных вод предприятий цветной металлургии : тр. н-и и проект. ин-та «Казмеханобр». Алма-Ата. 1978. № 19. С. 111–119.

5. Кондрашина А. М., Вагина Л. А. Вывод мышьяка из сернокислых растворов марганцевокислым калием // Труды н-и и проект. ин-та «Казмеханобр». Алма-Ата. 1975. № 14. С. 123–128.

6. Волкова Н. А., Тюленева Л. И., Ященко Л. А. Обезвреживание мышьяксодержащих хвостовых пульп обогатительных фабрик сульфидно-купоросным методом // Цветные металлы. 1980. № 9. С. 18–20.

7. Григорьев Ю. О. Сорбция мышьяка из водных растворов сернокислым железом // Цветные металлы. 1975. № 11. С. 82–83.

8. Травкин В. Ф., Кубасов В. Л., Миронова Е. В. Выделение соединений мышьяка из технологических растворов предприятий цветной металлургии // Цветная металлургия. 2001. № 4. С. 20–24.

9. Снурников А. П. Гидрометаллургия цинка. М. : Металлургия, 1981. 384 с.

10. Уткин Н. И. Производство цветных металлов. М. : Интермет Инжиниринг, 2004. 441 с.

11. Петросянц С. А., Демидов Н. М., Погорелый А. Д. Исследование процесса очистки растворов сульфата цинка от примеси мышьяка при выщелачивании // Цветная металлургия. 1971. № 4. С. 20–22.

Оптимизация состава раствора для химического осаждения Ni-P покрытий из растворов на основе глицинатно-сукцинатных комплексов никеля

Г. М. Мухаметова [a], Т. Ф. Бурухина [b], В. В. Васильев [c]
аспирант кафедры аналитической химии [a]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры высшей математики [b]
доцент кафедры информатики и компьютерного проектирования [c]
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
Москва, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: marinesko-2@mail.ru [a], burukhina@bk.ru [b], vvv@muctr.ru [c]

Аннотация. Исследовано влияние аминоуксусной и янтарной кислот, pH в растворе химического никелирования на технологические параметры процесса осаждения покрытий сплавом никель-фосфор (скорость осаждения, удельное изменение pH в процессе осаждения), состав полученных покрытий и их свойства (микротвердость до и после термообработки). Методом математического планирования эксперимента построена математическая модель и выполнена многокритериальная оптимизация процесса с применением обобщенной функции желательности Харрингтона.

Полученные адекватные эксперименту уравнения регрессии показывают разнонаправленное и взаимосвязанное влияние исследованных факторов на параметры оптимизации. Установлен оптимальный состав раствора для высокоскоростного формирования качественных покрытий с микротвердостью, соответствующей твердым хромовым покрытиям, который включает (в моль/л): $NiSO_4 \times 6H_2O$ – 0,12, $NaH_2PO_2 \times H_2O$– 0,36, NH_2CH_2COOH – 0,30, $(CH_2)_2(COOH)_2$ – 0,20, $Pb(CH_3COO)_2$ – 10^{-5} ; pH – 5,8. Показана применимость раствора химического никелирования оптимального состава при температурах от 70 до 96 °C.

Ключевые слова: химическое никелирование, планирование эксперимента, сплав никель-фосфор, оптимизация, скорость осаждения, микротвердость покрытий.

Введение. Никель-фосфорные (Ni-P) покрытия, нанесенные методом химического осаждения, обладают хорошими потребительскими (защитная способность, твердость, магнитные свойства, паяемость) и технологическими показателями (равномерность толщины и состава на сложном профиле, возможность нанесения на различные, в том числе неэлектропроводные, подложки с хорошим сцеплением). Такие покрытия широко используются в различных отраслях промышленности [1]. В этой связи актуальной задачей является улучшение физико-механических и антикоррозионных свойств указанных покрытий, которое достигается путем совершенствования составов технологических растворов никелирования.

Скорость осаждения Ni-P покрытий, их структура и свойства зависят от ряда факторов, среди которых – природа и концентрация компонентов раствора (лиганды, стабилизаторы, буферные добавки) [2, 3], величина pH [4, 5] и дру-

гие. Для обеспечения высокоэффективного формирования покрытий с наилучшими характеристиками необходима оптимизация качественного и количественного состава раствора и покрытий [6], например, с помощью построения различных физико-химических [7, 8] и математических [9] моделей [10, 11].

Целью настоящего исследования является оптимизация состава раствора химического никелирования, содержащего аминоуксусную и янтарную кислоты, включая концентрации кислот и pH раствора, для осаждения покрытий с микротвердостью, соответствующей износостойким гальваническим хромовым покрытиям.

Задачами исследования являются:

– построение математической модели, описывающей характер влияния аминоуксусной, янтарной кислот на состав, свойства, скорость осаждения покрытий и удельное изменение pH;

– подбор оптимального состава раствора для химического никелирования.

Методы исследования. Для экспериментального исследования проводили химическое осаждение покрытий Ni-P при температуре 70 °C из раствора, содержащего следующие компоненты в указанных концентрациях: $NiSO_4 \times 6H_2O$ 0,12 моль/л; $NaH_2PO_2 \times H_2O$ 0,36 моль/л; NH_2CH_2COOH 0,20–0,40 моль/л; $(CH_2)_2(COOH)_2$ 0 – 0,40 моль/л; $Pb(CH_3COO)_2$ 10^{-5} моль/л.

В качестве образцов для нанесения покрытия использовали стальные пластины марки 08пс размерами 3×4 см. Время осаждения подбиралось таким образом, чтобы толщина покрытий составляла 20±2 мкм.

Вешний вид покрытий оценивался в баллах по пятибалльной шкале: покрытие, блестящее по всей поверхности, – 5, полублестящее или разнотонное – 4, наличие питтинга – 3, разнотонность и наличие питтинга – 2, отслаивающее покрытие, непокрытые участки поверхности – 1.

Скорость осаждения r (мг см$^{-2}$ ч$^{-1}$), учитывая время осаждения t (ч) и площадь покрытия S (см^2), рассчитывали по следующей формуле:

$$r = m/At,$$

где m – масса покрытия (мг), A – площадь поверхности образца (см^2). Удельное изменение pH раствора рассчитывали по формуле:

$$\frac{\Delta \mathrm{pH}}{\Delta m} = \frac{\mathrm{pH_н} - \mathrm{pH_к}}{m},$$

где $\mathrm{pH_н}$, $\mathrm{pH_к}$ – начальное и конечное (после осаждения покрытий) значение pH раствора соответственно.

Содержание (мас. %) фосфора в покрытиях Ni-P определяли методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Измерение микротвердости покрытий до и после термообработки проводили на приборе Shimadzu HMV-G21 (Япония). Предел допускаемой относительной погрешности для нагрузки 0,05 Н составляет 1,5 %.

Измерение твердости проводили с применением индентора Виккерса при нагрузке 0,05 Н, время выдержки при нагрузке составляло 10 секунд. Для каждого образца было выполнено не менее пяти измерений.

Термообработку образцов проводили при температуре 400 °С в течение 0,5 ч. После термообработки измеряли микротвердость покрытий.

Математическое описание и определение оптимальных параметров процесса осаждения проводили методом математического планирования эксперимента с использованием центрального ротатабельного композиционного плана второго порядка. Воспроизводимость опытов оценивали по трем параллельным экспериментам в центре плана. Оценку влияния переменных на параметры процесса и характеристики покрытия проводили методами регрессионного анализа. Независимыми переменными были выбраны концентрации (моль/л) аминоуксусной (X1) и янтарной кислоты (X2), pH раствора (X3). Реальные и кодированные значения параметров, используемых в экспериментальной матрице, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основной, верхний и нижний уровни и интервалы варьирования независимых переменных

Уровни варьирования: кодированные значения	Значения X в натуральных единицах		
	X1	X2	X3
0	0,30	0,20	5,8
+1	0,36	0,32	6,4
–1	0,24	0,08	5,2
+ α = +1,68	0,40	0,40	6,8
–α = –1,68	0,20	0,00	4,8

Параметрами оптимизации являлись: Y1 – скорость осаждения; Y2 – ΔpH/Δ*m*; Y3 – содержание фосфора в сплаве; Y4 – микротвердость до термообработки; Y5 – микротвердость после термообработки.

Критерием оптимизации служила обобщенная функция желательности Харрингтона (D). Измеренные значения откликов (Y) преобразовывали в безразмерную шкалу желательности (d_i) в форме $d = \exp[-\exp(b0 + b1 \times y)]$. Коэффициенты b0 и b1 определяли по данным табл. 2 путём решения системы двух уравнений, составленных для значений Y, которым присвоены соответствующие значения функции желательности: 0,2 – плохо и 0,8 – хорошо. Рассчитанные значения коэффициентов b0, b1 для каждой функции желательности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение между значениями свойств покрытий Y1, Y2, Y3, Y4 и числовыми отметками по шкале желательности (d)

Значение свойства	Внешний вид покрытия (Y1), баллы		Скорость осаждения (Y2), мг/(см^2 ч)		ΔpH/Δm (Y3)		w_P (Y4), мас. %	
	2	4	3	10	1	0,5	2	6
Числовые отметки по шкале желательности (d)	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8
b0	2,452		1,323		–3,476		1,464	
b1	–0,988		–0,282		3,952		–0,494	

В зависимости от интервала величин HV термообработанных покрытий (Y5) им присваивались следующие значения функции желательности: от 7 до 8 или от 11,5 до 12,5 ГПа – 0,4; от 8 до 9 или от 10,5 до 11,5 – 0,7; от 9 до 10,5 – 1. Обобщенную функцию желательности рассчитывали по формуле: $D = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^{i=N} d_i}$.

Результаты исследований, их обсуждение. Покрытия приемлемого качества осаждались с высокой скоростью, когда pH и концентрация янтарной кислоты находились на верхних уровнях. Увеличение концентрации глицина в исследованных пределах не оказывало явного влияния на качество покрытий, но несколько снижало скорость осаждения. Концентрация фосфора в покрытии,

как правило, уменьшалась с увеличением pH раствора и концентрации янтарной кислоты. Изменение концентрации глицина вызывало, в зависимости от уровня других переменных, уменьшение или увеличение содержания фосфора в сплаве. Влияние всех исследованных факторов на удельное изменение pH раствора после осаждения покрытий было существенным: ΔpH достигало значений 0,5–1,5 (ед. pH × $г^{-1}$) – и зависело от уровня варьируемых переменных, что свидетельствует об их синергетическом действии.

Покрытия имели микротвердость 4,6–6,8 ГПа до термообработки и 9,7–11,6 ГПа – после термообработки при 400 °С в течение 0,5 часа.

По результатам эксперимента получены уравнения регрессии для всех параметров:

$$Y1 = 3,56 + 0,46X3 – 0,25X1X3 – 0,18(X2)^2 – 0,27(X3)^2 \quad (1)$$

$$Y2 = 6,54 + 0,73X2 + 2, 68X3 \quad (2)$$

$$Y3 = 0,54 – 0,11X2 + 0,09X3 – 0,11X1X3 + 0,11X2X3 + 0,14(X2)^2 + 0,16(X3)^2 \quad (3)$$

$$Y4 = 6,31 \quad (4)$$

$$Y5 = 10,74 \quad (5)$$

$$D = 0,702 +0,060X1 + 0,083X1X3 – 0,069X2X3 – 0,120(X2)^2 – 0,094(X3)^2 \quad (6)$$

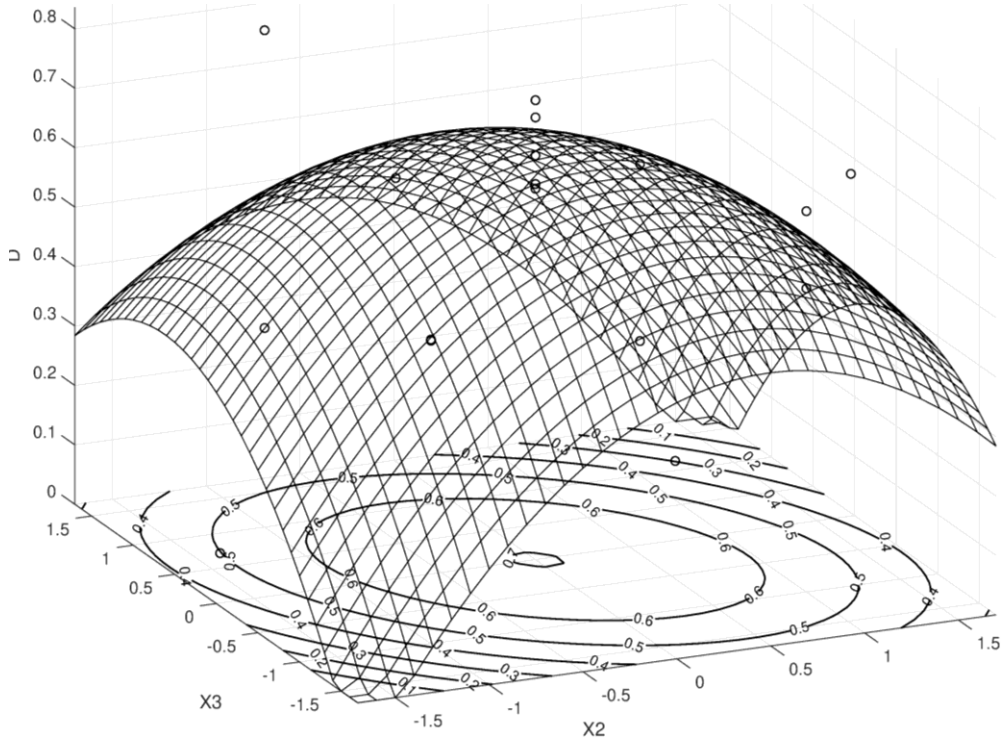
Оценку адекватности уравнений регрессии проводили по критерию Фишера. Экспериментальное значение F оказалось меньше критического ($F_{кр}$ = 19,37) при уровне значимости 0,05 для данного числа степеней свободы дисперсии адекватности ($f_{ад}$ = 8) и воспроизводимости ($f_{воспр}$ = 2).

Уравнения регрессии показывают, что скорость осаждения покрытий (Y2) растет с увеличением концентрации янтарной кислоты (X2) и pH раствора (X3). Удельное изменение pH раствора (Y3) почти не зависит от концентрации глицина (X1), но определяется концентрацией янтарной кислоты (X2) и начальным значением pH (X3). При этом содержание фосфора в покрытии (Y4) и микротвердость покрытий (Y5) не зависят от исследованных переменных.

Для оптимального проведения процесса содержание глицина должно составлять около 0,3 моль/л, т. е. быть близким к нулевому уровню кодированной переменной (табл. 1). Подставляя X1 = 0 в уравнение (6), получим уравнение регрессии (7), которое для D задает поверхность отклика в виде параболоида.

$$D = 0{,}702 - 0{,}069X2X3 - 0{,}120(X2)^2 - 0{,}094(X3)^2 \cdot \quad (7)$$

На рисунке приведены поверхность и линии равного уровня для различных значений D при варьировании X2 и X3 и постоянстве X1 = 0. Анализ уравнения (7) показывает, что на величину обобщенной функции желательности значительное влияние оказывает концентрация янтарной кислоты (X2) и pH раствора (X3).



Поверхность и линии равного уровня D
при варьировании переменных X2 и X3 (для X1 = 0)

Выводы. Максимальное значение обобщенной функции желательности достигается при X2 и X3, приблизительно равных 0, т. е. при концентрации янтарной кислоты 0,2 моль/л и pH 5,8 (см. рисунок). Другие факторы можно поддерживать на нулевом уровне. По результатам моделирования и анализа математического описания процесса можно предложить следующий оптимальный состав раствора (табл. 3), при котором формируются блестящие покрытия, содержащие 5–6 мас. % фосфора, со скоростью 8 мг/(см^2·ч), с микротвердостью после термообработки 10–10,7 ГПа.

Таблица 3

Оптимальный состав электролита

№	Компоненты электролита	Концентрация, моль/л
1	$NiSO_4 \times 6H_2O$	0,12±0,02
2	$NaH_2PO_2 \times H_2O$	0,36±0,04
3	NH_2CH_2COOH	0,30±0,05
4	$(CH_2)_2(COOH)_2$	0,20±0,05
5	$Pb(CH_3COO)_2$	$10^{-5} \pm 0{,}3 \cdot 10^{-5}$

Раствор оптимального состава остается эффективным и при других рабочих температурах. При этом увеличение температуры позволяет повысить скорость осаждения до 34 мг/см^2·ч с сохранением высокого качества покрытий.

Библиографический список

1. Скопинцев В. Д., Винокуров Е. Г. Теоретические и прикладные аспекты автокаталитического формирования покрытий на основе сплава никель-фосфор. М. : ВИНИТИ, 2018. 228 с.

2. Винокуров Е. Г., Моргунов А. В., Скопинцев В. Д. Оптимизация состава химических никель-фосфорных покрытий, легированных медью // Неорганические материалы. 2015. Т. 51. № 8. С. 856–863. URL: https://doi.org/10.7868/S0002337X15070192.

3. Винокуров Е. Г., Мухаметова Г. М. и др. Физико-химическая модель выбора комплексных соединений при химическом осаждении металлических покрытий // Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54. № 3. С. 354–361. URL: https://doi.org/10.31857/S0040357120030136.

4. Hu B., Sun R., Yu G. et al. Effect of bath pH and stabilizer on electroless nickel plating of magnesium alloys // Surf. Coat. Technol. 2013. V. 228. P. 84–91. URL: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.04.011 (published: 12.04.2013).

5. Sun C., Li J., Fattahpour V. et al. Insights into the erosion-enhanced corrosion on electroless Ni-P coating from single particle impingement // Materials Science Corrosion Science. 2020. V. 166. P. 1–12. URL: https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108422 (published: 15.04.2020).

6. Скопинцев В. Д., Моргунов А. В., Винокуров Е. Г., Невмятуллина Х. А. Повышение производительности процесса химического никелирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2016. Т. 24. № 3. С. 26–31. URL: https://doi.org/10.47188/0869-5326_2016_24_3_26.

7. Винокуров Е. Г., Демидов А. В., Бондарь В. В. Физико-химическая модель выбора комплексов для растворов хромирования на основе соединений Cr(III) // Координационная химия. 2005. Т. 31. № 1. С. 17–21.

8. Винокуров Е. Г., Мухаметова Г. М., Васильев В. В. и др. Влияние характеристик комплексных соединений никеля на скорость химического осаждения и состав сплава никель-фосфор // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53. № 4. С. 446–451. URL: https://doi.org/10.1134/S0040357119040134.

9. Винокуров Е. Г., Бондарь В. В. Вероятностная модель выбора лигандов для электроосаждения сплавов // Теоретические основы химической технологии. 2007. Т. 41. № 4. С. 407–414.

10. Гокжаев М. Б., Моргунов А. В., Скопинцев В. Д. Оптимизация состава раствора для получения химических никель-медь-фосфорных покрытий // Неорганические материалы. 2008. № 12. С. 1461–1463. URL: https://doi.org/10.7868/S0002337X15070192.

11. Графушин Р. В., Винокуров Е. Г., Махина В. С., Бурухина Т. Ф. Электроосаждение и физико-механические свойства композиционных покрытий на основе хрома с различными модификациями углерода // Гальванотехника и обработка поверхности. 2018. Т. 26. № 2. С. 26–32. URL: https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_2_26.

Система глицин-янтарная кислота для эффективного химического никелирования

Г. М. Мухаметова [a], С. Н. Гридчин [b], Т. Ф. Бурухина [c]
аспирант группы АС-402 [a]
кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры аналитической химии [b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры высшей математики [c]
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
Москва, Российская Федерация [a, c]
Ивановский государственный химико-технологический университет,
Иваново, Российская Федерация [b]
E-mail: marinesko-2@mail.ru [a], sergei_gridchin@mail.ru [b], burukhina@bk.ru [c]

Аннотация. Благодаря широкому использованию никель-фосфорных покрытий в таких отраслях, как химическая, машиностроение, полиграфия и другие, растет спрос на производство покрытий Ni-P. В целях повышения эффективности производства высокоскоростного никелевого покрытия со скоростью осаждения более 25–27 мкм/ч становится новой областью интереса исследование состава молекулярных и ионных комплексов, существующих в растворе и определяющих протекание процесса.

Исследовано влияние концентраций глицина и янтарной кислоты, pH раствора на скорость осаждения покрытий. Равновесный состав раствора определяли по методу Бринкли. Показано, что в кислой среде в растворе преимущественно образуются комплексы вида $Ni(HGly)_2^{2+}$. В щелочной области pH преимущественно образуются комплексы $NiGly_2$ и $NiGly_3^-$. Влияние янтарной кислоты заключается в буферировании раствора. При концентрациях глицина 0,2–0,3 моль/л и янтарной кислоты 0,2–0,4 моль/л скорость осаждения является наибольшей. Оптимальная область pH составляет 5,5–5,8. Предложенный состав раствора может использоваться для получения покрытий большой толщины.

Ключевые слова: лиганды, скорость осаждения, химическое никелирование, комплексы никеля, система глицин-янтарная кислота.

Введение. В кислых растворах при использовании гипофосфита натрия в качестве восстановителя скорость нанесения покрытия Ni-P преимущественно находится в диапазоне 13–17 мкм/ч [1–3]. В случае, когда скорость осаждения составляет 18–22 мкм/ч и выше, процесс называется высокоскоростным [4, 5]. Для обеспечения высоких скоростей химического никелирования (со скоростью осаждения более 23–27 мкм/ч) является необходимым повышение эффективности растворов.

Многие факторы влияют на скорость осаждения покрытия: температура раствора и pH, концентрация ионов Ni^{2+} и гипофосфита натрия, природа используемого комплексообразователя, ускорителя и стабилизатора [6–14]. Есть два способа повышения скорости нанесения покрытия. Первый способ – выбрать соответствующий комплексообразующий агент, чтобы энергия актива-

ции, необходимая для восстановления комплексного иона, уменьшилась [15]. Вторым способом увеличить скорость осаждения является добавление ускорителей. Однако известно, что при высоких концентрациях ускорители способны увеличивать внутренние напряжения в покрытиях [16]. Комплексообразующие агенты, используемые в получении покрытий, в основном представляют собой органические кислоты, такие как молочная, яблочная, лимонная, гликолевая и др. [17–19] Данные органические кислоты могут образовывать с ионами никеля разные хелатные комплексы, вид которых зависит от концентрации и структуры комплексообразователя и pH раствора. Совместное применение двух лигандов, имеющих разные характеристики, может привести к получению неожиданных результатов: не только к повышению скорости осаждения, но также к повышению стабильности раствора и устойчивости раствора к накоплению фосфита. В литературе упоминалось, что ряд таких соединений, как молочная, яблочная, аминоуксусная кислота и другие, являются хорошими комплексообразующими агентами, поскольку они не только обладают способностью к координации, но и способны буферировать раствор [20]. Однако данные по совместному влиянию аминоуксусной и янтарной кислот на скорость осаждения покрытий Ni-P ранее не встречались.

Цель исследования – выбор состава раствора для высокоскоростного химического никелирования.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью исследования были обозначены следующие задачи:

– определение функционального действия аминоуксусной и янтарной кислот на процесс химического никелирования;

– подбор оптимального соотношения концентраций глицин-янтарная кислота для высокоскоростного химического никелирования;

– определение оптимальной области значений pH.

Методы исследования. Моделирование состава раствора на основе уравнений материального баланса проводилось с помощью программы RRSU по алгоритму Бринкли [21]. В основе алгоритма лежит представление системы равновесий в виде многокомпонентной матрицы. Реакции можно записать в виде

$$\sum v_{ji}B_i \leftrightarrows A_j \sum v_{ji}B_i \leftrightarrows A_j \quad (1),$$

где B – компоненты (частицы базиса), A – все равновесные частицы системы, i=1..n, j=1..m, n – число компонентов, m – общее число частиц, v_{ji} – стехиометрические коэффициенты реакции. Материальный баланс записывается в виде

$$\sum v_{ji}[A_j]=[B_i] \quad (2)$$

$$\sum v_{ji}\lg[B_i]+\lg K_j=\lg[A_j] \quad (3)$$

Решение системы уравнений (2) и (3), при известных начальных концентрациях и $\lg K_j$, является необходимым для расчета равновесного состава.

Для экспериментального подтверждения модели проводили химическое осаждение покрытий Ni-P при температуре 70 °C из растворов следующего состава [22, 23]: $NiSO_4X7H_2O$ 0,12 M, $NaH_2PO_2XH_2O$ 0,36 M, $Pb(CH_3COO)_2$ 10^{-5} M, X моль/л лигандов, где X – концентрация лиганда, NH_2CH_2COOH (HGly) – 0,05–0,4 M; $(CH_2)_2(COOH)_2$ (H_2Succ) – 0–0,4 M. Для растворов устанавливали значения pH 4,8–6,8 с помощью корректировки раствором NaOH или H_2SO_4.

Скорость осаждения *r* (мг $см^{-2}$ $ч^{-1}$), принимая во внимание время осаждения *t* (ч) и площадь покрытия *S* ($см^2$), рассчитывали по формуле:

$$r = m/At,$$

где *m* – масса покрытия (мг), *A* – площадь поверхности образца ($см^2$), t – время осаждения покрытия (ч).

Результаты исследований и обсуждение. Расчеты равновесного состава раствора показали, что во всей области pH ионы никеля в большем количестве образуют различные комплексы с глицином, чем с иными видами ионов или молекул (см. рисунок). Как видно из рисунка, в кислой области pH главным образом образуются протонированные комплексы $Ni(HGly)_2^{2+}$. В щелочной среде преимущественно образуются комплексы $NiGly_2$ и $NiGly_3^-$. Исследование влияния концентраций глицина 0,05–0,4 M на скорость осаждения и удельное изменение pH показало, что с постепенным увеличением концентрации кислоты до 0,3 моль/л происходит снижение изменения pH и повышение скорости осаждения. Дальнейшее увеличение концентрации глицина до 0,4 моль/л приводит к

уменьшению скорости, связанному, вероятно, с затрудненным восстановлением комплексов $NiGly_2$ и $NiGly_3^-$, образующихся при высокой концентрации аминоуксусной кислоты. Можно предположить, что для увеличения скорости осаждения предпочтительнее образование положительно заряженных комплексов. Таким образом, выборочный диапазон концентраций глицина составляет 0,2–0,3 моль/л при кислых средах раствора.

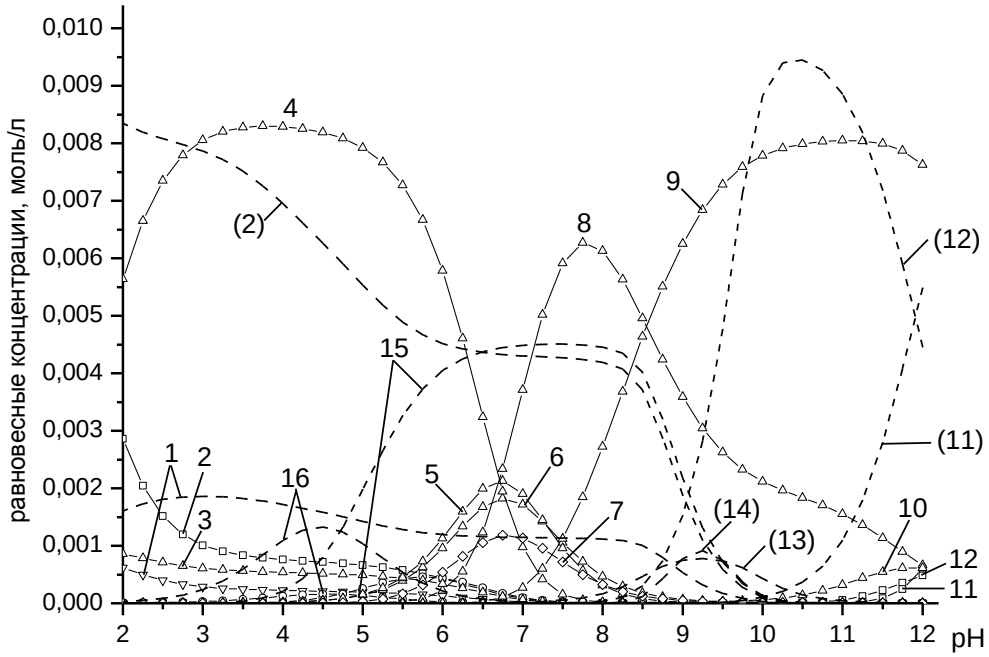


Диаграмма распределения никеля в системе $NiSO_4$–H_2Succ–HGly, I=0.1: 1 – $NiSO_4$; 2 – Ni^{2+}; 3 – $NiHGly^{2+}$; 4 – $Ni(HGly)_2^{2+}$; 5 – $NiHGly_2^{+}$; 6 – $NiGly^{+}$; 7 – $NiSuccGly^{-}$; 8 – $NiGly_2$; 9 – $NiGly_3^{-}$; 10 – Ni(OH)Gly; 11 – $Ni(OH)_3^{-}$; 12 – $Ni(OH)_2$; 13 – $Ni(OH)^{+}$; 14 – $Ni_4(OH)_4^{4+}$; 15 – NiSucc; 16 – $NiHSucc^{+}$ (пунктирными линиями показано распределение никеля в отсутствие глицина). Концентрации компонентов в системе: $NiSO_4$ 0,01 М, $(CH_2)_2(COOH)_2$ 0,03 М, NH_2CH_2COOH 0,03 М

Янтарная кислота в значительной мере находится в виде свободных сукцинат-ионов и их протонированных форм (см. рисунок). Наличие свободных ионов кислоты делает возможным связывание ионов водорода, выделяющихся в приэлектродном слое, что способствует поддержанию pH раствора. Исследование влияния концентраций янтарной кислоты 0–0,4 М на удельное изменение pH и скорость осаждения показало, что увеличение концентрации кислоты приводит к снижению изменения pH и значительному повышению скорости осаждения. При увеличении концентрации янтарной кислоты до 0,3 моль/л удель-

ное изменение pH раствора было практически в 3 раза меньше по сравнению с изменением pH в растворе без янтарной кислоты. При концентрации кислоты 0,4 моль/л изменение pH возрастает.

Наибольшие скорости осаждения наблюдались при концентрациях янтарной кислоты 0,2–0,4 моль/л и концентрациях аминоуксусной кислоты 0,2–0,3 моль/л. Для исследования влияния pH на скорость осаждения была принята концентрация глицина 0,3 моль/л и концентрация янтарной кислоты 0,2 моль/л. Оказалось, что в области значений pH 5,5–5,8 происходит существенное увеличение скорости осаждения. По мере увеличения pH до 6,5 значительно возрастает изменение pH раствора после процесса осаждения, следовательно, дальнейшее повышение pH является нецелесообразным.

Выводы. Выяснено, что ионы никеля в кислых средах преимущественно находятся в виде протонированного комплекса $Ni(HGly)_2^{2+}$, в щелочных средах образуются комплексы вида $NiGly_n$ (n=2, 3). Янтарная кислота образует свободные сукцинат-ионы, которые участвуют в стабилизации pH раствора. Наибольшие скорости осаждения 34–38 мкм/ч наблюдаются при концентрациях глицина 0,2–0,3 моль/л и янтарной кислоты 0,2–0,4 моль/л, что позволяет использовать данный состав раствора для получения качественных покрытий для машиностроения. Оптимальная область значений pH составляет 5,5–5,8, что, вероятно, связано с преимущественным содержанием комплекса никеля $Ni(HGly)_2^{2+}$ в кислых средах.

Библиографический список

1. Czagany M., Baumli P. Effect of pH on the characteristics of electroless Ni-P coatings // Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy. 2017. Vol. 53. № 3. P. 327–332. doi: 10.2298/JMMB170530020C.

2. Sudagar J., Lian J., Sha W. Electroless Nickel, Alloy, Composite and Nano Coatings – A Critical Review // Journal of Alloys and Compounds. 2013. Vol. 571. P. 183–204. doi: 10.1016/j.jallcom.2013.03.107.

3. Anijdan S. H. M., Sabzi M., Zadeh M. R., Farzam M. The Effect of Electroless Bath Parameters and Heat Treatment on the Properties of Ni-P and Ni-P-Cu Composite Coatings // Materials Research. 2018. Vol. 21. № 2. P. 1–9. doi: 10.1590/1980-5373-mr-2017-0973.

4. Zuleta A. A., Correa E., Castaño J .G. et al. Study of the formation of alkaline electroless Ni-P coating on magnesium and AZ31B magnesium alloy // Surface and Coatings Technology. 2017. Vol. 321. P. 309–320. doi: 10.1016/j.surfcoat.2017.04.059.

5. Mao G. B. Fast Electroless Ni-P Coating on AM60 Magnesium Alloy at Low Bath Temperature // Advanced Materials Research. 2011. Vol. 418–420. P. 756–759. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.418-420.756.

6. Liu G. J., Zhang W. Q., Yu Z. T., Ning X. Optimizing of Deposition Speed of Electroless Nickel Plating Coating // Advanced Materials Research. 2011. Vol. 217. P. 897–900. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.217-218.897.

7. Ansari M. I., Thakur D. G. Effect of pH Bath on Phosphorus Content in Electroless Nickel-Phosphorus Deposit // International Journal For Technological Research In Engineering. 2015. Vol. 2. № 7. P. 1120–1124.

8. Ajibola O. O., Oloruntoba D. T., Adewuy B. O. Effect of Processing Parameters on the Protective Quality of Electroless Nickel-Phosphorus on Cast Aluminium Alloy // Journal of Metallurgy. 2015. Vol. 2015. P. 1–12. doi: 10.1155/2015/386347.

9. Baskaran I., Narayanan T. S. N. S., Stephen A. Effect of accelerators and stabilizers on the formation and characteristics of electroless Ni-P deposits // Materials Chemistry and Physics. 2006. Vol. 99. № 1. P. 117–126. doi: 10.1016/j.matchemphys.2005.10.001.

10. Xiao Z., Wang W., Ye L. et al. Effect of Cd^{2+} as a stabilizer in the electroless nickel plating system // Surface and Coatings Technology. 2008. Vol. 202, № 20. P. 5008–5011. doi:10.1016/j.surfcoat.2008.05.002

11. Elhaloui T., Anik M., Ebn Touhami, Shaim A., Iyach K., Touir R., Sfaira M., Mcharfi M., Hammouti B. Investigation of ammonium acetate effect on electroless Ni-P deposits // J. Mater. Environ. Sci. 2015. Vol. 6, №7. P. 2028–2036.

12. Jin Y., Yu H., Yang D., Sun D. Effects of complexing agents on acidic electroless nickel deposition // Rare Met. 2010. Vol. 29, №4. P. 401–406. doi:10.1007/s12598-010-0138-8

13. Wang X.C., Cai W.B., Wang W.J., Liu H.T., Yu Z.Z. Effects of ligands on electroless Ni–P alloy plating from alkaline citrate–ammonia solution // Surf. and Coat. Tech. 2003. Vol. 168, № 2–3. P. 300–306. doi: 10.1016/s0257-8972(03)00013-6

14. Refaie O., Aboraia M.S., Oraby E.A., Gubner R., Rizk A.E. The effect of sodium citrate as a complex agent on the corrosion properties of the electroless Ni-P coating // Mater. Res. Expr. 2018. Vol.5, № 12. P. 126. doi:10.1088/2053-1591/aae0b9

15. Винокуров Е. Г., Мухаметова Г. М., Васильев В. В., Бурухина Т.Ф., Скопинцев В.Д. Влияние характеристик комплексных соединений никеля на скорость химического осаждения и состав сплава никель–фосфор // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53. № 4. С. 446–451. doi: 10.1134/S0040357119040134

16. Krishnan K. H., John S., Srinivasan K. N., Praveen J., Ganesan M., Kavimani, P. M. An overall aspect of electroless Ni-P depositions – A review article // Metallurgical and Materials Transactions. 2006. Vol. 37. № 6. P. 1917–1926. doi: 10.1007/s11661-006-0134-7 .

17. Kokane S. S., Ansari F. N., Chavan R. P., Bhagure G. R. Correlation between stability constants of organic acids and their effect on rate of deposition in non-electrolytic nickel baths // South -Asian Journal of Multidisciplinary Studies. 2015. Vol. 2. № 4. P. 50–53.

18. Jin Y., Yu H., Yang D. et al. Effects of complexing agents on acidic electroless nickel deposition // Rare Metals. 2010. Vol. 29. P. 401–406. https://doi.org/10.1007/s12598-010-0138-8.

19. Liu R., Gao C., Lu Y. Study on a Medium Speed and Long Life-span Electroless Nickel Plating Process // Transactions of the IMF. 2000. Vol. 78. № 5. P. 198–200. doi: 10.1080/00202967.2000.11871338.

20. Tsunoda T., Okabe T., Honma H. Influence of the Complexing Agents on the Thickness Uniformity of Electroless Nickel Plating in Deep-Recessed Trenches // Journal of The Electrochemical Society. 2004. Vol. 151. № 10. P. 610–613. doi: 10.1149/1.1784211.

21. Brinkley S. R. Calculation of the equilibrium composition of systems of many constituents // J. Chem. Phys. 1947. Vol. 15. № 2. P. 107–110. doi: 10.1063/1.1746420.

22. Винокуров Е. Г., Моргунов А. В., Скопинцев В. Д. Оптимизация состава химических никель-фосфорных покрытий, легированных медью // Неорганические материалы. 2015. Т. 51. № 8. С. 859. doi: 10.7868/S0002337X15070192.

23. Скопинцев В. Д., Моргунов А. В., Винокуров Е. Г., Невмятуллина Х. А. Повышение производительности процесса химического никелирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2016. Т. 24. № 3. С. 26–31. doi: 10.47188/0869-5326_2016_24_3_26.

Влияние лигнина на время желатинизации резольной фенолформальдегидной смолы

И. В. Тычинкин [a], О. Ф. Шишлов [b], В. В. Глухих [c]
аспирант группы аХт-06(11) [a]
доктор технических наук, профессор [b]
доктор технических наук, профессор [c]
Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: ilya.ty4inkin@yandex.ru, o.shishlov@ucp.ru, gluhihvv@m.usfeu.ru

Аннотация. Данное исследование направлено на изучение влияния лигнина на свойства резольной фенолформальдегидной смолы. Исследовалось время желатинизации резольной фенолформальдегидной смолы с лигнином и без него. Описаны свойства используемых в работе резольной фенолформальдегидной смолы и лигнина, а также методы проведения времени желатинизации. Результаты показали, что небольшое количество лигнина может способствовать изменению свойств фенолформальдегидной смолы, а также замедлению времени желатинизации.

Ключевые слова: фенолформальдегидные смолы, лигнин, время желатинизации,

Введение. Всемирная проблема сокращения количества ископаемого сырья и увеличения загрязнения окружающей среды все чаще приводит к быстро развивающейся инициативе по разработке полимеров, полученных из возобновляемых ресурсов [1]. Одним из наиболее эффективных способов является разработка и использование ресурсов природной биомассы, которые способствуют экономии ископаемого топлива и защите окружающей среды. В настоящее время было синтезировано большое количество высокоэффективных полимеров на биологической основе: полиэфиры, полученные из фурана; эпоксидные смолы, синтезированные из растительных масел; полиуретаны и цианатные эфиры, изготовленные совместно с лигнином и т. д. Сырье для этих полимеров на биологической основе является экологически чистым и безопасным, а в некоторых аспектах даже демонстрирует лучшие характеристики, чем полимеры на основе нефти [1].

В данной работе в качестве сырья на биологической основе выступает лигнин, который как второй по численности биополимер на Земле, извлекаемый из древесины или однолетних растений, является недорогим и устойчивым ресурсом с годовым объемом производства около 40–50 миллионов тонн и привлекает все большее внимание исследователей [2].

Структура лигнина представляет собой сложную, нерегулярную, разветвленную пространственную сетку, составленную из трех основных фрагментов – остатков кониферилового, сирингилового и синапового спиртов [3].

В настоящее время лигнин и его производные исследуются в качестве сельскохозяйственных добавок, активных агентов экстракции нефти, добавок к строительным материалам, агентов для очистки воды и т. д.

Материалы и методы

Для оценки времени желатинизации была выбрана резольная фенолформальдегидная смола, синтезированная в цехе, на предприятии «Уралхимпласт», и используемая для производства вспененных композиционных материалов.

Основные характеристики резольной фенолформальдегидной смолы представлены в таблице.

Показатели резольной фенолформальдегидной смолы

Наименование	Показатель
Условная вязкость по ВЗ-246 (сопло 6 мм) при 25 °С, сПз	10000
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	81,3
Массовая доля щелочи, %	0,57
Массовая доля свободного фенола, %	1,7
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,3
Кислотность, pH	6,9 – 7,0
Внешний вид	Светло-коричневый

В качестве лигнина был выбран крафт-лигнин Lineo™ компании Stora Enzo, представляющий собой аморфное порошкообразное вещество с плотностью 1,25–1,45 г/см^3, с содержанием сухого вещества 92–97 %, светло-кремового или темно-коричневого цвета со специфическим запахом. Молекулярная масса 5200–10500 [4].

Для изучения влияния лигнина на время желатинизации резольной фенолформальдегидной смолы отбирали навеску смолы в количестве 10 г и в нее вводили порошкообразный крафт – лигнин в количестве 10 масс. ч. от общей навески смолы. Готовую смесь перемешивали в ступке до однородного состояния компонентов.

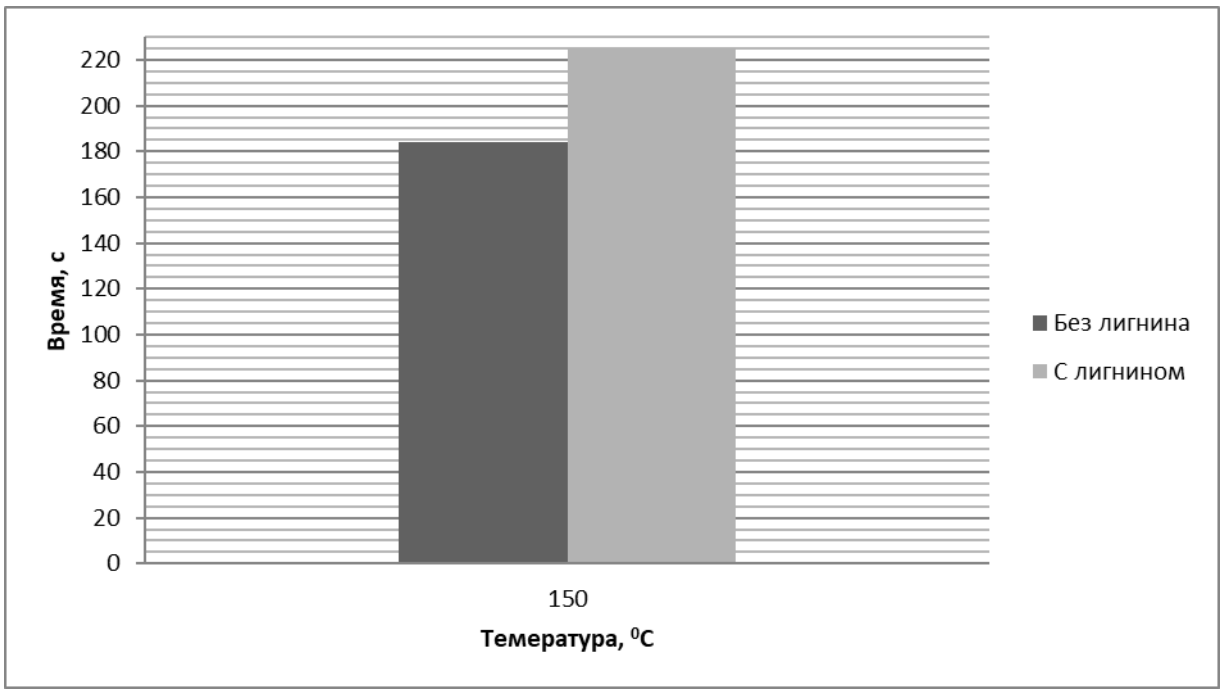
Для проведения испытания по определению времени желатинизации использовали стальную плиту размером 150×150×20 мм, закрепленную в горизонтальном положении на электрической плитке. В боковой грани плиты имеется отверстие для термометра, которое доходит до центра плиты. В центральной части на поверхности плиты имеется очерченный квадрат размером 50×50 мм. Для защиты от охлаждения области определения времени желатинизации ее защищают с помощью экрана.

С помощью трансформатора плита включается в сеть, и по термометру, который вставлен в боковую грань плиты регулируется необходимое напряжение. Температура плиты составляет 150±2 °С.

Около 2 г резольной фенолформальдегидной смолы наносят на центральную часть плиты и включают секундомер. С помощью стеклянной палочки смола равномерно распределяется в пределах площади очерченного квадрата, и непрерывно перемешивается. При загустевании смолы из нее периодически начинают вытягивать нити на высоту не более 2 см. При дальнейшем нагреве смолы она начинает терять свою пластичность, в результате чего происходит обрыв нитей. В этот момент секундомер выключают.

Данный опыт проводят повторно, но вместо обычной резольной фенолформальдегидной смолы используют смолу, смешанную с 10 масс. ч. лигнина.

Результаты и обсуждение. В ходе эксперимента было выявлено, что время желатинизации фенолформальдегидной смолы, смешанной с лигнином, значительно выше, чем у обычной фенолформальдегидной смолы. При испытании в стандартных условиях время желатинизации для обычной фенолформальдегидной смолы составило 2 минуты 34 секунды, тогда как для смолы, модифицированной лигнином, оно составило 3 минуты 45 секунд секунды, что видно из графика, представленного на рисунке.



Время желатинизации фенолформальдегидной смолы
с добавлением лигнина и без него при температуре 150 ºС

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что лигнин в значительной мере замедляет процесс желатинизации и отверждения фенолформальдегидной смолы, что может существенно повлиять на качество готового изделия, а также затруднить процесс работы такого рода на основе модифицированной смолы.

Вероятнее всего, вводить лигнин необходимо на стадии синтеза фенолформальдегидной смолы, а также использовать ускорители процесса отверждения.

Выводы

1. Исследовано время желатинизации резольной фенолформальдегидной смолы с добавлением лигнина и без него.

2. Установлено, что лигнин, введенный в состав резольной фенолформальдегидной смолы количестве 10 масс. ч., значительно увеличивает время желатинизации.

Библиографический список

1. Nur P., Tahira L., Seng H. Curing and thermal properties of co-polymerized tannin phenol-formaldehyde resin for bonding wood veneers // Journal of Materials Research and Technology. 2020. P. 6994–7001. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.05.029.

2. Yang L., Zheng L., Wei P. Inspiration from a new lignin-derived phthalonitrile resin: Unique curing behavior, and thermal properties // European Polymer Journal. 2019. P. 28–39. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2019.109351.

3. Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование возможности получения древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином = Wood-polymer composites with the hydrolysis lignin // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: матер. VI Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности», 23–24 марта 2018 г. / Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. Екатеринбург, 2018. С. 73–78.

4. Шишлов О. Ф., Баулина Н. С., Глухих В. В. Лигнинсодержащие фенолкарданол-формальдегидные смолы для фанеры и древесностружечных плит // Деревообрабатывающая промышленность. 2019. № 4. С. 40–45.

Высокоэффективное извлечение ионов меди(II) из водных растворов композиционными сорбентами на основе хитозана

В. А. Фуфаева [a], Т. Е. Никифорова [b]
студент группы 2-100 [a]
доктор химических наук, профессор кафедры технологии пищевых продуктов и биотехнологии [b]
Ивановский государственный химико-технологический университет,
Иваново, Российская Федерация [a, b]
E-mail: victoriafufaeva@gmail.com [a], tatianaenik@mail.ru [b]

Аннотация. Доказана эффективность поверхностной модификации сшитых гранул хитозана 2-этилимидазолатом никеля (ZIF) для извлечения ионов меди(II) из водных растворов. Показано, что в результате иммобилизации ZIF в присутствии поверхностно-активного вещества на поверхности гранул хитозана происходит увеличение сорбционной емкости гранул модифицированного хитозана, по сравнению с гранулами исходного хитозана, в 3,8 раза, а степень извлечения ионов меди(II) достигает 99,9 %. Определены кинетические параметры процесса путем обработки кинетических кривых сорбции меди с помощью моделей первого и второго порядков. Экспериментальные изотермы адсорбции обработаны в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-Радушкевича. Выявлено, что адсорбция ионов меди наиболее адекватно описывается в линейных координатах изотермы Ленгмюра и Дубинина-Радушкевича, а величины характеристической энергии адсорбента подтверждают ионно-обменную природу адсорбции Cu(II). Получены микрофотографии образцов чистого и модифицированного хитозана. Полученные сорбенты на основе хитозана имеют высокий потенциал для использования их в процессах водоподготовки и доочистки воды в качестве альтернативы промышленным катионитам.

Ключевые слова: медь, хитозан, модификация, сорбция тяжелых металлов, степень извлечения.

Введение. Накопление ионов тяжелых металлов в окружающей среде является результатом роста доли промышленных предприятий при осуществлении деятельности горнодобывающей промышленности, предприятий по нанесению металлических покрытий [1]. Распространение тяжелых металлов, как правило, происходит вследствие сброса сточных вод, которые по завершении мероприятий по дезактивации имеют недостаточную степень очистки. Одним из наиболее распространенных тяжелых металлов является медь. Присутствие меди в повышенных концентрациях обусловливает ее цитотоксическое действие на организм человека, в частности, путем связывания с аминокислотами белков через SH- и NH_2- группы [2]. Следует отметить, что подобный механизм негативного воздействия на организм характерен для большинства ионов тяжелых металлов. Поэтому эффективное удаление тяжелых металлов остается актуальной задачей.

Для извлечения ионов тяжелых металлов используют различные по происхождению и механизму действия сорбенты, имеющие низкую сорбционную емкость и селективность. В качестве сорбентов ионов тяжелых металлов привлекают внимание различные биополимеры растительного и животного происхождения, в частности сорбенты на основе природных полисахаридов. Однако наиболее выражены сорбционные характеристики у сорбентов на основе хитозана [3].

На данный момент перспективными сорбентами для извлечения ионов тяжелых металлов являются композиционные материалы, легко отделяемые от растворов, составные части которых являются биоразлагаемыми и/или химически инертными [4]. Относительно новыми сорбентами, отвечающими данным требованиям, являются гранулы предварительно сшитого хитозана, на поверхности которых закреплены металлоорганические каркасные структуры [5]. Металлоорганические каркасные структуры (MOF) обладают рядом свойств, такими как наноразмерность частиц, высокая удельная поверхность, малый радиус пор. Имидазолатные каркасные структуры (ZIF), представители этого широкого класса материалов, имеют высокую сорбционную емкость по отношению к ионам Cr(III), Hg(II), Cd(II) [6].

Целью работы было получение высокоэффективного сорбента на основе хитозана путем поверхностного модифицирования, сшитого хитозана 2-этилимидазолатом никеля как в отсутствии, так и в присутствии поверхностно-активного вещества.

Материалы и методы исследования. В работе использовались без проведения дополнительной очистки следующие материалы и реактивы: хлорид никеля ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$, х.ч.); 2-этилимидазол (Sigma Aldrich,> 98.0 %); аммиак водный 20 %-й (NH_4OH, ч.д.а.); хитозан (СД = 88 %, М = 200 кДа); эпихлоргидрин; гидроксид натрия (NaOH, х.ч.), додецилдиметиламин-N-оксид, сульфат меди ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, х.ч.).

3 г хитозана (CS) растворяли в 100 мл 1 %-го раствора уксусной кислоты при постоянном перемешивании и воздействии ультразвука в течение 20 мин. В полученный гомогенный гель по каплям добавляли эпихлоргидрин в количе-

стве 550 мкл. Затем гель сшитого хитозана с помощью шприца переносили в 1М NaOH. Через 20 мин гранулы хитозана извлекали и промывали три раза дистиллированной водой для удаления избытка NaOH. Далее гранулы погружали в раствор хлорида никеля ($C(Ni^{2+})$ = 0,03 моль/л), куда последовательно добавляли 100 мкл додецилдиметиламин-N-оксида и раствор, содержащий 1,7 г (0,12 моль/л) 2-этилимидазола и 100 мкл 20 %-го раствора аммиака. Полученные модифицированные гранулы хитозана (ZIF/CS) промывали дистиллированной водой три раза и использовали для сорбции Cu(II) без сушки.

Анализ морфологии полученных образцов осуществляли методом сканирующей электронной микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3 SBH при ускоряющем напряжении 5 kV.

Проведение кинетических экспериментов и получение изотерм адсорбции осуществляли согласно методике, описанной в работе [7]. Определение концентрации ионов меди осуществляли с помощью атомно абсорбционного спектрофотометра 210 VGP.

Сорбционную емкость (q_τ, мг/г) вычисляли по формуле (1):

$$q_\tau = \frac{C_0 - C_\tau}{m} \cdot V \qquad (1)$$

Степень извлечения (α, %) ионов меди(II) из раствора оценивали по формуле (2):

$$\alpha = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0} \cdot 100 \qquad (2)$$

Обработка кинетических кривых сорбции ионов меди(II) осуществлялась в рамках моделей первого порядка (3) и второго порядка (4):

$$\lg(q_e - q_\tau) = \lg q_e - k_1 \tau \qquad (3)$$

$$\frac{\tau}{q_\tau} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{\tau}{q_e} \qquad (4)$$

Для получения констант адсорбции ионов меди(II) изотермы обрабатывались в линейных координатах моделей Ленгмюра (5), Фрейндлиха (6) и Дубинина-Радушкевича (7):

$$\frac{C}{A} = \frac{1}{A_m} \cdot C + \frac{1}{A_m K_L} \quad (5)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \cdot \ln C \quad (6)$$

$$\ln q_\tau = \ln q_m - \frac{RT}{B} \ln \frac{C_s}{C_\tau} \quad (7)$$

Физический смысл констант: k_1 – константа скорости процесса сорбции по модели первого порядка, мин$^{-1}$; k_2 – константа скорости процесса сорбции по модели второго порядка, мг·мин·г$^{-}$1; B=βE – константа уравнения Дубинина-Радушкевича, где E – характеристическая энергия адсорбента, кДж/моль, β – коэффициент аффинности; K_L – концентрационная константа адсорбционного равновесия, характеризующая интенсивность процесса адсорбции, л/моль; K_F ((мг/г)(л/мг)$^{1/n}$) и 1/n эмпирические константы, указывающие на благоприятность процесса адсорбции.

Результаты и обсуждение. Определена эффективность модификации хитозана путем иммобилизации ZIF на поверхности гранул как в присутствии, так и в отсутствии поверхностно-активного вещества. По изменению значений сорбционной емкости во времени (рис. 1) установлено, что равновесие в системе «сорбент – раствор $CuSO_4$» для всех образцов достигается при времени контакта с раствором 90 мин. Степень извлечения ионов меди(II) для образца ZIF/CS, полученного в присутствии ПАВ, составляет 99,9 %. Константы кинетики сорбции ионов меди приведены в табл. 1.

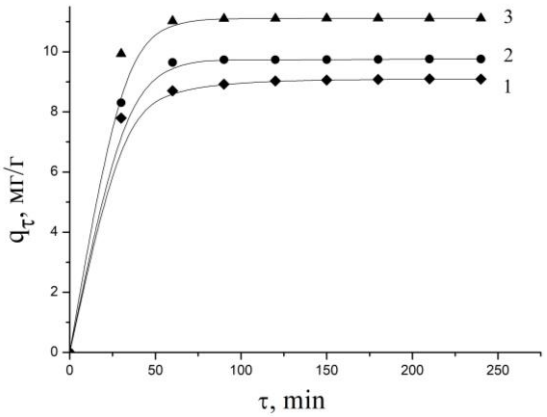


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов меди(II) в присутствии (1) гранул хитозана, хитозана с иммобилизованным ZIF (2) без и (3) в присутствии ПАВ из водных растворов при 298 К

Таблица 1

Константы скорости первого и второго порядков кинетики сорбции ионов Cu(II) из водных растворов при температуре 298 К. R^2 – коэффициент корреляции

Образец	α, %	q_τ, мг/г	Первый порядок			Второй порядок		
			q_e, мг/г	k_1, мин$^{-1}$	R^2	q_e, мг/г	k_2, г/мг·мин	R^2
1	90.4	9.08	7.1	0.016	0.84	9.34	0.025	0.99
2	98.7	9.82	8.86	0.0178	0.89	10	0.033	0.99
3	99.9	11.12	9.5	0.0189	0.89	11.53	0.0632	0.99

Исходя из коэффициентов корреляции, установлено, что кинетика сорбции ионов меди наиболее адекватно описывается в координатах второго порядка, то есть стадией, определяющей скорость сорбции ионов меди(II), может являться обмен «протон-металл» между адсорбентом и адсорбатом.

Для нативного хитозана (образец 1), гранул композита ZIF/CS (образец 2) и гранул композита ZIF/CS, полученных в присутствии додецилдиметиламин-N-оксида (образец 3), были получены изотермы адсорбции ионов меди(II) при температуре 298 К в диапазоне концентраций $5\cdot10^{-3}$ – 0.5 моль/л (рис. 2).

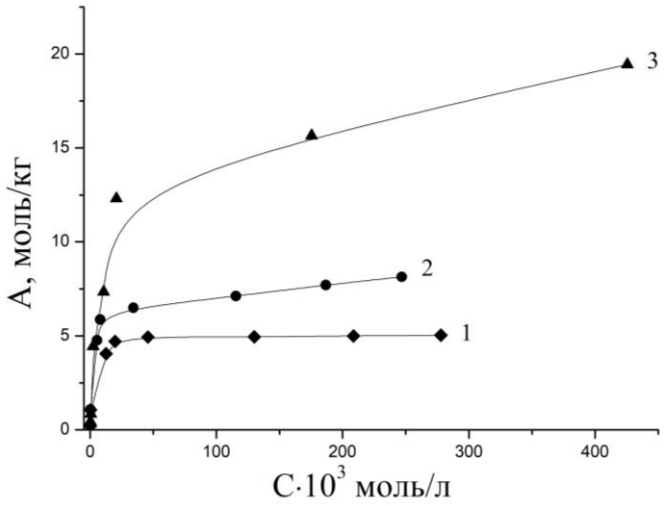


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов Cu(II) для (1) гранул хитозана, хитозана с иммобилизованным ZIF (2) без и (3) в присутствии ПАВ из водных растворов при 298 К

Максимальные значения адсорбционной емкости, полученные в ходе эксперимента для образцов 1, 2 и 3, составляют 4,91, 8,35 и 19,44 моль/кг соответственно. Константы адсорбции, определенные из линейных координат изотерм Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-Радушкевича, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Константы процесса адсорбции ионов Cu(II).
R^2 – коэффициент корреляции

Образец	A, моль/кг	Ленгмюр			Фрейндлих			Дубинин-Радушкевич		
		A_m, моль/кг	$K_{L,}$ л/моль	R^2	n	K_F, (мг/г)/(л/мг)$^{1/n}$	R^2	A_m, моль/кг	E, кДж/моль	R^2
1	4.91	5.05	307.8	0.99	2.94	0.88	0.88	1.84	9.07	0.93
2	8.35	8.06	468.7	0.99	2.63	1.08	0.88	1.91	9.98	0.97
3	19.44	19.49	735.4	0.99	2.13	1.34	0.88	2.01	11.96	0.99

Установлено, что линейность экспериментальных данных адсорбции ионов меди(II) соблюдается в линейных координатах изотермы Ленгмюра для всех образцов. Линеаризация в линейных координатах Дубинина-Радушкевича наиболее применима для образцов 2 и 3, что указывает на процессы адсорбции в объеме энергетически однородного пористого адсорбента. Было показано, что адсорбция носит ионообменный характер, что также подтверждается полученными значениями характеристической энергии адсорбента E, значения для всех образцов находятся в диапазоне 8–16 кДж/моль. Также значения K_L K_F и n указывают на интенсивность процесса адсорбции ионов меди в присутствии образца 3.

Морфология гранул сшитого хитозана (образец 1), хитозана с иммобилизованным ZIF на поверхности гранул без (образец 2) и в присутствии ПАВ (образец 3), а также поверхности образца ZIF/CS после сорбции меди(II) ионы из водных растворов показана на рис. 3.

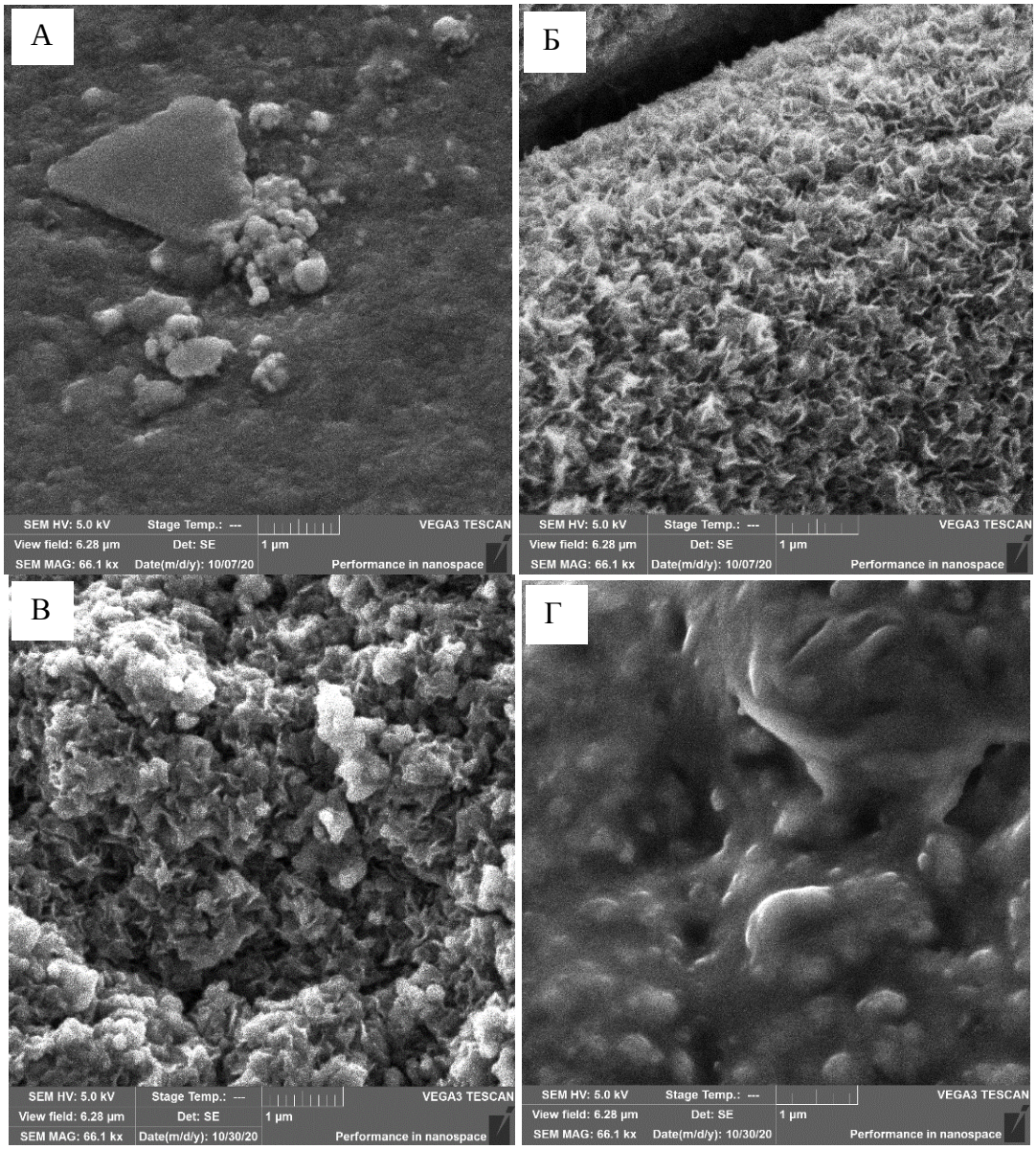


Рис. 3. Микрофотографии образцов (А) сшитых гранул хитозана, гранул хитозана, модифицированные ZIF (Б) без и (В) в присутствии ПАВ. (Г) Поверхность ZIF/CS композитных гранул после сорбции ионов меди(II)

Выводы. Получен композитный сорбент на основе хитозана с максимальной сорбционной емкостью по ионам меди(II) 19.44 моль/кг, что в 3,8 раза выше, чем у немодифицированных сшитых гранул хитозана. Показано, что после поверхностной модификации гранул хитозана достижение адсорбционного равновесия сокращается на 30 минут. При этом степень извлечения ионов меди(II) из раствора возрастает до 99,9 %. Процесс сорбции ионов меди(II) для всех трех образцов описывается моделью кинетики второго порядка, что указывает на возможность протекания ионообменных процессов. Наиболее интенсивно процесс адсорбции ионов меди(II) протекает в присутствии образца 3,

что подтверждается рассчитанными в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-Радушкевича характеристическими константами.

Библиографический список

1. Chen Y., Bai X., Ye Z. Recent Progress in Heavy Metal Ion Decontamination Based on Metal-Organic Frameworks // Nanomaterials. 2020. Vol. 8. P. 1481. URL: https://doi.org/10.3390/nano10081481 (published: 29.06.2020).

2. Azimi A., Azari A., Rezakazemi M. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review // ChemBioEng. Reviews. 2017. Vol. 4. P. 37–59. URL: https://doi.org/10.1002/cben.201600010 (published: 01.02.2017).

3. Chakraborty R., Asthana A., Singh A. K. Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review // International Journal of Environmental Analitical Chemistry. 2020. P. 1–38. URL: https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811 (published: 20.02.2020).

4. Zhang W., An Y., Li S. Enhanced heavy metal removal from an aqueous environment using an eco-friendly and sustainable adsorbent // Scientific Reports 2020. Vol. 10. P. 1–19. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73570-7 (published: 05.10.2020).

5. Renu Agarwal M., Singh K., Gupta R. Continuous fixed-bed adsorption of heavy metals using biodegradable adsorbent: Modeling and experimental study // Journal of Environmental Engineering. 2020. Vol. 146. P. 04019110. https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001636 (published: 03.02.2020).

6. Brião G. de V., de Andrade J. R., da Silva M. G. C. Removal of toxic metals from water using chitosan-based magnetic adsorbents. A review // Environmental Chemistry Letters. 2020. Vol. 18. P. 1–23. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01003-y (published: 15.04.2020).

7. Nikiforova T., Kozlov V., Islyaikin M. Sorption of d-metal cations by keratin from aqueous solutions // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2019. Vol. 7. P. 103417. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103417 (published: 19.09.2019).

Исследование эпоксидного соединения в резинах на основе каучуков общего назначения

И. Б. Шилов [a], Н. Г. Седлова [b], Е И. Анфилатов [c]
кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии переработки полимеров [a]
аспирант кафедры химии и технологии переработки полимеров [b]
студент группы ХТб-4501-07 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: shilov@vyatsu.ru [a], ksasng@mail.ru [b], stud098296@vyatsu.ru [c]

Аннотация. В настоящее время наблюдается тенденция применения высоких дозировок эпоксидных соединений, в частности эпоксидированных каучуков, в резиновых смесях с кремнекислотным наполнителем. Целью статьи было исследовать влияние эпоксидного соединения на процесс вулканизации резин на основе каучуков общего назначения. Изучено влияние эпоксидного соединения с высоким содержанием эпоксидных групп на кинетику вулканизации резиновых смесей и упруго-механические свойства резин на основе каучуков общего назначения. Исследованы наполненные и ненаполненные смеси. В качестве наполнителей применяли кремнекислотный наполнитель и технический углерод. При проведении работы использованы стандартизованные методики, принятые в резиновой промышленности. Применение исследованного эпоксидного соединения в целом приводит к уменьшению скорости вулканизации резиновых смесей, уменьшению минимального крутящего момента и уменьшению модуля резин. Полученные результаты представляют интерес при создании и совершенствовании рецептур резин для «зеленых шин».

Ключевые слова: эпоксидное соединение, резина, вулканизация, упруго-прочностные свойства.

Введение. Эпоксидные соединения способны реагировать со многими веществами [2, с. 78]. Поэтому известно применение эпоксидных соединений в резиновых смесях в качестве модификаторов, в частности для повышения адгезии резин к различным материалам [5, с. 196]. В настоящее время предлагается использовать эпоксидные соединения для повышения взаимодействия кремнекислотного наполнителя с полимерной матрицей при создании и совершенствовании «зеленых шин» [1, с. 498; 3, с. 431; 4, с. 1033]. В рецептурах протекторной резины «зеленых шин» рекомендуется применять большие дозировки эпоксидных соединений. К настоящему времени в литературе не приводятся сведения по влиянию повышенного содержания эпоксидных соединений на процесс вулканизации эластомеров. Однако данная информация представляет интерес при совершенствовании рецептур резин для «зеленых шин».

Цель работы – исследовать влияние эпоксидного соединения на процесс вулканизации резин на основе каучуков общего назначения.

Задачи исследования: исследовать влияние эпоксидного соединения на кинетику вулканизации резиновых смесей на основе каучуков общего назначения; исследовать влияние эпоксидного соединения на упруго-прочностные свойства резин на основе каучуков общего назначения.

Методы исследования. В качестве эпоксидного соединения исследовали триглицидиловый эфир триметилолпропана (лапроксид ТМП производства фирмы ООО «НПП «Макромер») с содержанием эпоксидных групп 30 %. Триглицидиловый эфир триметилолпропана исследовали в резинах на основе комбинации каучуков общего назначения в дозировке 15 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Была выбрана комбинация синтетических каучуков ДССК-2560 М27 (ТУ 38.40387-2007) 40 мас. ч., СКДН (ГОСТ 14924-2019) 20 мас. ч. и натурального (НК марки SIR 20) 40 мас. ч. Исследовали резиновые смеси без наполнителя и с содержанием наполнителей 50 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве наполнителей применяли технический углерод N 550 (ТУ 38-41558-97) и кремнекислотный наполнитель Newsil 1165 MP. Совместно с кремнекислотным наполнителем применяли триэтилбензиламмоний хлорид (ТЭБАХ ТУ 2491-010-16993055-2007) в дозировке 0,1 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В составах резиновых смесей содержался защитный воск ЗВ-1 (ТУ 38-1-146-67) в дозировке 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве активаторов вулканизации применяли белила цинковые (ГОСТ 202-84) в дозировке 4,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука и кислоту стеариновую (ГОСТ 6484-96) в дозировке 2,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

В качестве серосодержащей вулканизующей группы применяли серу молотую (ГОСТ 127.4-93) в дозировке 3,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука и ускоритель вулканизации N-трет-бутил-2-бензтиазол-сульфенамид (ускоритель TBBS, сульфенамид-Т CAS: 95-31-8) в дозировке 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве замедлителя преждевременной вулканизации применяли сантогард PVI (CAS: 17796-82-6) в дозировке 0,5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Резиновые смеси изготавливали в лабораторном смесителе объемом 100 мл. Резиновые смеси готовили в две стадии. Температура выгрузки резино-

вой смеси после первой стадии составляла 140 °С, после последней стадии составляла 100 °С. Смесь шифра КЭМ изготавливали в три стадии. На первой стадии изготовления резиновой смеси проводили химическое взаимодействие эпоксидного соединения с силанольными группами на поверхности кремнекислотного наполнителя при температуре 180 °С. Температура выгрузки резиновой смеси шифра КЭМ после второй стадии составляла 145 °С, после последней стадии составляла 100 °С. После каждой стадии изготовления резиновые смеси дорабатывали на вальцах.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей определяли на виброреометре Pheo-Line MDR фирмы Prescott Instruments в соответствии с ГОСТ 12535-84 при температуре 160 ºС в течение 30 минут.

Вулканизовали резиновые смеси в гидравлическом прессе с электрообогревом при температуре 160 °С.

Упруго-прочностные свойства вулканизатов (условную прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, напряжение при удлинении 100 % и напряжение при удлинении 300 % и остаточное удлинение) определяли в соответствии с ГОСТ 270-75.

Результаты исследований, их обсуждение. Вулканизационные характеристики исследованных резиновых смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вулканизационные характеристики резиновых смесей

Наименование показателя	Шифр резиновой смеси*						
	0	Э	У	УЭ	К	КЭ	КЭМ
Время начала вулканизации t_{s1}, мин	7:20	9:30	3:35	2:44	0:29	1:36	2:30
Время начала вулканизации t_{s2}, мин	7:53	19:31	4:35	3:55	2:12	3:55	4:24
Оптимальное время вулканизации t_{90}, мин	11:24	9:53	8:47	27:25	12:47	26:10	24:08
Минимальный крутящий момент M_L, Н·м	0,47	0,32	1,84	1,12	7,06	1,70	1,43
Максимальный крутящий момент M_H, Н·м	9,51	1,45	27,66	9,90	31,76	17,21	16,70

*Обозначение шифров резинових смесей:
0 – резиновая смесь без наполнителя и без эпоксидного соединения;
Э – резиновая смесь с без наполнителя с эпоксидным соединением;
У – резиновая смесь с техническим углеродом без эпоксидного соединения;
УЭ – резиновая смесь с техническим углеродом и эпоксидным соединением;
К – резиновая смесь с кремнекислотным наполнителем без эпоксидного соединения;
КЭ – резиновая смесь с кремнекислотным наполнителем углеродом и эпоксидным соединением;
КЭМ – резиновая смесь с кремнекислотным наполнителем углеродом модифицированным эпоксидным соединением

По данным, приведенным в табл. 1, можно сделать заключение, что применение триглицидилового эфира триметилолпропана в исследованных резиновых смесях приводит к уменьшению минимального крутящего момента, что должно свидетельствовать о снижении вязкости резиновых смесей. Резиновая смесь с кремнекислотным наполнителем, модифицированным триглицидиловым эфиром триметилолпропана, имеет большее время начала вулканизации, что свидетельствует о ее лучшей стойкости к подвулканизации по сравнению с резиновой смесью, содержащей кремнекислотный наполнитель и триглицидиловый эфир триметилолпропана.

Вулканизацию резиновых смесей проводили при температуре 160 °С. Резиновые смеси без эпоксидного соединения шифров 0, У и К вулканизовали в течение 15 минут, резиновые смеси, содержащие триглицидиловый эфир триметилолпропана шифров Э, УЭ, КЭ и КЭМ, в течение 30 минут. Упруго-прочностные свойства исследованных резин приведены в табл. 2.

Таблица 2

Упруго-прочностные свойства резин

Наименование показателя	Шифр резиновой смеси*						
	О	Э	У	УЭ	Н	НЭ	НЭ-М
Напряжение при удлинении 100 %, МПа	0,9	0,5	5,0	2,0	2,6	2,4	2,3
Напряжение при удлинении 300 %, МПа	–	1,0	–	7,7	7,0	5,5	5,4
Условная прочность при растяжении, МПа	1,2	3,5	11,2	11,7	9,7	11,5	11,1
Относительное удлинение при разрыве, %	140	610	180	470	410	550	550
Остаточное удлинение, %	0	3,2	3,2	7,2	22,4	50,4	44,8

*Обозначение шифров резин:
0 – резина без наполнителя и без эпоксидного соединения;
Э – резина без наполнителя с эпоксидным соединением;
У – резина с техническим углеродом без эпоксидного соединения;
УЭ – резина смесь с техническим углеродом и эпоксидным соединением;
К – резина с кремнекислотным наполнителем без эпоксидного соединения;
КЭ – резина с кремнекислотным наполнителем углеродом и эпоксидным соединением;
КЭМ – резина с кремнекислотным наполнителем углеродом модифицированным эпоксидным соединением

По данным, приведенным в табл. 2, можно сделать заключение, что применение эпоксидного соединения триглицидилового эфира триметилолпропана в составах резин на основе каучуков общего назначения приводит к увеличению их относительных и остаточных удлинений, уменьшению напряжений при

заданных удлинениях при сохранении прочности при растяжении наполненных резин и увеличению прочности резины без наполнителя.

Выводы:

1. Показано, что применение эпоксидного соединения триглицидилового эфира триметилолпропана в составах исследованных резиновых смесей в целом приводит к увеличению их стойкости к подвулканизации, времени вулканизации и уменьшению минимального крутящего момента, что свидетельствует о снижении вязкости резиновой смеси.

2. Показано, что применение эпоксидного соединения триглицидилового эфира триметилолпропана в составах резин на основе каучуков общего назначения приводит к увеличению их относительных и остаточных удлинений, уменьшению напряжений при заданных удлинениях при сохранении прочности при растяжении наполненных резин и увеличению прочности резины без наполнителя.

Библиографический список

1. Влияние модификации поверхности кремнекислотного наполнителя продуктом взаимодействия метакриловой кислоты и триглицидилового эфира триметилолпропана на свойства резиновых смесей и вулканизатов / И. Б. Шилов, Н. Г. Седлова, И. А. Мансурова, Д. А. Козулин // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. Вып. 4. С. 492–498.

2. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М. : Энергия, 1973. 416 с.

3. Marcus V. B., Marly A. M. Silica grafted with epoxidized liquid polybutadienes: evidence for the mechanism of reinforcement // Rubber Chemistry and Technology. 2019. Vol. 92. № 3. P. 431–444.

4. Получение и исследование бифункционального модификатора продута взаимодействия N-третбутил-2-бензотиазолилсульфенамида и триглицидилового эфира триметилолпропана в резинах с кремнекислотным наполнителем / Н. Г. Седлова, И. Б. Шилов, С. В. Фомин, И. А. Мансурова // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91. Вып. 7. С. 1029–1033.

5. Туторский И. А., Потапов Е. Э., Шварц А. Г. Химическая модификация эластомеров. М. : Химия, 1993. 303 с.

Получение мембран из поливинилиденфторида методом замораживания

Е. С. Широкова [a], П. А. Созинов [b]
кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП [a]
студент группы ХТм-2501 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr06779@vyatsu.ru [a], stud114414@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В связи с тем что в мире с каждым годом мембранная технология все обширнее применяется во многих сферах, стоит вопрос о совершенствовании методов получения мембран и улучшении их характеристик. Целью работы было получение мембран по модифицированному способу. В данной работе получение мембран на основе поливинилиденфторида осуществлялось методом фазовой инверсии, вызванной не-растворителем, совместно с замораживанием; была изготовлена установка для получения мембран; получены мембраны из растворов различных концентраций поливинилиденфторида в диметилсульфоксиде; проведено определение пористости, физико-механических показателей; опытным путем определена оптимальная концентрация раствора для получения мембран. Результаты данной работы применимы в сфере процессов производства мембран для микро- и ультрафильтрации в промышленном производстве.

Ключевые слова: получение мембран, фазовое разделение, поливинилиденфторид, диметилсульфоксид, мембранные технологии.

Введение. Нехватка воды и возрастающее потребление энергии вызывают глобальные проблемы даже в регионах, которые в настоящее время считаются богатыми водой и энергией. По мере роста мирового населения и экономики проблемы нехватки воды и потребления энергии растут и, как ожидается, будут усугубляться в ближайшее время. Мембранная технология стала важной технологией разделения за последние несколько десятилетий и является перспективным новым способом решения этих двух проблем [3].

Для изготовления мембран используются органические и неорганические материалы. Полимеры занимают особую роль среди этих материалов. Для получения мембран полимеры должны обладать хорошей пленкообразующей способностью, высокой механической, химической и термической стабильностью, а также хорошим балансом проницаемости и селективности [3].

Перспективным полимерным материалом для мембран (в частности, для мембран для ультрафильтрации) является поливинилиденфторид (ПВДФ) [3, 2]. Полимерные мембраны из него характеризуются стойкостью к высоким температурам, агрессивным веществам, гидрофобностью, инертностью.

Основными методами получения мембран на основе ПВДФ являются методы фазового разделения [1], такие как NIPS (non – solvent induced phase separation) – фазовое разделение, индуцированное не-растворителем, и TIPS (thermally induced phase separation) – термически индуцированное фазовое разделение. В методе NIPS используется раствор полимера в полярном органическом растворителе с высокой температурой кипения; в качестве не-растворителя обычно используется вода или смесь воды и других растворителей. Метод TIPS основывается на изменении растворимости полимера в смеси растворителей; под воздействием температуры происходит разделение фаз из-за испарения растворителя и изменения растворимости полимера. В последующем полученные мембраны подвергаются промывке с целью извлечения остаточного растворителя [1]. В данном методе применение фазовых диаграмм позволяет прогнозировать поведение системы при приготовлении мембран с использованием различных растворителей [3].

Указанные методы имеют свои преимущества и недостатки, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов NIPS и TIPS

Способы получения мембран			
NIPS		TIPS	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Легкость реализации; меньше число параметров процесса; легкость масштабирования	Сложности получения; широкое распределение пор по размерам; меньше выбор применимых растворителей	Выше прочность; узкое распределение пор по размерам	Высокая температура изготовления; длительная постобработка; сложность рецептур

Также ведутся работы по получению мембран методом замораживания. В данном методе пористая структура формируется путем замораживания растворителя и последующей замены его на не-растворитель.

В данной работе метод замораживания был применен для получения ПВДФ мембран. В качестве растворителя был использован диметилсульфоксид (ДМСО), так как данный растворитель по сравнению с другими пригодными к использованию растворителями обладает низкой температурой кристаллизации

+18 °С, что позволяет замораживать его, не используя слишком низкие температуры, а на заморозке растворителя основан сам принцип получения мембран. Также ДМСО нетоксичен, хорошо растворим в воде, у него отсутствует неприятный запах.

Цель работы – получить и охарактеризовать свойства мембран на основе ПВДФ методом замораживания из раствора в диметилсульфоксиде.

Задачи:

1. Отработать методику получения мембран на основе ПВДФ методом замораживания; собрать установку для получения мембран методом полива.

2. Получить мембраны из раствора ПВДФ в ДМСО различной концентрации.

3. Оценить пористость и физико-механические показатели полученных мембран.

Методы исследования. Для изучения возможности получения мембран путем замораживания были приготовлены растворы ПВДФ в ДМСО концентрацией 20, 30 и 40 %.

В [3] для приготовления растворов предлагается использовать водяную баню, но в ходе экспериментов было установлено, что водяные пары попадают в раствор и впоследствии приводят к неоднородности получаемых мембран. В связи с этим приготовление раствора полимера производилось в термостойком стакане. После загрузки навесок полимера и растворителя стакан устанавливался на электрическую плитку через асбестовую сетку, включался минимальный нагрев, стакан накрывался часовым стеклом для предотвращения чрезмерного испарения растворителя. Растворение проводилось в течение двух часов при 60 °С до получения однородного раствора.

Для получения мембран была собрана установка, схема которой представлена на рисунке.

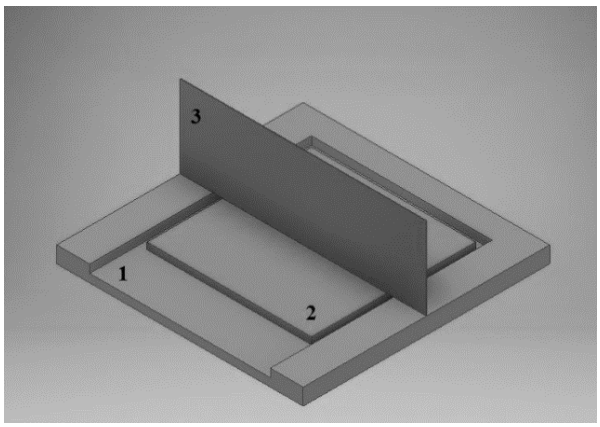


Схема установки для получения мембран

Установка состоит из основания 1, подложки 2, для распределения полимерного раствора используется шпатель 3. Закраины основания играют роль направляющих для шпателя и упора для подложки, предотвращая ее соскальзывание. Высота подложки и закраин основания одинакова, так как оба элемента изготовлены из одного листа стекла. Толщина мембраны задается с помощью наклеивания на направляющие полосок бумаги.

Раствор полимера отливался на подложку 2 и с помощью шпателя 3 плавно распределялся за одно движение по подложке. При работе с растворами концентраций 30 % и 40 % производился подогрев подложек до 50 °С для предотвращения быстрого охлаждения раствора и потери им текучести.

Далее подложка с полимерным раствором помещалась в морозильный шкаф «Бирюса 455VK» с температурой –10 °С на 2 часа. По истечении времени подложка помещалась в дистиллированную воду, мембрана отделялась от подложки и выдерживалась в дистиллированной воде до полного удаления растворителя.

Для полученной мембраны оценивали пористость и физико-механические показатели.

Пористость мембран является показателем того, насколько может быть производительной мембрана, для оценки этого показателя производили взвешивание влажной мембраны. После этого образцы выдерживались в сушильном шкафу при температуре 75 °С до постоянной массы и вновь взвешивались. Расчет значения пористости производился по формуле:

$$P\ \% = \frac{(W_{wet} - W_{dry}) / D_w}{(W_{wet} - W_{dry}) / D_w + W_{dry} / D_f},$$

где P – пористость, %; W_{wet} и W_{dry} – вес влажной и сухой мембраны соответственно; D_f и D_w – плотность ПВДФ и воды.

Физико-механические показатели мембран важны для их эксплуатационных качеств, таких как ресурс работы, стойкость к износу, допустимое рабочее давление и применимость методов очистки поверхности, например, механическими или гидравлическими способами.

Для оценки физико-механических показателей из образцов мембран вырезались полоски размером 30×10 мм (длина×ширина), толщина замерялась толщиномером с точностью до микрон. Напряжение при разрушении и удлинение при разрушении оценивали на разрывной машине фирмы “Shimadzu”. Температура испытания составляла 25 °С, скорость движения активного захвата 3 мм/мин.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты оценки показателей свойств полученных мембран представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели полученных мембран

	Концентрация раствора, %		
	20	30	40
Навеска ПВДФ, г	4	6	8
Навеска ДМСО, г	16	14	12
Пористость, %	78	65	59
Напряжение при разрушении, МПа	0,24	0,51	3,8
Удлинение при разрушении, %	10,5	6	7

Как видно из представленной таблицы, с увеличением концентрации раствора для получения мембран снижается пористость, следовательно, возрастает плотность упаковки материала и повышается прочность мембран. Наиболее предпочтительной является концентрация 30 %, так как полученные мембраны уже обладают приемлемой прочностью по сравнению с мембранами, полученными из раствора 20 %-ной концентрации.

Также раствор концентрацией 30 % обладает лучшими технологическими свойствами (уровень вязкости раствора еще позволяет осуществлять формова-

ние мембраны) по сравнению с раствором 40 %-ной концентрации, для которого высокий уровень вязкости вызывает трудности в равномерном распределении по поверхности.

В дальнейшем для оценки гидрофобности мембран планируется измерение угла смачивания. Оценка в будущем пропускающей способности мембран позволит проводить работы по модификации мембран для повышения их гидрофильности с целью оценить эффективность самой модификации.

Также планируется получение изображений морфологии поверхностей мембран на сканирующем электронном микроскопе.

Выводы. Опробована методика получения мембран методом замораживания. Показано, что метод замораживания – это осуществимый, простой и эффективный метод изготовления мембран из ПВДФ. В ходе работы была создана установка для их изготовления и отработаны методы приготовления растворов и получения мембран.

Методом замораживания из раствора ПВДФ в ДМСО концентрацией 20, 30, 40 % получены мембраны толщиной от 100 до 190 мкм.

Проведена оценка пористости и физико-механических показателей полученных мембран. Установлено, что наиболее предпочтительной является концентрация ПВДФ в растворе 30 %, так как в этом случае обеспечиваются оптимальные технологические и эксплуатационные свойства.

Библиографический список

1. Fabrication of microporous membranes by a feasible freeze method / Chunxia Mu, Yanlei Su, Mengping Sun, Wenjuan Chen, Zhongyi Jiang // Journal of Membrane Science. 2010. № 361. P. 15–16.

2. Progress in the production and modification of PVDF membranes / Fu Liu, N. Awanis Hashim, Yutie Liu, M. R. Moghareh Abed, K. Li // Journal of Membrane Science. 2011. № 375. P. 2–6.

3. Recent progress in fluoropolymers for membranes / Zhaoliang Cui, Enrico Drioli, Young Moo Lee // Progress in Polymer Science. 2014. № 39. P. 166–172.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Радиоактивность донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края

О. Ю. Коровина [a], В. А. Сомин [b]
аспирант II курса [a]
заведующий кафедрой, профессор, доктор технических наук [b]
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии, г. Барнаул, Российская Федерация [a, b]
E-mail: korano@mail.ru [a], vladimir_somin@mail.ru [b]

Аннотация. Алтайский край с юго-западной стороны граничит с территорией Республики Казахстан. Расстояние от границы бывшего Семипалатинского испытательного полигона до юго-западной границы Алтайского края составляет около 98 км по прямой. В сторону Алтайского края и Республики Алтай уходят следы радиоактивных выпадений от ядерных испытаний.

На поверхности почвы за период более 60 лет искусственная радиоактивность от ядерных испытаний на данный момент практически не осталась (произошел распад и перемещение радионуклидов в результате массопереноса). Научный и практический интерес представляют водные объекты, в которых процессы перемещения загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов, происходят в основном в результате оседания попавших в воду частиц и их концентрирования в донных отложениях.

С использованием методов экспрессной оценки мощности дозы гамма-излучения и потока бета-частиц выполнены исследования донных отложений озер Горького Перешеечного и Горького, а также рек Никитиха, Крутишка и Корболиха, расположенных в юго-западной части Алтайского края.

Получены первичные сведения о радиационном фоне донных отложений выбранных для исследований водных объектов.

Комплексное изучение донных отложений водных объектов Алтайского края позволит оценить степень их радиоактивной опасности для гидробионтов и по пищевой цепочке – для человека.

Ключевые слова: донные отложения, радиоактивность, Алтайский край.

Введение. Во времена Советского Союза территория Алтайского края подвергалась радиоактивному воздействию со стороны Семипалатинского испытательного полигона. По сведениям ученых Национального ядерного центра Республики Казахстан, всего за период с 1949 года по 1989 год на полигоне произведено 456 ядерных испытаний (616 ядерных устройств). С 1949 года по 1962 год было проведено 116 атмосферных испытаний [1].

Распоряжением Правительства РФ от 15.03.1995 года № 356-Р выделены территории, подвергшиеся радиационному воздействию в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне 29 августа 1949 года и 7 августа 1962 года.

При испытаниях 1949 года ядерное устройство представляло собой атомную бомбу, созданную на основе плутония-239, мощностью 22 кт и размерами 4,7 т, диаметром 1,5 м и длиной 3,7 м [2]. Изучение радиационного фона на территории Западной Сибири выполнялось НПО «Тайфун», бывшими ГГП «Березовгеология» и «Запсибгеология» [3].

По опубликованным данным Национального ядерного центра Республики Казахстан [4], в сторону Алтайского края и Республики Алтай уходили и другие «следы» радиоактивных выпадений от ядерных испытаний: 29.07.1955 года (наземные испытания в целях создания или совершенствования ядерного оружия, энерговыделение 1,3 кт тротилового эквивалента) и 17.01.1958 года (данные о характере испытаний отсутствуют).

Последствия испытаний до настоящего времени остаются актуальными, онкологическая заболеваемость и смертность населения Алтайского края имеет более высокий уровень, чем в соседних с Алтайским краем территориях и в России в целом. Восстановлена конфигурация зоны радиоактивных выпадений вместе с реконструкцией доз облучения.

В настоящее время интересным и информативным источником для ретроспективной оценки радиоактивных выпадений на территорию Алтайского края могут стать донные отложения водных объектов (озер и рек).

Методы исследования. Объектом исследований выбраны озера Горькое Перешеечное и Горькое, а также реки Никитиха, Крутишка и Корболиха, расположенные в юго-западной части Алтайского края.

Отбор образцов донных отложений выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. В полевых условиях выполнены экспрессные измерения мощности дозы гамма-излучения дозиметром-радиометром МКС-03СА. После подготовки отобранных образцов в лаборатории выполнены измерения потока бета-частиц. С использованием требований норм радиационной безопасности выполнена оценка радиационной безопасности донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края.

Результаты исследований, их обсуждение. В июне 2020 года выполнен отбор образцов донных отложений из выбранных водных объектов. Проведены

полевые и лабораторные исследования, результаты которых представлены в таблице.

Результаты исследований донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края

Объект	Мощность дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	Поток бета-частиц/ $см^2$*мин
Оз. Горькое Перешеечное	0,10±0,02	1,3±0,3
Оз. Горькое	0,14±0,03	1,8±0,5
Р. Никитиха	0,13±0,03	1,9±0,5
Р. Крутишка	0,18±0,04	3,3±0,8
Р. Корболиха	0,11±0,02	0,5±0,1
Предельно допустимый уровень, ОСПОРБ-99/2010, МИ ИИ.ИНТ-15.01-2018	0,30	0,4 Бк/$см^2$ (~10 бета-частиц/$см^2$*мин)
Фоновое значение для почвенного покрова Алтайского края	0,09–0,12	Менее 0,5

Полученные результаты дают экспрессную оценку радиационных параметров с погрешностью измерений 20–25 %, которые могут быть уточнены комплексными бета-, гамма-спектрометрическими исследованиями путем определения радионуклидного состава отобранных образцов.

Выводы. Радиоактивное загрязнение донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края не превышает нормативный уровень, установленный для радиоактивного загрязнения поверхности материалов. Однако измеренные значения выше, чем радиационный фон почвенного покрова Алтайского края, который равен 0,09–0,12 мкЗв/ч по мощности дозы гамма-излучения и менее 0,5 бета-частиц/$см^2$*мин.

Фоновые значения радиационных параметров зафиксированы только для донных отложений р. Корболихи. В остальных исследуемых объектах радиационный фон донных отложений повышен.

Из обследованных объектов наибольший уровень радиоактивности выявлен в донных отложениях р. Крутишки.

Планируется продолжить исследования других водных объектов, попавших под след радиоактивных выпадений, для получения полной картины ради-

ационного фона юго-западной части Алтайского края. Полученные данные будут являться основой для оценки риска поступления радиоактивных веществ по трофической цепи: донные отложения – гидробионты – человек.

Библиографический список

1. Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние / под ред. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко. Павлодар : Дом печати, 2017. 52 с.

2. Отдаленные последствия первого ядерного испытания на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края / А. О. Ковригин // Радиоэкология XXI века : сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 2012. С. 135–140.

3. Робертус Ю. В., Фатин В. И., Рылов О. Б., Шамов С. Л. Аномальные повышения радиоактивного фона на территории Алтайского края //Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. Барнаул, 1993. Т. 1. Кн. 1. С. 112–116.

4. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 1. Радиоэкологическое состояние «северной» части территории Семипалатинского испытательного полигона / под ред. С. Н. Лукашенко. Павлодар : Дом печати, 2010. 234 с.

Оценка экологического состояния почвы микрорайона Придонской города Воронежа

А. Б. Саврасова [a], О. В. Гладышева [b], Е. Ю. Кальченко [c]
студентка группы Л-230 [a]
ассистент, кандидат сельскохозяйственных наук [b]
доцент, кандидат сельскохозяйственных наук [c]
Воронежский государственный медицинский университет
имени Н. Н. Бурденко, Минздрава России, Воронеж, Российская Федерация [a, b]
Воронежский государственный аграрный университет
им. императора Петра I, Воронеж, Российская Федерация [c]
E-mail: Russia_1980@inbox.ru [a], plodof@agronomy.vsau.ru [b]

Аннотация. Отходы промышленных предприятий и выбросы автотранспорта являются интенсивными загрязнителями почвы в городах. Вредные вещества, проникая в почву, изменяют естественную концентрацию химических элементов, превышающих её норму, следствием чего является нарушение физико-химических свойств почвы.

В связи с рассмотренной проблемой нами была проведена оценка экологического состояния загрязнения почвы на пришкольном участке в микрорайоне Придонской города Воронежа. В результате исследования было выявлено, что почва данного участка является умеренно загрязненной, что подтверждается наличием в ней небольшого количества карбонат-ионов, сульфат-ионов, катионов железа (III). Определяя pH почвенного образца, индикатор показал желто-коричневую окраску, которая указывала на кислую почву исследуемого образца. По механическому составу почва изучаемого участка суглинистая, плодородная, но довольно быстро уплотняется, поэтому требует периодического рыхления.

Ключевые слова: кислотность почвы, карбонат-ионы, сульфат-ионы, катионы железа, механический состав почвы.

Актуальность. Почва – это важнейшее богатство для человечества. Часто отрицательная деятельность человека приводит к устойчивому развитию процессов деградации почвы, снижению ее плодородия и загрязнению. Охрана почв от загрязнений является важной задачей человека, так как любые вредные соединения, находящиеся в почве, рано или поздно попадают в организм человека [1, с. 240; 3, с. 56]. Рассматривая данную проблему, нам стало интересно изучить экологическое состояние почвы пришкольного участка в микрорайоне Придонской города Воронежа, так как в данном районе недалеко от школы располагаются два крупных завода и несколько малых предприятий.

Цель нашего исследования – изучение экологического состояния почвенного образца, взятого с пришкольного участка в микрорайоне Придонской города Воронежа.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования был взят образец почвы с пришкольного участка в микрорайоне Придонской города Воронежа, расположенном на левом берегу реки Дон. Работа проводилась в период с сентября по октябрь 2019 года. Для определения экологического состояния почвы мы воспользовались следующими методами исследования [2, с. 120; 3, с. 73; 4, с. 53]:

1. *Исследование кислотности почвы.* В пробирку с почвой (3–4 г) добавляли 4–5 мл раствора хлорида калия (KCl), смесь взбалтывали в течение 3–4 минут и давали время отстояться. Затем брали 1 мл полученного раствора и помещали в фарфоровую чашку, после чего опускали индикаторную бумагу в полученный раствор и, пользуясь эталонной шкалой значения pH, определяли кислотность почвы.

2. *Определение относительного количества карбонат-ионов* (CO_3^{2-}) *в почве.* Небольшое количество почвы помещали в фарфоровую чашку, затем приливали несколько капель 10 %-го раствора соляной кислоты (HCI). Образующийся во время реакции оксид углерода (CO_2) выделялся в виде пузырьков. По интенсивности их выделения судили о содержании карбонатов в почве $2H^+ + CO_3^{2-} = CO_2 + H_2O$.

3. *Определение наличия сульфат-ионов* (SO_4^{2-}) *в почве.* К 5 мл почвенного фильтрата добавили несколько капель концентрированной соляной кислоты (HCI) и 2–3 мл 20 %-го раствора хлорида бария ($BaCl_2$). Помутнение раствора указывает на содержание в почве сульфатов $SO_4^{2-} + Ba^{2+} = BaSO_4\downarrow$.

4. *Определение содержания катионов железа* (III) *в почве.* В пробирку с 3 мл почвенной вытяжки добавляли несколько капель 10 %-го раствора роданида калия (KSCN). Если вытяжка окрашивается в красный цвет, это свидетельствует о наличии в почве соединений железа (III). По интенсивности окрашивания можно судить о его количестве $FeCl_3 + 3\ KCNS = Fe(CNS)_3 + 3\ KCl$.

5. *Определение механического состава почвы.* Механический состав почвенного образца определяли по состоянию как влажного, так и сухого образца и собственным ощущениям при его растирании.

Результаты и их обсуждение. При определении pH почвенного образца отмечали желтовато-коричневый цвет индикатора, что указывает на кислую почву пришкольного участка (pH = 4,7).

При определении карбонат-ионов (CO_3^{2-}) мы добавляли соляную кислоту к почвенному фильтрату и наблюдали слабо видимое вскипание, что дает нам возможность охарактеризовать данный образец почвы как слабокарбонатный (0,1–2,0 %).

Определяя наличие сульфат-ионов (SO_4^{2-}), мы приливали раствор соляной кислоты (HCI) и раствор хлорида бария ($BaCl_2$) к раствору почвенной вытяжки, при этом наблюдали выпадение осадка в виде сульфата бария ($BaSO_4$), что доказывает наличие в исследуемом образце сульфат-ионов.

Определяя содержание катионов железа (III) в исследуемом образце, к почвенной вытяжке приливали роданид калия (KSCN) и наблюдали ее слабое окрашивание в красный цвет, что свидетельствует о наличии в почве соединений железа (III).

Исследуя механический состав высушенного образца почвы, мы выявили, что почва состоит из комочков округлой формы, которые разрушались с небольшим усилием, также в почве содержалась значительная примесь песка и около 20–30 % глинистых частичек. Таким образом, исследуемый нами состав почвы указывает нам на легкий суглинок.

Заключение. По результатам проведенного нами исследования можно сделать вывод о том, что почва пришкольного участка является умеренно загрязненной, так как в исследуемом образце почвы было установлено наличие карбонат-ионов (CO_3^{2-}), сульфат-ионов (SO_4^{2-}), а также небольшое количество катионов железа (III). Почва изучаемого участка суглинистая, плодородная, но при этом требует периодического рыхления, так как быстро уплотняется.

Библиографический список

1. Герасимов И. П. Основы почвоведения и география почв : учеб. для геогр. фак. ун-тов. М. : Географгиз, 1960. 490 с.

2. Методы экологических исследований : практикум / Е. С. Иванов, Н. В. Авдеева, Т. В. Кременецкая, Г. В. Золотов. Рязань : Ряз. гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2011. 404 с.

3. Прокашев А. М. Руководство по полевой диагностике и геоэкологической оценке почв Кировской области : учеб. пособие. Киров : ВятГУ, 2018. 118 с.

4. Куницын А. С., Гладышева О. В. Оценка экологического состояния почв города Тамбова // Высокие технологии и инновации в науке : сб. избр. ст. Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, январь 2020). СПб. : ГНИИ «Нацразвитие», 2020. С. 50–54.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Особенности изучения моделирования в биологии студентами естественно-научного профиля

Ю. Н. Баширова
кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ИФиМПИФ
Оренбургский государственный педагогический университет, Оренбург, Российская Федерация
Julia1252@yandex.ru

Аннотация. Тема исследования обусловлена тем, что, с одной стороны, имеется потребность в изучении моделирования биологических процессов студентами естественно-научного профиля, а с другой – ввиду междисциплинарности изучаемого материала он преподается студентам разрозненно, не создается целостная картина. В статье представлен обзор наиболее популярных учебников для высших учебных заведений по курсу «Информатика», а также охарактеризованы виды программного обеспечения в области моделирования. Материалы данной статьи направлены на изучение моделирования в вузах на естественно-научных направлениях и на включение в подготовку практикумов по моделированию. Научная новизна заключается в обосновании углубленного изучения раздела моделирования в высших учебных заведениях у студентов естественно-научного профиля и в разработке методических рекомендаций по проведению занятий. В результате определено, что междисциплинарность и системный подход способствуют овладению студентами знаниями и навыками естественно-научного профиля в области моделирования.

Ключевые слова: модель, моделирование, моделирование в биологии, моделирование биологических процессов, изучение моделирования в вузе.

Введение. Основанием для исследования послужил анализ публикаций Т. Н. Горностаевой [1], М. В. Казанцева [5], Е. В. Кривоплясовой [6], Б. Е. Стариченко [10] и учебников информатики для высших учебных заведений под редакцией С. В. Симоновича [3], Н. В. Макаровой [4], Л. А. Малининой [8] и других, в которых рассматривается преподавание основ моделирования.

Анализ научно-педагогической литературы показал, что моделирование – это один из методов человеческого познания. Оно призвано решать такие задачи, как построение моделей реально существующих объектов (предметов, явлений, процессов); замена реального объекта его подходящей копией – имитация; исследование объектов познания на их моделях [8].

Процесс моделирования, наоборот, является более сложным для восприятия, однако представляет большой практический и научный интерес в тех сферах, в которых процессы сильно растянуты во времени. В таких случаях на по-

мощь приходят информационные технологии, применяемые на уроках и во внеурочной деятельности. Моделирование процессов активно используется в биологии, медицине, химии и физике и других областях наук. Наиболее популярным примером моделирования биологических процессов является модель Лотки – Вольтерра, которая позволяет спрогнозировать рост или снижение численности хищников при заданных начальных значениях в течение заданного промежутка времени. Процесс такого моделирования позволяет изменять начальные условия в природных или заповедных условиях и, с определенной долей вероятности, получать запланированный исход в популяциях. Математическое описание процессов позволяет придать им форму, абстрагироваться и провести необходимые расчеты. Такие модели наглядно иллюстрируют процесс и позволяют придать ему форму. В химии процессы не так растянуты во времени, как биологические, но их реальное проведение порой бывает небезопасным и дорогостоящим. Например, гораздо дешевле организовать в кабинете химии виртуальную лабораторию для учеников, чем выдержать все требования по технике безопасности в реальной лаборатории, в которой специальным образом должны быть оборудованы рабочие места. Использование реактивов также представляет опасность, да и содержать еще одну штатную единицу в виде лаборанта образовательному учреждению экономически невыгодно. Особый интерес такие виртуальные лаборатории представляют при изучении химии в малокомплектных и сельских школах.

Методы исследования. Использование любого методологического подхода во многом детерминируется стратегией более общей методологии, которая лежит в его основе. Такой стратегией для моделирования является системный подход, который конкретизирует принципы самой универсальной методологии – диалектического материализма – и потому является основой для более частных методов познания. Поэтому неслучайно некоторые авторы рассматривают моделирование как разновидность системного подхода. Методология системного подхода, лежащая в основе моделирования, предопределяет не только содержательную стратегию этого общенаучного подхода, но и условия, в кото-

рых он может оказать максимальный эффект при его использовании как в области науки, так и в области образования. Таким важнейшим условием является системность его применения.

Результаты исследования и их обсуждения. В настоящее время в школьном курсе информатики основы моделирования рассматриваются всеми авторами учебно-методических комплексов, рекомендованных к использованию [6], однако наиболее полно эти понятия раскрываются во внеурочной деятельности с помощью сред программирования, двумерной графики и 3D-моделирования. Результатом такой деятельности может быть выполнение и защита проектной работы с обязательной ее рефлексией [6].

С учетом того что в разных школах информатика преподается по-разному (это зависит от выбора учебника, наличия внеурочной деятельности, подготовленности учителя, количества часов, выделяемых на изучение информатики), поступающие в вузы абитуриенты имеют абсолютно разную подготовку по курсу информатики, в том числе и в области моделирования. В связи с этим началу моделирования биологических процессов должен предшествовать теоретический курс по моделированию, являющийся базой для дальнейших исследований. Это возможно реализовать, изучая такие дисциплины, как «информатика», «информационные технологии», «информационные технологии в профессиональной деятельности» и другие, на уровне бакалавриата, в магистратуре, а также аспирантуре.

Первая программа, на которой хотелось бы остановиться, называется RasMol V2.7.5 Molecular Visualisation Program (рис. 1). Она предназначена для изучения физических моделей молекул путем их визуализации и будет интересна как биологам, так и химикам. Программа удобна тем, что предоставляется разработчиками для использования под управлением любой операционной системы абсолютно бесплатно и не требует установки. Программа предназначена для наглядного изображения пространственных структур биологических макромолекул, в первую очередь белков и нуклеиновых кислот. Она позволяет не только демонстрировать модели, но и выделять группы атомов. Для загрузки

любых белковых молекул, чтобы их затем открыть в программе RasMol, необходимо зайти на сайт всемирного банка данных белка https://www.rcsb.org/. Через поиск находится нужная молекула белка, и открывается ее страница, на которой есть вся информация о ней и возможность сохранить ее структуру на компьютере с помощью программы RasMol.

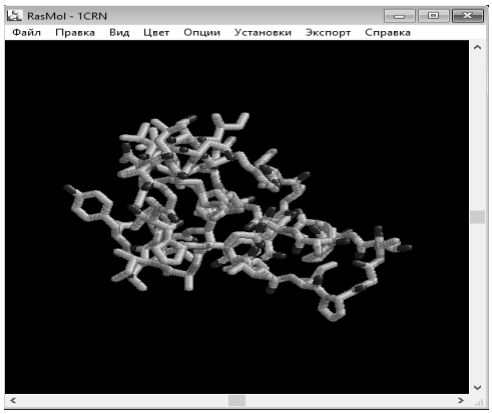


Рис. 1. RasMol V2.7.5 Molecular Visualisation Program

Программа JSmol (рис. 2) имеет схожее назначение, но более расширенный потенциал и отличающийся интерфейс.

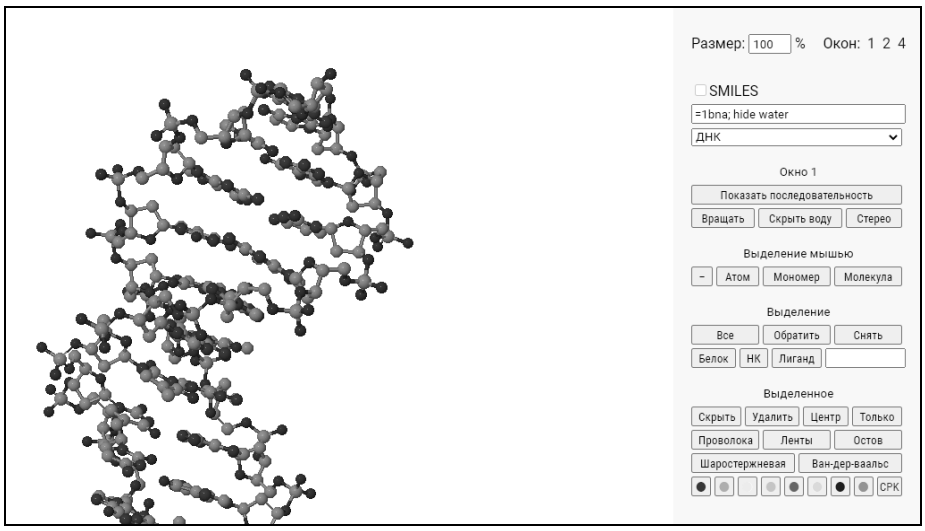


Рис. 2. Программа JSmol

Проблема также заключается в том, что доступных во всех отношениях программ не так много. Большинство из них настроено на глубокое изучение процессов, предполагает знание языков программирования на хорошем уровне, наличие хорошо сформированного понятийного аппарата в области математики

и глубокие знания английского языка, так как программного обеспечения, адаптированного под начинающих исследователей, практически нет.

В отличие от физического моделирования, доступных программ для моделирования биологических процессов достаточно мало. Чаще всего программы пишут сами исследователи, но для этого требуется знание основ программирования и формальных языков. Например, М. В. Казанцевым для моделирования и визуализации моделей некоторых биологических процессов был разработан ряд программных продуктов [5]. Они предназначены, например, для изучения динамики концентрации изучаемых генных комплексов. Shiny представляет собой программный пакет на языке программирования R. Он позволяет создавать собственные интерактивные web-приложения. Как заявляют разработчики, специальные навыки для работы с этим приложением не требуются. Это свободно распространяемый, то есть финансово доступный программный ресурс.

Студентам биологических специальностей на первых порах овладеть таким объемом знаний в совершенно новой отрасли будет достаточно трудно. Поэтому для изучения основ моделирования лучше пользоваться готовыми программными продуктами. В своей работе М. В. Казанцев предлагает воспользоваться ссылкой на свою программу, которой можно воспользоваться по ссылке: https://maxim-kazantsev.shinyapps.io/AS-C/ [5]. Данное приложение позволяет смоделировать изменение концентрации белков при разных исходных данных, которые пользователь может менять и сразу видеть результат (рис. 3).

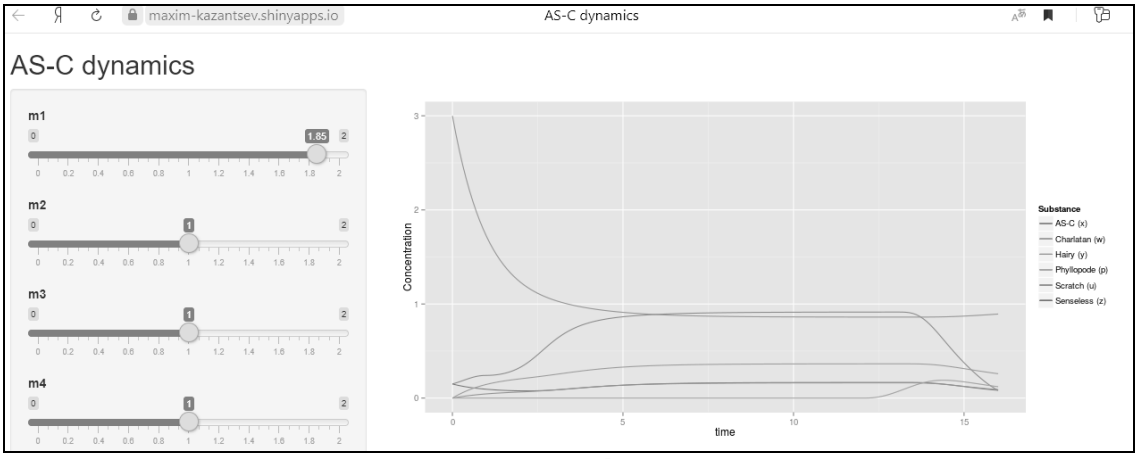


Рис. 3. AS-C dynamics

Другой группой программ, позволяющих осуществлять моделирование на компьютере, являются широко распространенные многозадачные программы, такие как, например, MS Excel. Эта программа, позволяющая не только вводить формулы, производить расчеты, но и визуализировать полученные результаты с помощью диаграмм и графиков, доступна любому пользователю и имеет расширенный функционал. Она представляет удобный и доступный инструмент для изучения способов построения моделей на практике и позволяет моделировать многие биологические процессы и наглядно их демонстрировать (рис. 4).

Коэффициэнты и начальные значения		Годы	Модель неограниченного роста	Модель ограниченного роста	Модель ограниченного роста с отловом	Модель "Хищник-жертва"
численность популяции жертв x1	1	0	1	1	1	1
Коэффициент роста a	1,2	1	1,20	1,17	1,07	0,92
Коэффициент перенаселенности b	0,03	2	1,44	1,36	1,15	0,84
величина ежегодного отлова c	0,1	3	1,73	1,58	1,24	0,76
возможность гибели жертвы f	0,2	4	2,07	1,82	1,34	0,68
численность популяции хищников y1	0,75	5	2,49	2,09	1,46	0,60
		6	2,99	2,37	1,58	0,52
			3,58	2,68	1,73	0,44
			4,30	3,00	1,88	0,36
			5,16	3,33	2,05	0,27
			6,19	3,66	2,24	0,18

Рис. 4. MS Excel

Таким образом, мы видим, что будущие биологи при изучении моделирования биологических объектов и процессов сталкиваются с такими проблемами, как слабое наполнение теоретическим и практическим материалом по данной проблематике учебников по информатике, недостаточность специальных прикладных программ, адаптированных под потребности биологов, необходимость в изучении языков программирования.

Вывод. Таким образом, результат данной проблемы показал, что сначала студенты знакомятся с теоретическим материалом по моделированию на занятиях по информатике. Конечно, для его успешного освоения на данном этапе у студентов уже должен быть сформирован четкий математический понятийный аппарат. Это может быть достигнуто только в тесной взаимосвязи с педагогами математических дисциплин. Курс лекций по моделированию должен быть,

с одной стороны, теоретически четко отстроен, а с другой – максимально приближен к естественно-научной тематике, насыщен примерами. Это возможно реализовать на занятиях по предмету, который входит в базовый компонент, например «Информатика», «Информационные технологии». Далее на практических занятиях по курсу они знакомятся с прикладными программами широкого назначения, например MS Excel. Для понимания основ моделирования в предмете этого будет достаточно, а вот для исследований в области биологии необходимо более глубокое изучение способов моделирования биологических процессов с помощью специальных прикладных программ, разработанных для конкретных задач на занятиях по биоинформатике, информационным технологиям в биологии и других.

Библиографический список

1. Горностаева Т. Н., Горностаев О.М. Компьютерное моделирование в школьном и вузовском курсе информатики // Мир науки. Педагогика и психология. 2019. № 6. Т. 7. URL: https://mir-nauki.com/PDF/84PDMN619.pdf (дата обращения: 01.10.2020).
2. Грошев А. С. Информатика : учеб. для вузов. Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2010. 484 с.
3. Информатика. Базовый курс. 2-е издание / под ред. С. В. Симоновича. СПб. : Питер, 2005. 640 с: ил.
4. Информатика: учебник. 3-е перераб. изд. / под ред. Н. В. Макаровой. М. : Финансы и статистика, 2005. 768 с.: ил.
5. Казанцев М. В. Программное обеспечение для моделирования ранних стадий некоторых биологических процессов // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2016. Т. 14. № 3. С. 25–33.
6. Кривоплясова Е., Нефедова В., Прилепина А. Реализация моделирования во внеурочной деятельности школьника // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 5–6. С. 444–448.
7. Могилев А. В., Пак Н. И., Хеннер Е. К. Информатика : учеб. пособие для студ. пед. вузов. 2-е изд., стер. М. : Изд. центр «Академия», 2001. 816 с.
8. Основы информатики : учеб. для ВУЗов / под ред. Л. А. Малининой. Ростов н/Д. : Феникс, 2006. 352 с.
9. Ризниченко Г. Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии : учеб. пособие для вузов 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2020. 181 с. (Высшее образование). URL: https://www.urait.ru/bcode/451558 (дата обращения: 01.10.2020).
10. Стариченко Б. Е. Теоретические основы информатики : учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Горячая линия – Телеком, 2016. 401 с. URL: https://rucont.ru/efd/366335 (дата обращения: 01.10.2020).
11. Степанов А. Н. Информатика : учеб. для вузов. 6-е изд. СПб. : Питер, 2010. 720 с.: ил.

Сокращение времени и повышение точности при глубоком машинном обучении путем модификации среды оптимизации гиперпараметров

И. С. Канищев
аспирант кафедры электронных вычислительных машин, группа ИВТа-4301-02-00
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: stud101059@vyatsu.ru

Аннотация. На производительность алгоритмов машинного обучения в значительной степени влияет правильная оптимизация гиперпараметров. Один из способов выполнить оптимизацию – ручной поиск, но это требует больших временных затрат. В настоящее время достаточно распространены следующие методы оптимизации гиперпараметров: поиск по сетке, оптимизация на основе градиента, случайный поиск и байесовская оптимизация с использованием Hyperopt. Основной целью данной работы является внедрение новых критериев проектирования алгоритмов для оптимизации гиперпараметров. Предлагаемый подход, помимо байесовских алгоритмов, включает в себя также прунинг пространства гиперпараметров, то есть удаление плохих точек из рассмотрения. В результате проведенных исследований было показано, что предлагаемое решение на реальных данных превосходит существующие как в скорости, так и в точности.

Ключевые слова: оптимизация гиперпараметров, байесовская оптимизация, прунинг пространства, глубокое машинное обучение.

Введение. Поиск гиперпараметров – одна из громоздких задач в проектах по машинному обучению. Сложность глубокого обучения растет, и структура эффективной автоматической настройки гиперпараметров пользуется большим спросом, чем когда-либо. Программы оптимизации гиперпараметров, такие как Hyperopt [1], Spearmin [2], SMAC [3], Autotune [4] и Vizier [5], были разработаны для удовлетворения этой потребности. Выбор алгоритмов подбора параметров варьируется в зависимости от платформы. Spearmint и GPyOpt используют гауссовские процессы, а Hyperopt использует древовидную структуру оценки Парзена (TPE) [6]. Hutter et al. предложил SMAC, который использует случайный лес. Последние разработки, такие как Google Vizier [5], Katib и Tune [7], также поддерживают алгоритмы отсечения, которые отслеживают промежуточный результат каждого испытания и преждевременно прерывают бесперспективные испытания, чтобы ускорить исследование.

Еще один способ ускорить процесс оптимизации – использовать распределенные вычисления, которые позволяют выполнять параллельную обработку нескольких испытаний. Katib построен на Kubeflow, вычислительной платфор-

ме для сервисов машинного обучения, основанной на Kubernetes. Tune также поддерживает параллельную оптимизацию и использует платформу распределенных вычислений Ray [8].

Однако есть несколько серьезных проблем, которые игнорируются во многих из этих существующих структур оптимизации.

Во-первых, все предыдущие структуры оптимизации гиперпараметров на сегодняшний день требуют от пользователя статического построения области поиска параметров для каждой модели, и пространство поиска может быть чрезвычайно сложно описать в этих рамках для крупномасштабных экспериментов, которые включают огромное количество моделей-кандидатов различных типов с большими пространствами параметров и множеством условных переменных. Когда пространство параметров неправильно описано пользователем, применение расширенного метода оптимизации может быть напрасным. Во-вторых, многие существующие фреймворки не поддерживают эффективную стратегию отсечения, когда на самом деле для высокопроизводительной оптимизации важны как стратегия поиска параметров, так и стратегия оценки производительности при ограниченной доступности ресурсов [5].

Чтобы справиться с этими трудностями, предлагаются следующие решения по модификации среды оптимизации гиперпараметров:

– динамическое создание пространства для поиска гиперпараметров;

– создание эффективного алгоритма прунинга (отсечения), который допускает настройку пользователя;

– универсальная архитектура для задач различного типа.

Методы исследования. Для анализа данных использована выборка по кредитным договорам клиентов банка, содержащая 213 201 запись о кредитных заявках, включающая положительные решения и отказы в предоставлении кредита. Общее количество признаков данных – 71. Данные представлены за период с января 2014-го по апрель 2020 года.

Пусть дано пространство гиперпараметров $\lambda = \lambda_1 \times ... \times \lambda_i$, где λ_i – пространство i -го параметра. Входные данные D.

Необходимо найти:

$$\alpha^* = argmin_{\alpha \in \lambda} E_{(D_{train}, D_{valid}) \sim D} L(M_\alpha, D_{train}, D_{valid}),$$

где L – функция потерь модели M_α, обученной при гиперепараметрах α на D_{train}, и проведена валидация на D_{valid}. В байесовской оптимизации используются вероятностные критерии.

В качестве основного инструмента использовался фреймворк для оптимизации гиперпараметров Optuna [9]. Для сравнения результатов в качестве базового решения использовался фреймворк hyperopt.

Optuna автоматически находит оптимальные значения гиперпараметров, используя различные семплеры, такие как поиск по сетке, случайные, байесовские и эволюционные алгоритмы.

В табл. 1 приведено пространство поиска для используемых моделей.

Таблица 1

Пространство поиска гиперпараметров

Классификатор	Пространство поиска
RandomForest	n_estimators ∈ (100, 1000),max_features ∈ (2, 8)
XGBoost	n_estimators ∈ (20, 500), gamma ∈ (0,1, 0,5), colsample_bytree ∈ (0,3, 1), max_depth ∈ (2, 8)
LightGBM	n_estimators ∈ (20, 500), num_leaves ∈ (8, 128), colsample_bytree ∈ (0,3, 1), max_depth ∈ (2, 8)
CatBoost	iterations ∈ (100, 1000)

Результаты исследований, их обсуждение. Как видно, почти оба оптимизатора приходят в одну и ту же точку, в которой accuracy на валидации является максимальным. При этом лучшее время показывает optuna: он более чем в два раза быстрее, чем hyperopt, несмотря на то, что в обоих случаях используются парзеновские деревья (TPE) и Expected improvement (EI).

Как видно из табл. 2, hyperopt сильно проигрывает optuna по времени. TPE в hyperopt больше «разведывает» неизвестную область пространства, в связи с чем чаще «натыкается» на неизвестные ранее точки, следовательно, тратит больше времени на обучение.

Таблица 2

Результаты работы фреймворков

Фреймворк	Модель	Время выполнения	Test accuracy
Optuna	RandomForest	2:15:09	0,869
	XGBoost	2:22:22	0,850
	LightGBM	0:13:31	0,854
	CatBoost	1:02:54	0,847
Hyperopt	RandomForest	3:44:07	0.870
	XGBoost	4:22:05	0.808
	LightGBM	0:25:20	0.810
	CatBoost	5:48:26	0.822

На рис. 1 показаны результаты всех испытаний, а также лучший результат оптимизации на 100 итерациях.

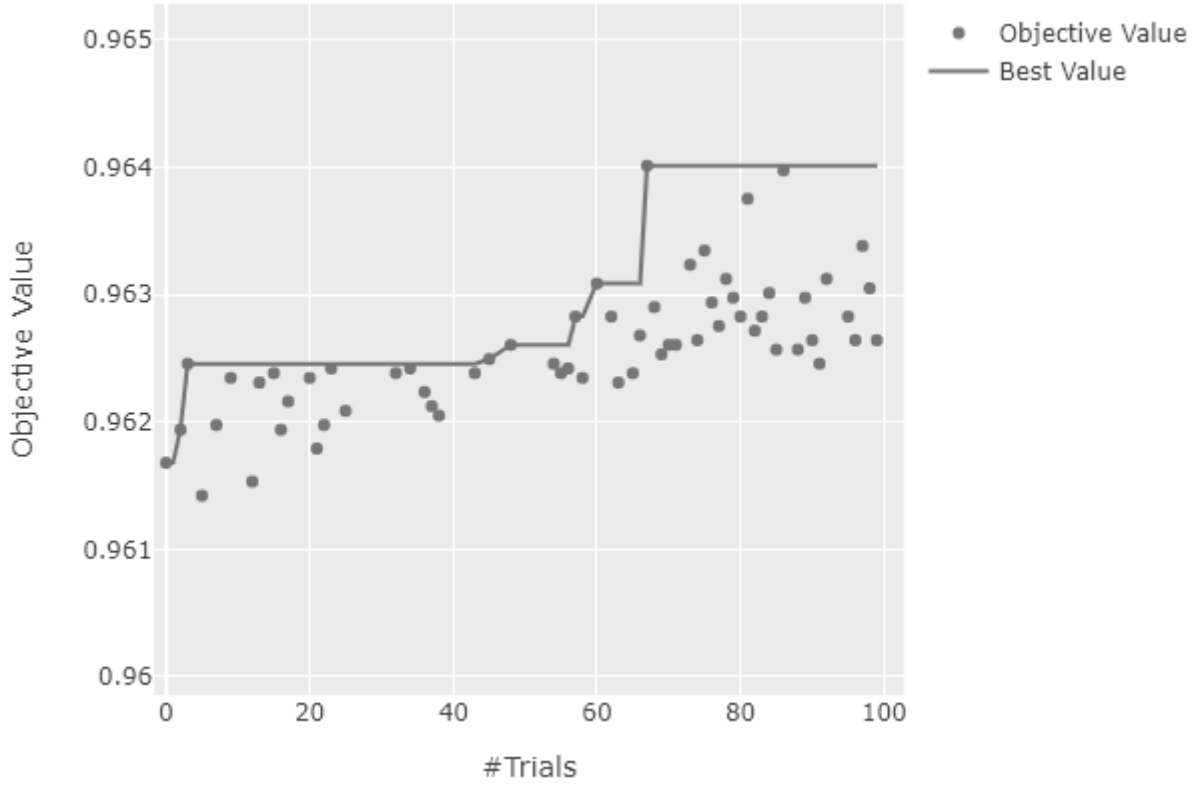


Рис. 1. Поиск оптимального пути

На рис. 2 показан эволюционный процесс поиска решения. Также можно увидеть, где в пространстве гиперпараметров прошел поиск и какие части пространства были исследованы в большей степени.

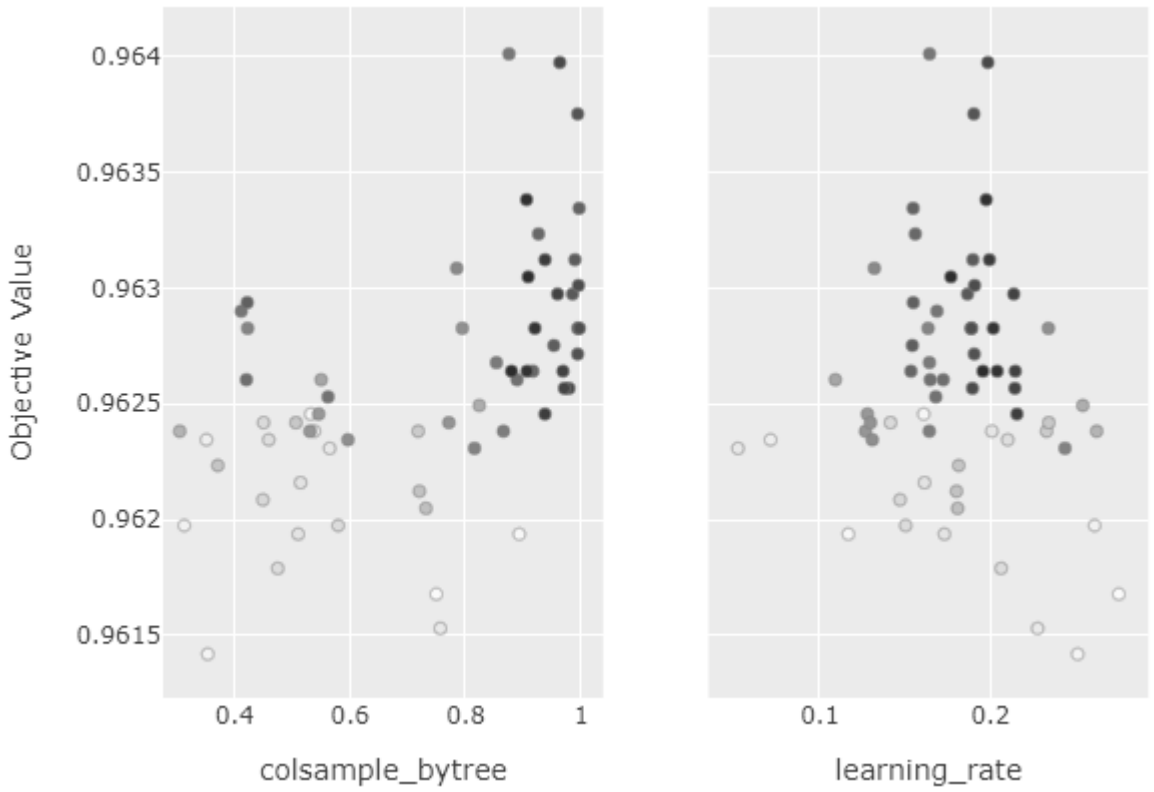


Рис. 2. Распределенное признаковое пространство

Выводы. Проведенное исследование показало, что предлагаемые решения для среды оптимизации гиперпараметров благоприятно влияют на производительность работы фреймворков, что позволяет сократить время работы, увеличить точность и повысить потенциал применения для глубоких моделей машинного обучения.

Библиографический список

1. Bergstra J., Komer K., Eliasmith C., Yamins D., Cox D. Hyperopt: a Python library for model selection, hyperparameter optimization. 2015 // Computational Science & Discovery 8, 1 (2015), 14008. URL: 10.1088/1749-4699/8/1/014008.

2. Snoek J., Larochelle H., Adams R. Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms. 2012 // NIPS. 2951–2959. URL: arXiv:1206.2944v2.

3. Hutter F., Hoos H.,, Leyton-Brown K. Sequential Model-based Optimization for General Algorithm Configuration. 2011 // LION. 507–523. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-25566-3_40.

4. Koch P., Golovidov O., Gardner S., Wujek B., Griffin J.,, Xu Y. Autotune: A Derivative-free Optimization Framework for Hyperparameter Tuning. 2018 // KDD. 443–452. URL: https://doi.org/10.1145/3219819.3219837.

5. Golovin D., Solnik B., Moitra S., Kochanski G., Karro J.,, Sculley D. Google Vizier: A Service for Black-Box Optimization. 2017 // KDD. 1487–1495. URL: https://doi.org/10.1145/3097983.3098043.

6. Bergstra J., Bardenet R., Bengio Y., Kegl B. Algorithms for Hyper-parameter Optimization. 2011 // NIPS. 2546–2554. URL: arXiv:1809.00778v1.

7. Liaw R., Liang E., Nishihara R., Moritz P., E. Gonzalez J., Stoica I. Tune: A Research Platform for Distributed Model Selection, Training. 2018 // ICML Workshop on AutoML. URL: arXiv:1807.05118v1.

8. Moritz P., Nishihara R., Wang S., Tumanov A., Liaw R., Liang E., Paul W., Michael I. Jordan M., Stoica I. Ray: A Distributed Framework for Emerging AI Applications. 2017 // CoRR. URL: arXiv:1712.05889.

9. Akiba T., Sano S., Yanase T., Ohta T., Koyama M. Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework KDD '19: Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining July 2019. P. 2623–2631. URL: https://doi.org/10.1145/3292500.3330701.

О взаимосвязи различных разделов высшей математики при ее преподавании

С. В. Костин
старший преподаватель кафедры высшей математики
МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, Российская Федерация
E-mail: kostinsv77@mail.ru

Аннотация. Цель данной статьи – показать глубокую внутреннюю взаимосвязь, существующую между различными разделами высшей математики. Мы рассматриваем задачу о нахождении площади обобщенного эллипса с показателем $1/2$. Данная задача, наряду с достаточно традиционными решениями, основанными на использовании тех или иных разделов интегрального исчисления (определенный интеграл, криволинейный интеграл, двойной интеграл), допускает очень красивое и очень неожиданное решение, основанное на использовании аффинных преобразований. Это решение показывает глубокую внутреннюю взаимосвязь, существующую между различными разделами высшей математики, в частности между анализом и геометрией. Материалы данной статьи, по нашему мнению, могут быть использованы в работе студенческих математических кружков, а также при подготовке студентов к студенческим математическим олимпиадам.

Ключевые слова: эллипс, обобщенный эллипс, площадь фигуры, аффинные преобразования, теорема Архимеда.

§ 1. Введение. Каждый человек, который достаточно долго преподает высшую математику, наверняка сталкивался с ситуацией, когда стандартная на первый взгляд задача при более пристальном рассмотрении оказывается настоящим бриллиантом, допускающим сразу несколько очень интересных и необычных решений. Одна такая задача недавно встретилась автору данной статьи при занятиях со студентами Российского технологического университета МИРЭА (РТУ МИРЭА). Задача вызвала большой интерес студентов, и, после некоторых колебаний и сомнений, было решено посвятить этой задаче отдельную статью.

В задаче речь идет о нахождении площади плоской фигуры

$$Y = \left\{ (x,\ y) \in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ \sqrt{|x|} + \sqrt{|y|} < 1 \right\}. \tag{1}$$

Границей фигуры Y является кривая

$$\Gamma = \left\{ (x,\ y) \in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ \sqrt{|x|} + \sqrt{|y|} = 1 \right\}, \tag{2}$$

которая является частным случаем кривой

$$L_\mu(a,b) = \left\{ (x,\ y) \in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ \left(\frac{|x|}{a}\right)^\mu + \left(\frac{|y|}{b}\right)^\mu = 1 \right\} \tag{3}$$

(здесь a, b и μ – произвольные положительные числа).

Кривая $L_\mu(a,\ b)$ называется *обобщенным эллипсом* с показателем μ и с полуосями a и b. Также эту кривую иногда называют *кривой Ламе* (см., например, [5, с. 127]) в честь французского математика, механика и инженера Габриеля Ламе. Кстати, Габриель Ламе достаточно долго (с 1820 по 1831 год) жил и работал в России.

Кривая $L_\mu(a,\ b)$ является замкнутой кривой, проходящей через точки $A_1 = (a,\ 0)$, $A_2 = (-a,\ 0)$, $B_1 = (0,\ b)$, $B_2 = (0,\ -b)$. Что касается формы кривой $L_\mu(a,\ b)$, то она существенным образом зависит от значения параметра μ.

Случай 1. Если $\mu = 1$, то кривая $L_\mu(a,\ b)$ представляет собой ромб. Точки A_1, A_2, B_1, B_2 являются точками излома кривой $L_\mu(a,\ b)$.

Случай 2. Если $\mu > 1$, то кривая $L_\mu(a,\ b)$ представляет собой гладкую кривую. Точки A_1, A_2, B_1, B_2 являются вершинами кривой $L_\mu(a,\ b)$. В частности, при $\mu = 2$ кривая $L_\mu(a,\ b)$ представляет собой эллипс с полуосями a и b.

Случай 3. Если $0 < \mu < 1$, то кривая $L_\mu(a,\ b)$ представляет собой кусочно-гладкую кривую. Точки A_1, A_2, B_1, B_2 являются точками возврата кривой $L_\mu(a,\ b)$. В частности, при $a = b$ и $\mu = 2/3$ кривая $L_\mu(a,\ b)$ представляет собой астроиду.

Интересующую нас плоскую фигуру Y ограничивает кривая

$$\Gamma = L_{1/2}(1,\ 1). \tag{4}$$

Поскольку фигура Y симметрична относительно осей Ox и Oy, то

$$S(Y) = 4S(Y_1), \tag{5}$$

где Y_1 – часть фигуры Y, которая расположена в первой четверти:

$$Y_1 = \left\{ (x,\ y) \in \boldsymbol{R^2} \;\middle|\; x > 0,\ y > 0,\ \sqrt{x} + \sqrt{y} < 1 \right\}. \tag{6}$$

Ниже мы изложим четыре решения задачи о нахождении площади фигуры Y. Если первые три из этих решений достаточно традиционны, то четвертое

решение очень необычно. По нашему мнению, четвертое решение, в котором используются аффинные преобразования (кто бы мог подумать!), показывает глубочайшую внутреннюю взаимосвязь различных разделов математики. Собственно, именно из-за этого четвертого решения и была написана данная статья… Отметим, что данную статью можно рассматривать как продолжение статей автора [1–3].

§ 2. Первое решение (с помощью определенного интеграла). Фигура Y_1 ограничена прямыми $x=0,\ y=0$ и кривой

$$\Gamma_1 = \left\{ (x,\ y) \in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ x \ge 0,\ y \ge 0,\ \sqrt{x}+\sqrt{y}=1 \right\}. \tag{7}$$

Из уравнения кривой Γ_1 можно в явном виде выразить переменную y через переменную x:

$$\sqrt{x}+\sqrt{y}=1 \ \Rightarrow\ \sqrt{y}=1-\sqrt{x} \ \Rightarrow\ y=(1-\sqrt{x})^2=1-2\sqrt{x}+x. \tag{8}$$

Теперь площадь фигуры Y_1 можно найти с помощью определенного интеграла:

$$S(Y_1)=\int_0^1 (1-2\sqrt{x}+x)\,dx=\left(x-\frac{4}{3}x^{3/2}+\frac{1}{2}x^2 \right)\Big|_0^1 = 1-\frac{4}{3}+\frac{1}{2}=\frac{1}{6}. \tag{9}$$

Окончательно получаем:

$$S(Y)=4S(Y_1)=4\cdot\frac{1}{6}=\frac{2}{3}. \tag{10}$$

§ 3. Второе решение (с помощью криволинейного интеграла). Площадь фигуры Y_1 можно найти с помощью криволинейного интеграла второго рода:

$$S(Y_1)=\frac{1}{2}\int_C x\,dy - y\,dx. \tag{11}$$

Здесь C – граница области Y_1, ориентированная в положительном направлении (то есть против часовой стрелки).

Кривая C является объединением трех кривых:

а) отрезка оси Ox $(0\le x\le 1,\ y=0)$;

б) отрезка оси Oy $(x=0,\ 0\le y\le 1)$;

в) кривой Γ_1 (см. формулу (6)).

Криволинейный интеграл (11) по любому отрезку, лежащему на оси Ox или на оси Oy, равен нулю. Поэтому мы приходим к следующей формуле:

$$S(Y_1) = \frac{1}{2}\int_{\Gamma_1} x\,dy - y\,dx. \tag{12}$$

Параметризуем кривую Γ_1:

$$\Gamma_1 = \left\{ x = \cos^4 t,\ y = \sin^4 t;\ \ t \in \left[0,\ \frac{\pi}{2}\right];\ \ t \uparrow \right\}. \tag{13}$$

(здесь символ $t\uparrow$ показывает, что кривая Γ_1 ориентирована в направлении возрастания параметра t).

Используя формулы (12) и (13), получаем:

$$S(Y_1) = \frac{1}{2}\int_0^{\pi/2} \left(\cos^4 t \cdot 4\sin^3 t \cos t - \sin^4 t \cdot 4\cos^3 t(-\sin t) \right) dt =$$

$$= 2\int_0^{\pi/2} \cos^3 t \sin^3 t\,(\cos^2 t + \sin^2 t)\,dt = 2\int_0^{\pi/2} \cos^3 t \sin^3 t\,dt =$$

$$= 2\int_0^{\pi/2} (1-\sin^2 t)\sin^3 t\,d(\sin t) = 2\left(\frac{\sin^4 t}{4} - \frac{\sin^6 t}{6} \right)\Bigg|_0^{\pi/2} = 2\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{6}\right) = \frac{1}{6}. \tag{14}$$

Окончательно получаем:

$$S(Y) = 4S(Y_1) = 4 \cdot \frac{1}{6} = \frac{2}{3}. \tag{15}$$

§ 4. Третье решение (с помощью двойного интеграла). Площадь фигуры Y_1 можно найти с помощью двойного интеграла:

$$S(Y_1) = \iint_{Y_1} dx\,dy. \tag{16}$$

Этот двойной интеграл можно находить по-разному.

Если перейти от двойного интеграла к повторному в декартовых координатах (сделав, например, внешний интеграл по переменной x, а внутренний по переменной y), то мы получим решение, близкое к приведенному выше первому решению.

Если в двойном интеграле перейти в обобщенные полярные координаты по формулам $x = r\cos^4\varphi$, $y = r\sin^4\varphi$, то в новых переменных r, φ область интегри-

рования будет представлять собой прямоугольник $0<r<1,\ 0<\varphi<\pi/2$; возникающие в этом случае вычисления близки к приведенному выше второму решению.

Мы пойдем несколько иным путем и перейдем в двойном интеграле (15) в самые обычные (не обобщенные) полярные координаты:

$$S(Y_1)=\iint\limits_{Y_1} dxdy=\left[\begin{matrix}x=r\cos\varphi\\ y=r\sin\varphi\end{matrix}\right]=\iint\limits_{\tilde{Y}_1} rdrd\varphi. \tag{17}$$

Область $\tilde{Y}_1$ изменения полярных координат $(r,\ \varphi)$ взаимно однозначно соответствует области $Y_1=\left\{ (x,\ y)\in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ x>0,\ y>0,\ \sqrt{x}+\sqrt{y}<1 \right\}$ изменения декартовых координат $(x,\ y)$ и равна

$$\tilde{Y}_1=\left\{ (r,\ \varphi)\in \boldsymbol{R^2} \ \middle|\ 0<\varphi<\frac{\pi}{2},\ 0<r<\frac{1}{(\sqrt{\cos\varphi}+\sqrt{\sin\varphi})^2} \right\}. \tag{18}$$

(для того чтобы найти «точку выхода» $r=1/(\sqrt{\cos\varphi}+\sqrt{\sin\varphi})^2$ из фигуры Y_1 по переменной r, надо в уравнении $\sqrt{x}+\sqrt{y}=1$ кривой Γ_1 перейти в полярные координаты $(r,\ \varphi)$ по формулам $x=r\cos\varphi,\ y=r\sin\varphi$).

Переходим от двойного интеграла (17) к повторному, причем внешний интеграл делаем по переменной φ, а внутренний по переменной r:

$$S(Y_1)=\int\limits_0^{\pi/2} d\varphi \int\limits_0^{1/(\sqrt{\cos\varphi}+\sqrt{\sin\varphi})^2} rdr=\frac{1}{2}\int\limits_0^{\pi/2}\frac{d\varphi}{(\sqrt{\cos\varphi}+\sqrt{\sin\varphi})^4}. \tag{19}$$

Последний интеграл на первый взгляд выглядит немного устрашающе, но на самом деле очень сложным не является. Делим числитель и знаменатель на $\cos^2\varphi$, после чего подводим $\cos^{-2}\varphi$ под знак дифференциала и делаем подстановку $\operatorname{tg}\varphi=t$, а затем замену переменной $u=\sqrt{t}$:

$$S(Y_1)=\frac{1}{2}\int\limits_0^{\pi/2}\frac{\dfrac{d\varphi}{\cos^2\varphi}}{\left(\dfrac{\sqrt{\cos\varphi}+\sqrt{\sin\varphi}}{\sqrt{\cos\varphi}}\right)^4}=\frac{1}{2}\int\limits_0^{\pi/2}\frac{d(\operatorname{tg}\varphi)}{(1+\sqrt{\operatorname{tg}\varphi})^4}=\left[\operatorname{tg}\varphi=t\right]=$$

$$=\frac{1}{2}\int\limits_0^{+\infty}\frac{dt}{(1+\sqrt{t})^4}=\left[\begin{matrix}u=\sqrt{t}\\ t=u^2\\ dt=2udu\end{matrix}\right]=\int\limits_0^{+\infty}\frac{du}{(1+u)^4}. \tag{20}$$

Раскладываем подынтегральную функцию на элементарные дроби:

$$\frac{u}{(u+1)^4}=\frac{u+1-1}{(u+1)^4}=\frac{1}{(u+1)^3}-\frac{1}{(u+1)^4}. \tag{21}$$

Теперь интеграл легко находится:

$$S(Y_1)=\left(-\frac{1}{2(u+1)^2}+\frac{1}{3(u+1)^3}\right)\Bigg|_0^{+\infty}=0-\left(-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)=\frac{1}{6}. \tag{22}$$

Окончательно получаем:

$$S(Y)=4S(Y_1)=4\cdot\frac{1}{6}=\frac{2}{3}. \tag{23}$$

§ 5. Четвертое решение (с помощью теоремы Архимеда). Переходим к четвертому и, пожалуй, самому красивому и необычному решению рассматриваемой нами задачи. Рассмотрим более пристально кривую

$$\Gamma_1=\left\{\,(x,\ y)\in\boldsymbol{R^2}\ \middle|\ x\ge 0,\ y\ge 0,\ \sqrt{x}+\sqrt{y}=1\,\right\}. \tag{24}$$

Зададимся следующим вопросом: является ли кривая Γ_1 алгебраической кривой или, может быть, частью некоторой алгебраической кривой?

Напомним, что кривая называется алгебраической кривой степени s, если она может быть задана уравнением вида

$$P(x,\ y)=0, \tag{25}$$

где $P(x,\ y)$ – некоторый многочлен от двух переменных x и y степени s, и не может быть задана уравнением вида (25), в котором многочлен $P(x,\ y)$ имеет степень меньше s.

Произведем следующую цепочку переходов (в этой цепочке каждое следующее равенство является следствием предыдущего):

$$\sqrt{x}+\sqrt{y}=1\ \Rightarrow\ \sqrt{y}=1-\sqrt{x}\ \Rightarrow\ y=(1-\sqrt{x}\,)^2\ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow\ y=1-2\sqrt{x}+x\ \Rightarrow\ 2\sqrt{x}=1+x-y\ \Rightarrow\ 4x=(1+x-y\,)^2\ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow\ x^2-2xy+y^2-2x-2y+1=0. \tag{26}$$

Введем обозначение

$$\Delta=\left\{\,(x,\ y)\in\boldsymbol{R^2}\ \middle|\ x^2-2xy+y^2-2x-2y+1=0\,\right\}. \tag{27}$$

Кривая Δ – это, очевидно, некоторая алгебраическая кривая второго порядка.

Итак, кривая Γ_1 является частью (подмножеством) некоторой алгебраической кривой второго порядка.

Как известно, существуют девять различных типов кривых второго порядка. Но сам вид кривой Γ_1 таков (кривая Γ_1 представляет собой «изогнутую дугу»), что она, естественно, не может быть частью (подмножеством) пустого множества, точки, прямой, пары прямых и т. п. Следовательно, кривая Γ_1 является частью (подмножеством) одной из следующих кривых второго порядка: эллипс, гипербола, парабола.

В этом месте целесообразно остановиться и задать студентам вопрос: частью какой кривой второго порядка, по вашему мнению, является кривая Γ_1?

Опыт показывает, что на этот вопрос можно услышать самые неожиданные ответы, вплоть до того, что кривая Γ_1 является частью (четвертью) окружности радиуса $R=1$ с центром в точке $(1,\ 1)$. И студентов можно понять: кривая Γ_1 действительно по внешнему виду напоминает четверть указанной окружности…

Но все-таки это не четверть окружности хотя бы потому, что кривая Γ_1 пересекает биссектрису первой четверти в точке $\left(\frac{1}{4},\ \frac{1}{4}\right)=(0{,}25;\ 0{,}25)$, а окружность радиуса $R=1$ с центром в точке $(1,\ 1)$ пересекает биссектрису первой четверти в точке $\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}},\ 1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\approx(0{,}293;\ 0{,}293)$.

Тип кривой Δ можно определить, если произвести поворот системы координат на угол 45° против часовой стрелки. В результате указанного поворота член с произведением переменных пропадает и в новой (повернутой) системе координат кривая Δ имеет уравнение вида

$$\left(y'\right)^2=2\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\left(x'-\frac{1}{2\sqrt{2}}\right). \qquad (28)$$

Теперь становится понятно, что кривая Δ – это парабола с вершиной в точке $x' = \frac{1}{2\sqrt{2}}$, $y' = 0$ и параметром $p = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Осью параболы является ось Ox'. Возвращаясь в исходную систему координат, получаем, что кривая Δ – это парабола с вершиной в точке $A = \left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$, осью $L = \{y = x\}$, фокусом в точке $F = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$ и директрисой $D = \{x + y = 0\}$.

Легко проверить также следующий очень важный для дальнейшего изложения факт: прямые $x = 0$ и $y = 0$ касаются параболы Δ в точках (0, 1) и (1, 0) соответственно. Чтобы это доказать, достаточно подставить $x = 0$ ($y = 0$) в уравнение (27) параболы Δ и убедиться, что полученное уравнение относительно y (x) имеет ровно одно решение $y = 1$ ($x = 1$). А прямая, которая не параллельна оси параболы L и имеет с параболой ровно одну общую точку, как известно, является касательной к параболе.

Теперь сформулируем очень важную теорему.

Теорема Архимеда. Если из точки C проведены две касательные к параболе, касающиеся параболы в точках A и B, то площадь криволинейного треугольника $A*BC$ (здесь и далее символом $A*B$ обозначается дуга параболы с концами в точках A и B) ровно в три раза меньше площади обычного («прямолинейного») треугольника ABC.

Доказательство теоремы Архимеда будет приведено в следующем параграфе, а сейчас мы применим теорему Архимеда (а также полученные нами сведения о кривой Γ_1) для решения задачи о нахождении площади фигуры Y.

Из всего сказанного выше следует, что фигура Y_1 представляет собой криволинейный треугольник, ограниченный частью Γ_1 параболы Δ, а также отрезками двух касательных, проведенных из точки $O = (0, 0)$ к параболе Δ и касающихся параболы Δ в точках $A = (0, 1)$ и $B = (1, 0)$ соответственно.

Поэтому, согласно теореме Архимеда, площадь фигуры Y_1 ровно в три раза меньше, чем площадь обычного («прямолинейного») треугольника OAB. Следовательно,

$$S(Y_1) = \frac{1}{3} \cdot S_{OAB} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = \frac{1}{6}. \tag{29}$$

Окончательно получаем:

$$S(Y) = 4S(Y_1) = 4 \cdot \frac{1}{6} = \frac{2}{3}. \tag{30}$$

§ 6. Доказательство теоремы Архимеда. В предыдущем параграфе для нахождения площади фигуры Y мы применили теорему Архимеда. У этой очень красивой теоремы существуют несколько различных доказательств. Сейчас мы приведем два из них. Первое доказательство достаточно традиционно и использует аппарат дифференциального и интегрального исчисления. Второе доказательство, по нашему мнению, более интересно и необычно и основано на использовании свойств аффинных преобразований.

Введем на плоскости, на которой расположена парабола, правую прямоугольную декартову систему координат Oxy, поместив начало системы координат O в вершине параболы и направив ось Oy по оси параболы.

В системе Oxy парабола имеет уравнение

$$y = kx^2. \tag{31}$$

Будем считать, что точки A и B имеют координаты

$$A = (x_A,\ kx_A^2), \qquad B = (x_B,\ kx_B^2). \tag{32}$$

Не ограничивая общности, можно считать, что $x_A < x_B$.

Первое доказательство

Используя аппарат дифференциального исчисления, составляем уравнения касательных L_A и L_B к параболе (31) в точках A и B:

$$L_A: \quad y = 2kx_A x - kx_A^2; \tag{33}$$

$$L_B: \quad y = 2kx_B x - kx_B^2. \tag{34}$$

Находим абсциссу x_C точки C пересечения прямых (33) и (34):

$$2kx_Ax - x_A^2 = 2kx_Bx - x_B^2 \quad \Rightarrow \quad x_C = \frac{x_A + x_B}{2}. \tag{35}$$

Подставляя x_C в уравнение прямой L_A (или в уравнение прямой L_B), находим ординату точки C:

$$y_C = kx_Ax_B. \tag{36}$$

Используя аппарат интегрального исчисления, находим площадь криволинейного треугольника $A*BC$:

$$S_{A*BC} = \int_{x_A}^{x_C} \left(kx^2 - (2kx_Ax - kx_A^2)\right)dx + \int_{x_C}^{x_B} \left(kx^2 - (2kx_Bx - kx_B^2)\right)dx =$$

$$= k\int_{x_A}^{x_C} (x - x_A)^2\,dx + k\int_{x_C}^{x_B} (x - x_B)^2\,dx = k\,\frac{(x - x_A)^3}{3}\Bigg|_{x_A}^{x_C} + k\,\frac{(x - x_B)^3}{3}\Bigg|_{x_C}^{x_B} =$$

$$= k\,\frac{(x_C - x_A)^3}{3} + k\,\frac{(x_B - x_C)^3}{3} = k\,\frac{(x_B - x_A)^3}{24} + k\,\frac{(x_B - x_A)^3}{24} =$$

$$= k\,\frac{(x_B - x_A)^3}{12}. \tag{37}$$

Теперь переходим к нахождению площади обычного («прямолинейного») треугольника ABC. Вершины этого треугольника имеют следующие координаты:

$$A = (x_A,\ kx_A^2), \qquad B = (x_B,\ kx_B^2), \qquad C = \left(\frac{x_A + x_B}{2},\ kx_Ax_B\right). \tag{38}$$

Находим координаты векторов $\overrightarrow{CA}$ и $\overrightarrow{CB}$:

$$\overrightarrow{CA} = \left(\frac{x_A - x_B}{2},\ kx_A(x_A - x_B)\right), \qquad \overrightarrow{CB} = \left(\frac{x_B - x_A}{2},\ kx_B(x_B - x_A)\right). \tag{39}$$

Дописываем к этим координатам третью (равную нулю) координату и находим векторное произведение полученных векторов:

$$\left[\overrightarrow{CA} \times \overrightarrow{CB}\right] = \begin{vmatrix} \boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{k} \\ \dfrac{x_A - x_B}{2} & kx_A(x_A - x_B) & 0 \\ \dfrac{x_B - x_A}{2} & kx_B(x_B - x_A) & 0 \end{vmatrix} = -k\,\frac{(x_B - x_A)^3}{2}\,\boldsymbol{k}. \tag{40}$$

Площадь треугольника ABC равна половине модуля этого векторного произведения, то есть

$$S_{ABC} = \frac{1}{2}\left|\left[\overrightarrow{CA} \times \overrightarrow{CB}\right]\right| = k\,\frac{(x_B - x_A)^3}{4}. \qquad (41)$$

Сравнивая формулы (37) и (41), получаем, что

$$S_{A^*BC} = \frac{1}{3} S_{ABC}. \qquad (42)$$

Теорема Архимеда доказана.

Второе доказательство

Обозначим отношение площади криволинейного треугольника A^*BC к площади обычного («прямолинейного») треугольника ABC буквой λ. Докажем, что число λ не зависит от положения точек A и B на параболе (31).

Рассмотрим аффинное преобразование, при котором точка с координатами $(x,\ y)$ переходит в точку с координатами

$$x' = \alpha x + \beta; \qquad (43)$$

$$y' = 2k\alpha\beta x + \alpha^2 y + k\beta^2 \qquad (44)$$

(здесь α и β – параметры аффинного преобразования, $\alpha \neq 0$).

Выясним, в каком случае точка с координатами $(x',\ y')$ принадлежит параболе (31):

$$y' = k(x')^2 \ \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow\ 2k\alpha\beta x + \alpha^2 y + k\beta^2 = k(\alpha x + \beta)^2 \ \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow\ 2k\alpha\beta x + \alpha^2 y + k\beta^2 = k\alpha^2 x^2 + 2k\alpha\beta x + k\beta^2 \ \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow\ y = kx^2. \qquad (45)$$

Итак, образ $(x',\ y')$ точки $(x,\ y)$ лежит на параболе (31) тогда и только тогда, когда сама точка $(x,\ y)$ лежит на параболе (31). Если еще учесть, что аффинное преобразование является взаимно однозначным отображением плоскости на себя, то мы приходим к следующему важному выводу: при аффинном преобразовании (43)–(44) парабола (31) взаимно однозначно отображается на себя. В некоторых книгах (см., например, [4, с. 79]) говорят, что аффинное преобразование (43)–(44) является *автоморфизмом* параболы (31).

Подберем параметры α и β аффинного преобразования (43)–(44) так, чтобы точки $A=(x_A,\ kx_A^2)$ и $B=(x_B,\ kx_B^2)$ отобразились в точки $A_0=(-1,\ k)$ и $B_0=(1,\ k)$. Это будет иметь место, если выполняются равенства

$$\alpha x_A+\beta=-1; \tag{46}$$

$$\alpha x_B+\beta=1. \tag{47}$$

Разрешая эти соотношения относительно α и β, находим:

$$\alpha=\frac{2}{x_B-x_A},\quad \beta=-\frac{x_B+x_A}{x_B-x_A}. \tag{48}$$

Итак, если произвести аффинное преобразование (43)–(44) с коэффициентами α и β, которые даются формулами (48), то:

а) парабола (31) отобразится сама на себя;

б) точки A и B перейдут в две фиксированные точки на параболе (а именно в точки $A_0=(-1,\ k)$ и $B_0=(1,\ k)$;

в) касательные к параболе в точках A и B перейдут в касательные к параболе в точках A_0 и B_0.

Пусть C_0 – точка пересечения касательных к параболе, проведенных в точках A_0 и B_0. Тогда при аффинном преобразовании (43)–(44) криволинейный треугольник $A*BC$ переходит в криволинейный треугольник $A_0*B_0C_0$, а обычный («прямолинейный») треугольник ABC переходит в обычный («прямолинейный») треугольник $A_0B_0C_0$.

Воспользуемся теперь следующим свойством аффинных преобразований: аффинные преобразования сохраняют отношения площадей фигур. Следовательно,

$$\lambda=\frac{S_{A*BC}}{S_{ABC}}=\frac{S_{A_0*B_0C_0}}{S_{A_0B_0C_0}}=\text{const}. \tag{49}$$

Итак, мы доказали (используя свойства аффинных преобразований), что отношение λ площади криволинейного треугольника $A*BC$ к площади обычного («прямолинейного») треугольника ABC не зависит от положения точек A и B на параболе (31).

Осталось найти численное значение коэффициента λ.

Рассмотрим треугольник $A_0B_0C_0$.

Координаты точек A_0 и B_0 равны $A_0=(-1,\ k)$ и $B_0=(1,\ k)$. Координаты точки C_0, в которой пересекаются касательные к параболе в точках A_0 и B_0, равны $C_0=(0,\ -k)$. Пусть A_1 – точка пересечения отрезка A_0C_0 с осью Ox, B_1 – точка пересечения отрезка B_0C_0 с осью Ox. Координаты точек A_1 и B_1 равны $A_1=\left(-\frac{1}{2},\ 0\right)$, $B_1=\left(\frac{1}{2},\ 0\right)$.

Площади треугольников $A_0B_0C_0$, $A_1B_1C_0$, A_0OA_1, B_0OB_1 легко находятся (по формуле «половина произведения высоты на основание»):

$$S_{A_0B_0C_0}=\frac{1}{2}\cdot 2\cdot 2k=2k; \tag{50}$$

$$S_{A_1B_1C_0}=\frac{1}{2}\cdot 1\cdot k=\frac{k}{2}; \tag{51}$$

$$S_{A_0OA_1}=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot k=\frac{k}{4}; \tag{52}$$

$$S_{B_0OB_1}=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot k=\frac{k}{4}. \tag{53}$$

Найдем двумя способами площадь криволинейного треугольника $A_0*B_0C_0$.

С одной стороны:

$$S_{A_0*B_0C_0}=\lambda S_{A_0B_0C_0}=\lambda\cdot 2k=2k\lambda. \tag{54}$$

С другой стороны:

$$S_{A_0*B_0C_0}=S_{A_1B_1C_0}+S_{A_0*OA_1}+S_{B_0*OB_1}=\frac{k}{2}+\lambda S_{A_0OA_1}+\lambda S_{B_0OB_1}=$$
$$=\frac{k}{2}+\lambda\cdot\frac{k}{4}+\lambda\cdot\frac{k}{4}=\frac{k}{2}+\frac{k\lambda}{2}. \tag{55}$$

Сопоставляя формулы (54) и (55), получаем равенство

$$2k\lambda=\frac{k}{2}+\frac{k\lambda}{2}. \tag{56}$$

Сокращая это равенство на k, получаем

$$\lambda=\frac{1}{3}. \tag{57}$$

Итак, имеет место равенство

$$S_{A^*BC} = \frac{1}{3} S_{ABC}. \qquad (58)$$

Теорема Архимеда доказана.

§ 7. Заключение. Мы рассмотрели четыре решения задачи о нахождении площади фигуры Y. Если первые три из этих решений более или менее традиционны, то четвертое решение, основанное на использовании теоремы Архимеда, честно говоря, производит очень сильное впечатление. Результат получается как будто «из ничего», на основе свойств (как это на первый взгляд не неожиданно) аффинных преобразований…

Когда-то уже достаточно давно (около 25 лет назад) автор этих строк был студентом Московского физико-технического института. И хотя программа курса аналитической геометрии и линейной алгебры была сильно перегруженной и времени (как лектору для изложения теоретического материала, так и семинаристам для закрепления теории на практике и разбора различных методов решения задач) катастрофически не хватало, тем не менее, я точно помню, что мы (студенты I курса МФТИ) изучали аффинные преобразования, сопряженные диаметры кривых второго порядка и другие на первый взгляд достаточно специфические вопросы.

Кажется, тогда мало кто из студентов понимал, для чего все это нужно и где все это может встретиться и пригодиться… И лишь спустя годы начинаешь понимать, насколько продуманным и системно выстроенным был курс аналитической геометрии и линейной алгебры, насколько важный и совершенно «рабочий», нужный для практики математический аппарат разрабатывался в этом курсе…

Возможно, этот абзац будет убран из окончательного текста статьи, но все-таки я считаю своим долгом сказать, что кафедра высшей математики МФТИ, в значительной степени сформированная известным отечественным математиком Львом Дмитриевичем Кудрявцевым, который 35 лет был заведующим этой кафедрой, несомненно, является выдающимся явлением отечественной науки и образования. По сплоченности коллектива единомышленни-

ков, по количеству и качеству созданных учебников и задачников (по самым разным разделам высшей математики) кафедра высшей математики МФТИ, по-видимому, не имеет себе равных в нашей стране…

Автор данных строк очень благодарен физтеху за прекрасную математическую подготовку. Работая 17 лет на кафедре высшей математики Российского технологического университета МИРЭА (РТУ МИРЭА), я стараюсь использовать в работе все лучшее (четкость, понятность и лаконичность формулировок, разъяснение смысла всех вводимых понятий, наличие большого количества поясняющих примеров), чему меня когда-то учили преподаватели физтеха. Ну а насколько мне удается (или не удается) соответствовать этим принципам (в частности, в данной статье) – судить вам, уважаемые читатели.

Автор надеется, что данная статья заинтересовала читателей, и будет чень благодарен за любые комментарии или замечания по затронутым в статье вопросам.

Библиографический список

1. Костин С. В. Задачи повышенной сложности в курсе математического анализа технического вуза // Актуальные проблемы обучения математике и информатике в школе и вузе : материалы V международной заочной научной конференции / под общ. ред. Л. И. Боженковой, М. В. Егуповой. М. : МПГУ, 2020. С. 369–376.

2. Костин С. В. Методические особенности изучения интеграла Римана в курсе математического анализа для студентов технических вузов // Научно-методический журнал «Continuum. Математика. Информатика. Образование». 2016. № 1. С. 73–84.

3. Костин С. В. Об инвариантности неопределенного интеграла относительно метода его нахождения // Математика в высшем образовании. 2019. № 17. С. 21–32.

4. Понарин Я. П. Аффинная и проективная геометрия. М. : МЦНМО, 2009. 288 с.

5. Шикин Е. В., Франк-Каменецкий М. М. Кривые на плоскости и в пространстве. М. : ФАЗИС, 1997. 336 с.

Программирование микроконтроллера для нейросетевой обработки сигналов

М. И. Кощеев
аспирант кафедры автоматики и управления в технических системах
Чувашский государственный университет, Чебоксары, Российская Федерация
E-mail: maxkoshe5@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты программно-аппаратной реализации микроконтроллера для нейросетевой обработки сигналов в электротехнике, в частности для оценки параметров переходных процессов в электрических сетях. Используется элементарный персептрон как простейшая нейронная сеть прямого распространения. Для обучения искусственной нейронной сети использовались стандартные подпрограммы на языке Python библиотеки scikit-learn. Заранее обученная нейронная сеть (полученные весовые коэффициенты нейронов) перенесена в микропроцессор с учётом ограничений, накладываемых платформой. В результате предлагается аппаратный модуль, способный в реальном времени определять параметры сигнала со скоростями от сотен микросекунд до единиц миллисекунд в зависимости от характеристик используемого микропроцессора, количества нейронов и используемой функции активации нейрона. Описан алгоритм программы, оценки ее быстродействия, предложены способы дальнейшей оптимизации и варианты использования предлагаемого подхода для обработки сигналов.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, scikit-learn, программирование микроконтроллера, характеристики сигнала.

Введение. Измерение и оценка параметров переходных процессов представляют интерес для широкого круга задач электротехники и энергетики, прежде всего для контроля коммутаций и аварийных режимов в электроэнергетических системах [5–9].

Для решения этой задачи могут быть применены методы искусственного интеллекта и интеллектуального анализа данных, включая искусственные нейронные сети (ИНС) [1-4].

Объектом исследования в работе является обработка сигналов, предметом – обработка сигналов с помощью ИНС, реализованной в микроконтроллере для обеспечения возможности определения параметров сигнала в режиме реального времени.

Методы исследования. Исследование проводилось на микроконтроллере ATmega32u4 с тактовой частотой 16 МГц, 32кб Flash-памяти и 2.5кб оперативной памяти.

Обучение ИНС (подборка весов) проводилось с помощью библиотеки scikit-learn с помощью метода MLP Regressor.

Для исследования скорости расчёта параметров переходных процессов с помощью ИНС веса заранее обученной сети были загружены в микроконтроллер. При этом метод и параметры обучения сети ИНС могут меняться, важными являются только полученные значения весовых коэффициентов нейронов и использованная функция активации.

Программа, загруженная в микроконтроллер, работает следующим образом: для каждого скрытого слоя, а также для выходного слоя существует два одномерных массива.

В первом массиве coeffs находятся веса связей между этим слоем и предыдущим (количество элементов в coeffs равно количеству нейронов в предыдущем слое, умноженному на количество нейронов в текущем слое). Элементы расположены следующим образом: по порядку идут веса всех входов в первый нейрон, затем по порядку идут веса всех входов во второй нейрон и т. д.

Во втором массиве bias находятся константные смещения для каждого нейрона в текущем слое (количество элементов в bias равно количеству нейронов в текущем слое).

На рис. 1 изображена блок-схема расчёта выходного слоя ИНС:

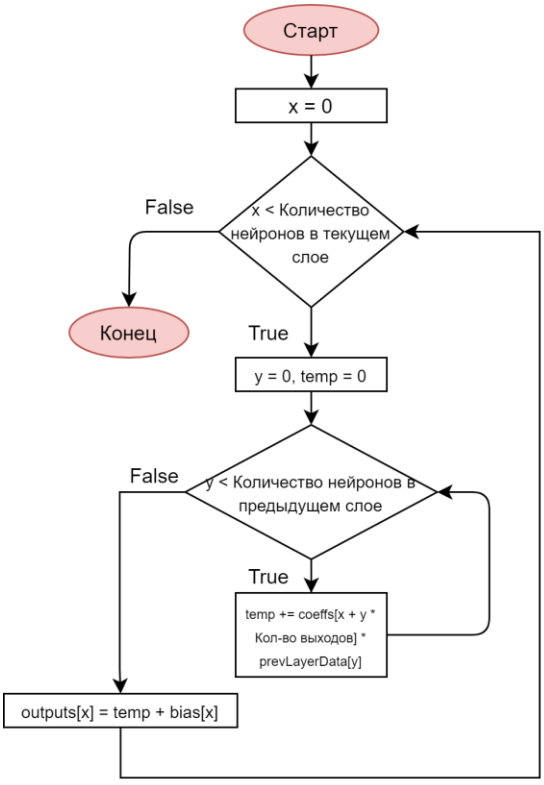


Рис. 1. Блок-схема расчёта выходного слоя ИНС

prevLayerData – массив значений предыдущего слоя, а temp – временная сумма для расчёта значения нейрона.

Выходной слой отличается от скрытого только тем, что полученная сумма не пропускается через функцию активации, т. е. для скрытого слоя часть с outputs заменяется на следующую (рис. 2).

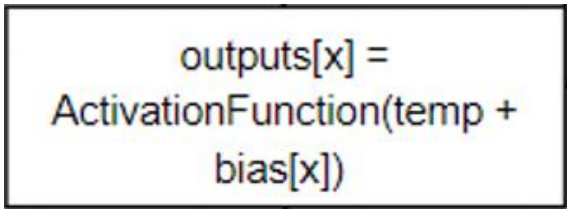


Рис. 2. Изменения в блок-схеме слоя для скрытого слоя ИНС

Результаты исследований, их обсуждение. Скорость выполнения измерялась для случая 12 входных нейронов, 15 нейронов в скрытом слое и одного выходного нейрона.

При линейной функции активации расчёт сети занимает порядка ~4100 микросекунд. В случае, если функция активации является логистической кривой, расчёт сети занимает ~6950 микросекунд. При этом сохраняется возможность вынести расчёт функции активации в интерполяционную таблицу, что ускорит расчёты (но не быстрее линейной функции активации) за счёт увеличения объёма необходимой для работы памяти.

Для передачи данных использовался COM-протокол, по которому в текстовом виде передавались 12 вещественных чисел, в ответ на которые микроконтроллер выводил одно вещественное число. Такой способ передачи данных не оптимален, поскольку тратится очень значительное время на сериализацию/десериализацию данных (тысячи микросекунд). Время расчёта указано без учёта времени на передачу данных в обе стороны.

Возможна оптимизация работы программы с помощью изменения настроек компилятора, улучшения алгоритма расчёта сети или использования других структур данных.

Выводы. Нейросетевой алгоритм реализован на самом простом микропроцессоре с низким быстродействием. Однако даже в этом случае время обра-

ботки сигналов составляет доли периода промышленной частоты электрических сетей. Микропроцессоры, используемые во вторичном оборудовании электроэнергетики, имеют быстродействие на порядок выше. Таким образом, предлагаемый подход позволяет проводить традиционную цифровую обработку сигналов, такую как выделение основной частоты, уровня гармоник, апериодических составляющих и т. д. в реальном времени.

Библиографический список

1. Кощеев М. И., Славутский А. Л., Славутский Л. А. Простые нейросетевые алгоритмы для волнового метода определения места повреждения // Вестник чувашского университета. 2019. № 3. С. 110–118.

2. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М. : Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с.

3. Grossberg S. A Path Toward Explainable AI and Autonomous Adaptive Intelligence: Deep Learning, Adaptive Resonance, and Models of Perception, Emotion, and Action // Front. Neurorobot., 25 June 2020. URL: https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00036 (accessed 05.02.2021).

4. Славутская Е. В., Абруков В. С., Славутский Л. А. Простые нейросетевые алгоритмы для оценки латентных связей психологических характеристик младших подростков // Экспериментальная психология. 2019. № 2. С. 131–144.

5. Славутский А. Л., Пряников В. С., Славутский Л. А. Моделирование переходных режимов узла нагрузки с трехобмоточным трансформатором на разных уровнях напряжения // Электротехника. 2017. № 7. С. 20–24.

6. Information bases of algorithms for protecting a generator operating on busbars from single-phase-to-ground Faults / A. V. Soldatov, V. A. Naumov, V. I. Antonov, M. I. Aleksandrova // Investigation of the Information Bases of Algorithms Controlling Higher Current Harmonics. Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53(4) P. 496–502. URL: https://doi.org/10.1007/s10749-019-01105-w (accessed: 05.02.2021).

7. Распознаваемость повреждений электропередачи, ч. 1,2,3 / Ю. Я. Лямец, Г. С. Нудельман, А. О. Павлов, Е. Б. Ефимов, Я. Законьшек // Электричество. 2001. № 2. С. 16–23; № 3. С. 16–24; № 12. С. 9–22.

8. Bhattacharya B., Sinha A. Intelligent Fault Analysis in Electrical Power Grids // IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston: IEEE, 2017. P. 985–990. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8372054 (accessed 05.02.2021).

9. Кощеев М. И., Славутский А. Л., Славутский Л. А. Элементарный персептрон как инструмент анализа переходных процессов // Вестник чувашского университета. 2020. № 3. С. 84–93.

BERT для анализа тональности длинных текстов на примере Kaggle Russian News Dataset

Н. Д. Кропанев [a], А. В. Котельникова [b]
студент группы ПИм-2301-03-00 [a]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: kropanevnikita@gmail.com [a], usr11503@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Созданная Google в 2018 году глубокая нейросетевая языковая модель BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) показала лучшие результаты во многих задачах обработки естественного языка. Одна из таких задач – это анализ тональности текста. Модель имеет ограничение на количество входных токенов, что накладывает ограничения на размер анализируемых текстов. В настоящей статье изучено применение BERT для анализа тональности длинных текстов. Модель была обучена на корпусе Kaggle Russian News Dataset [1]. Исследовалось формирование входных данных для модели четырьмя способами: только начало текста, только окончание текста, начало и окончание текста, усреднение результатов по блокам текста. Наилучший результат для исследуемого корпуса продемонстрировал способ, в котором на вход модели подается только конец текста: F1-мера составила 0.6847. Результаты работы возможно использовать при обработке длинных текстов на основе глубоких нейросетевых моделей.

Ключевые слова: модель BERT, анализ тональности, глубокое обучение.

Введение. Анализ тональности – это область компьютерной лингвистики, изучающая методы автоматического выявления в текстах эмоционального отношения людей к различным объектам, таким как продукты, услуги, организации, персоны, события [2].

Под тональностью понимают позитивное или негативное отношение к некоторому объекту, выраженное автором в тексте [3]. Тональность представляется в виде значения на определенной шкале, которая может включать два, три или больше значений [4].

Анализ мнений в текстах весьма востребован в настоящее время: существует широкий диапазон задач [5]. При этом часто встречаются задачи анализа больших текстов, например обзор на товар или услугу, анализ новостей. Тексты данной тематики могут достигать больших размеров – больше 1000 слов.

В настоящий момент языковая модель BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) показывает один из лучших результатов при анализе текстов. BERT – это нейронная сеть, представленная Google, показавшая лучшие результаты на ряде задач обработки естественного языка [6]. BERT

ограничен 512 входными токенами (элементами анализируемого текста), поэтому нужно определить, каким способом преобразовать данные большего размера для максимально эффективного результата.

Целью работы является исследование способов применения модели BERT для длинных текстов.

BERT. Модель BERT была разработана и опубликована в 2018 году компанией Google [6]. Модель BERT основана на архитектуре Transformer, также разработанной Google [7]. Было предложено два варианта модели: BERT base, состоящая из 12 слоев, и BERT large, включающая 24 слоя. На вход BERT принимает фиксированное количество токенов, равное 512. На выходе последовательность из 512 векторов для этих токенов. Токенизация выполняется с использованием WordPiece-токенизатора [8]. Результат токенизации содержит специальные токены: токен [CLS] в начале и токен [SEP] в конце. Результат для задач классификации получают при помощи классификации вектора первого токена [CLS]. В настоящей работе использована русскоязычная модель Rubert base cased, обученная на русской части Wikipedia и новостях [9].

Текстовый корпус. Для экспериментального исследования использовался текстовый корпус Kaggle Russian News Dataset, представленный на сайте Kaggle [1] и используемый в статьях по исследованию тональности текста на русском языке. Данный корпус содержит тексты, длина которых после токенизации составляет больше 512 токенов. Корпус содержит казахские новости. Основной язык текстов русский, но могут встречаться английские и казахские имена и заголовки. Корпус содержит данные для обучения и тестирования. Набор для обучения содержит 8263 записи, набор для тестирования – 2056. Для тестового набора нет разметки, результат можно отправить на сайт Kaggle для проверки. Характеристики обучающей части вынесены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики Kaggle Russian News Dataset

Всего текстов	Позитивных текстов	Негативных текстов	Нейтральных текстов	Среднее количество символов	Максимальное количество символов
8263	2795	1434	4034	3911	381498

Предобработка. Предварительная обработка данных является важным шагом в процессе интеллектуального анализа данных. Методы сбора данных часто плохо контролируются. Это приводит к появлению недопустимых значений, комбинаций данных, которые невозможны, отсутствию значений и прочее. В результате анализа данных, которые не защищены от такого рода проблем, можно прийти к неверным выводам. Качество данных является первостепенной задачей при проведении анализа. Часто предварительная обработка данных становится важной фазой проекта машинного обучения.

Модель BERT накладывает ограничения на входные данные – не более 512 токенов, включая специальные токены [CLS] и [SEP]. Таким образом, тексты, размер которых превышает 512 токенов, не могут целиком поступать на вход модели BERT. Возможны два варианта решения этой проблемы: способы усечения и иерархический способ [10].

С учетом того что важнейшая информация, как правило, содержится в начале и в конце текста, способы усечения можно разделить на три вида:

1) анализировать первые 510 токенов без специальных токенов [CLS] и [SEP];

2) анализировать последние 510 токенов;

3) анализировать часть в начале и часть в конце.

В иерархическом способе текст делится на части по 510 токенов и подается на вход модели. Результаты работы модели в этом случае можно объединить двумя способами: взять среднее значение среди частей текста (mean pooling) или использовать наиболее часто встречающееся значение среди частей текста (max pooling) [8].

Эксперименты. Эксперименты по дообучению BERT проводились на основе модели Rubert-base-cased [9]. Было обучено четыре варианта модели с использованием данных, предобработанных указанными способами. Для обучения использовалась библиотека *transformers* версии 4.2.2 с бэкэндом *pytorch* версии 1.7.1. Каждая модель обучалась десять эпох с размером батча, равным 3. Выборка делилась на обучающую 70 %, валидационную 10 % и тестовую 20 %. Эксперименты проводились на видеокарте Nvidia RTX 2070s. В качестве мет-

рик использовались макроусредненная F1-мера, точность и полнота. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов

Способ предобработки	F1-мера	Точность	Полнота
Только начало текста	0.6713	0.6750	0.6708
Только окончание текста	0.6847	**0.6935**	**0.6795**
Начало и окончание текста	0.6717	0.6774	0.6692
Иерархический способ (среднее)	0.6333	0.6584	0.6230

По всем метрикам наилучшее качество продемонстрировал способ, в котором на вход модели подается только конец текста: F1-мера составила 0.6847.

Выводы. В статье были рассмотрены подходы для обучения глубокой нейросетевой модели BERT на больших текстах. В ходе экспериментов на корпусе Kaggle Russian News Dataset было выявлено, что наилучшее качество классификации демонстрирует способ усечения, в котором используются последние 510 токенов текста. В дальнейшем планируется использовать полученные результаты для достижения лучших на данный момент результатов на корпусах с длинными текстами.

Библиографический список

1. Kaggle Russian News Dataset. URL: https://www.kaggle.com/c/sentiment-analysis-in-russian.
2. Liu B. Sentiment Analysis: Mining Opinions, Sentiments, and Emotions // Cambridge : Cambridge University Press, 2015.
3. Taboada M. Sentiment Analysis: An Overview from Linguistics // Annual Review of Linguistics. 2016. Vol. 2. P. 325–347.
4. Котельников Е., Разова Е., Котельникова А., Вычегжанин С. Обзор современных словарей оценочной лексики для анализа мнений на русском и английском языках // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. 2020.
5. Yue L., Chen W., Li X., Zuo W., Yin M. A survey of sentiment analysis in social media // Knowledge and Information Systems. 2018. P. 1–47
6. Devlin J., Chang M., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2019.
7. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A., Kaiser L., Polosukhin I. Attention is all you need // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. P. 6000–6010.
8. Johnson, M., Schuster, M., Le, Q. V., Krikun, M., Wu, Y., Chen, Z., et al. Google's multilingual neural machine translation system: Enabling zero-shot translation // Transactions of the Association for Computational Linguistics, 5. 2017. P. 339–351
9. Kuratov Y., Arkhipov M. Adaptation of Deep Bidirectional Multilingual Transformers for Russian Language // Dialogue. 2019.
10. Sun C., Qiu X., Xu Y., Huang X. How to Fine-Tune BERT for Text Classification? // Chinese Computational Linguistic. 2020.

Использование словарей оценочной лексики для анализа новостных сообщений

Д. Э. Пащенко [a], А. В. Котельникова [b], Е. В. Котельников [c]
студент группы ПИм-2301-03-00 [a]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики [b]
доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информатики [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: depashchenko@mail.ru [a], usr11503@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В процессе анализа текстов можно получить представление о мнении людей по какой-либо теме. Например, анализ тональности может быть использован для прогнозирования фондового рынка, вычисления индекса субъективного благополучия, предсказания результатов выборов и оценки реакции общества на конкретные события или новости. В статье решается задача определения тональности новостных сообщений. Предложен алгоритм формирования новых словарей оценочной лексики на базе существующих словарей. Метод определения тональности текстов реализован на основе адаптации программы SentiStrength к русскому языку. Результаты экспериментов показали, что сформированные на основе предложенного алгоритма словари оценочной лексики возможно применять для анализа новостей. Максимальное значение F1-меры составило 0,8187 и было получено с использованием словаря оценочной лексики наименьшего размера. Полученные в ходе работы результаты возможно применять для широкого круга задач анализа мнений в текстах, в том числе при проведении политологических, социологических и маркетинговых исследований.

Ключевые слова: анализ тональности, обработка естественного языка, словари оценочной лексики, SentiStrength.

Введение. Анализ тональности – это подраздел области обработки естественного языка, целью которого является классификация текста по тональности. В то время как применение анализа тональности широко изучалось для англоязычного контента, неанглоязычный контент получал гораздо меньше внимания со стороны исследователей. Согласно исследованию W3Techs [1], русский язык является вторым по распространённости языком в Интернете после английского – по состоянию на февраль 2021 года, 8,4 % из 10 миллионов самых популярных интернет-сайтов в мире используют русский язык. Таким образом, русскоязычный контент становится ценным источником данных для автоматического анализа, особенно в области анализа тональности.

Подходы к анализу тональности. Основные подходы в анализе тональности, как правило, направлены на бинарную классификацию текстов, т. е. является ли он позитивным или негативным. В некоторых случаях классификационная шкала включает ещё один класс – нейтральные тексты. Другие подходы пытаются решить задачу распознавания эмоций, то есть идентифицировать

эмоциональные состояния, связанные с написанным текстом, например страх, гнев, печаль или счастье. В качестве альтернативы существует группа подходов, нацеленная на присвоение тексту оценки в заданной шкале, например от –2 для негативных до +2 для позитивных текстов, тем самым рассматривая анализ тональности как задачу регрессии. В настоящей работе будет рассматриваться классификация текстов на позитивный и негативный классы.

Подходы к анализу тональности можно разделить на три типа. Первый тип – это подходы, основанные на правилах, которые опираются на вручную определённые правила классификации и словари оценочной лексики. Словарь оценочной лексики – это список оценочных слов и словосочетаний [2]. Под оценочными понимаются слова и словосочетания, которые передают в тексте позитивное или негативное отношение к каким-либо объектам, например *хороший, прекрасный, плохой, ужасный*. Правила классификации учитывают оценочные слова и их совместное появление в текстах с другими ключевыми словами. Несмотря на отличную производительность в узкой предметной области, методы, основанные на правилах, отличаются плохой обобщающей способностью. Кроме того, они чрезвычайно трудоёмки в создании, особенно в тех случаях, когда нет доступа к соответствующим словарям оценочной лексики. Последнее особенно актуально для русского языка, поскольку в целом он не так хорошо обеспечен такими ресурсами, как английский, особенно в области анализа тональности. Словари оценочной лексики RuSentiLex [3] и LINIS Crowd [4] являются крупнейшими лексиконами русского языка. Однако они содержат информацию только о тональности слова в целом: позитивное или негативное – без каких-либо специфических для эмоций характеристик. Для русского языка нет альтернативы таким мощным английским словарям с эмоциональными характеристиками, как SenticNet [5], SentiWordNet [6] и SentiWords [7].

Второй тип – это подходы, основанные на машинном обучении, которые полагаются на автоматическое извлечение признаков из текста и последующее применение алгоритмов автоматической классификации. Наивный байесовский классификатор, логистическая регрессия, метод опорных векторов и компози-

ционные методы могут быть использованы в качестве базовых алгоритмов классификации. В последние годы модели глубокого обучения привлекли внимание исследователей благодаря своей способности значительно превосходить традиционные методы в задаче анализа тональности [8].

Третий тип – это гибридные подходы, которые сочетают в себе как основанные на правилах, так и основанные на машинном обучении методы. Например, A. Kumar и его коллеги разработали гибридную структуру анализа персидских текстов, которая интегрировала лингвистические правила и модули CNN и LSTM для классификации по тональности [9]. D. Meskele и F. Frasincar предложили гибридную модель для аспектно-ориентированного анализа тональности ALDONAr, которая сочетает в себе онтологию тональности для сбора информации о предметной области, модель BERT для получения вложений слов и два слоя CNN для улучшения классификации по тональности [10]. С одной стороны, сочетание сильных сторон методов, основанных на правилах и машинном обучении, обычно позволяет получать более точные результаты. С другой стороны, в результате такого сочетания гибридные подходы также сталкиваются с проблемами и ограничениями каждого из подходов [11].

Текстовый корпус. Для проведения экспериментов был выбран текстовый корпус из соревнования Sentiment Analysis in Russian с сайта Kaggle [12]. Задача заключалась в том, чтобы определить тональность сообщений новостного портала Казахстана на русском языке. Из файла были выбраны позитивные и негативные сообщения (2795 и 1434 соответственно).

Поскольку в рамках соревнования на сайте Kaggle ключевой метрикой оценки качества классификации являлась F_1-мера, то предпочтение в работе будет отдано тоже ей. F_1-мера представляет собой гармоническое среднее между точностью и полнотой:

$$F_1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall},$$

где $Precision$ – отношение правильно распознанных текстов к общему количеству текстов, отнесенных классификатором к данному классу; $Recall$ – отно-

шение правильно распознанных текстов к общему количеству текстов, относящихся к данному классу.

Адаптация SentiStrength. Для решения задачи анализа тональности была использована программа SentiStrength [13]. Она осуществляет оценку англоязычного текста на основе наличия в нём определённых слов, знаков препинания и других элементов. Программа учитывает повторяющиеся подряд буквы, смайлы, слова-усилители и слова-отрицания.

Для адаптации SentiStrength к русскому языку необходимо было изменить файлы, содержащие лингвистические ресурсы, требуемые для работы программы. В их число входят следующие файлы:

1) *EmotionLookupTable.txt* – файл, содержащий список оценочных слов. Каждое из них должно иметь оценку в соответствии со следующей шкалой:

–5 очень сильная отрицательная тональность (*ужасно*);

–4 сильная отрицательная тональность (*ненавидеть*);

–3 умеренно отрицательная тональность (*недолюбливать*);

–2 слегка отрицательная тональность (*неудобство*);

2 слегка положительная тональность (*радовать*);

3 умеренно положительная тональность (*счастливый*);

4 сильная положительная тональность (*влюблённый*);

5 очень сильная положительная тональность (*восхищённый*).

2) *BoosterWordList.txt* – файл, содержащий список слов, которые повышают или понижают оценку тональности следующих за ними слов. Каждому слову присваивается значение в соответствии со следующей шкалой:

–2 сильное понижение тональности (*плохо*);

–1 небольшое понижение тональности (*немного*);

1 небольшое повышение тональности (*очень*);

2 сильное повышение тональности (*чрезвычайно*).

3) *NegatingWordList.tx*t – файл, содержащий список слов, которые указывают на то, что тональность предложения, слова или словосочетания инвертируется (*не*, *никогда*).

4) *QuestionWords.txt* – файл, в котором содержится список слов, которые указывают на наличие вопроса в предложении (*как*, *когда*, *почему*).

Формирование словарей. В процессе работы были использованы 9 словарей оценочной лексики с целью формирования на их основе новых словарей. Это словари П. Блинова, Е. Котельникова, Е. Тутубалиной, а также Chen-Skiena, EmoLex, LinisCrowd, RuSentiLex, SentiRusColl и Карта слов [14, 15].

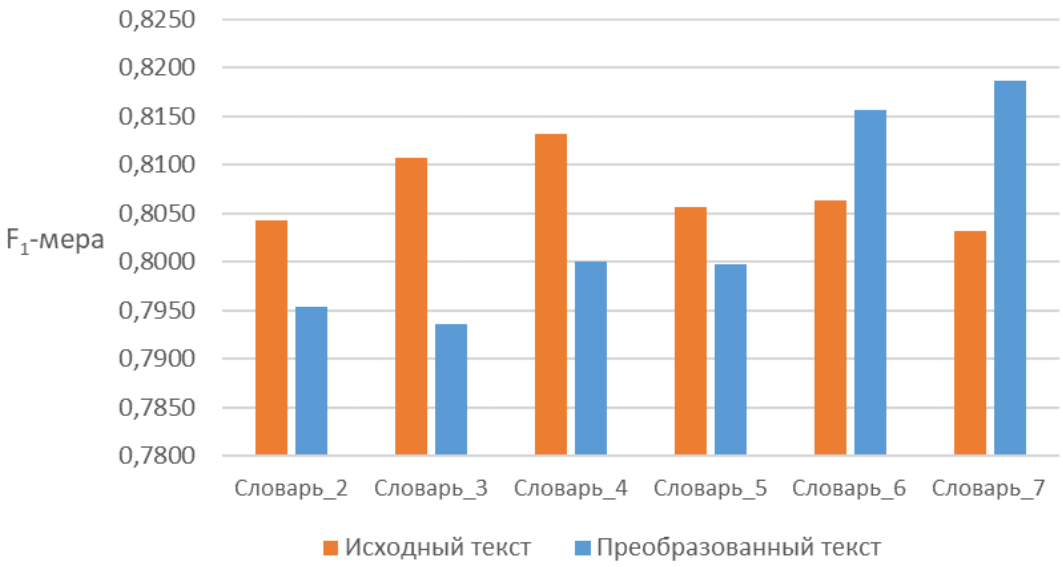
В некоторых словарях тональность определялась однозначно, но иногда возникали трудности. При наличии в словаре повторов, например, если слово несколько раз встречалось, так как относилось к разным темам и имело разную эмоциональную окраску, то применялся следующий алгоритм. На первом шаге подсчитывалась, сколько раз встречалось данное слово во всём словаре и к какому классу было отнесено, подсчитывались вероятности того, что данное слово относится к соответствующему классу. На втором шаге тональность присваивалась словам, у которых один из классов имел преимущество, например, если слово два раза из трёх было отнесено к классу позитивных и один раз из трёх – к классу негативных, то в итоге ему присваивался позитивный класс. На третьем шаге словам, которые с одинаковой вероятностью могут быть и нейтральными, и негативными, был присвоен негативный класс; и нейтральными, и позитивными – позитивный класс; и позитивными, и негативными – нейтральный класс. Словам, у которых вероятность отнесения к каждому из классов одинакова, т. е. составляет 1/3, был также присвоен нейтральный класс.

Для формирования новых словарей был использован следующий подход. Для включения в новые словари выбирались такие слова, которые встречались не менее чем N раз в существующих словарях. В работе N принималось равным от 2 до 7. Таким образом, было получено 6 словарей, которые далее обозначены *Dict_2* … *Dict_7*. Например, *Dict_2* – это словарь, в который входят такие оценочные слова, которые встретились по меньшей мере в двух существующих словарях. При этом чем больше N, тем словарь меньше по размеру, но выше уверенность в том, что каждое слово действительно является оценочным. Каждый из сформированных словарей был использован в качестве словаря оценочной лексики для SentiStrength.

Результаты. Эксперименты проводились как на исходных данных, так и на преобразованных: все слова приведены к начальной форме, знаки пунктуации удалены. Результаты исследования приведены в таблице и на рисунке.

Результаты обработки текстов на основе SentiStrength с использованием разных словарях оценочной лексики

Словарь	Размер словаря, слов	F_1-мера	
		Преобразованный текст	Исходный текст
Dict_2	11 537	0,7954	0,8043
Dict_3	5 528	0,7935	0,8107
Dict_4	3 350	0,8000	0,8132
Dict_5	1 899	0,7998	0,8056
Dict_6	1 035	0,8156	0,8063
Dict_7	381	**0,8187**	0,8031
В среднем		0,8072	0,8038



Зависимость F_1-меры от используемого словаря и данных

Наибольшая F_1-мера для исходных данных достигается при использовании словаря *Dict_4* и составляет 0,8132; для преобразованных данных – при использовании *Dict_7* и равна 0,8187. Таким образом, максимальное качество обеспечивает наименьший по размеру словарь *Dict_7*, однако отличие от словаря *Dict_4* незначительно.

По рисунку видно, что результаты предсказания в среднем выше для преобразованных данных по сравнению с исходными на 0,0034. При этом словари большого размера (Dict_2, Dict_3 и Dict_4) лучше работают с исходными дан-

ными, а словари небольшого размера (Dict_6 и Dict_7) – с преобразованными. Это можно объяснить тем, что SentiStrength ищет полные соответствия слов. В русском языке слова чаще отличаются между собой, по сравнению с английским, вследствие более высокой степени флективности, поэтому приведение слов к начальной форме положительно влияет на результаты анализа в случае небольших оценочных словарей.

Выводы. Таким образом, в работе предложен алгоритм формирования новых словарей оценочной лексики на основе существующих словарей и осуществлена адаптация программы анализа тональности SentiStrength для русского языка. Эффективность предложенного алгоритма и русскоязычной версии SentiStrength продемонстрирована в ходе экспериментального исследования с применением текстового корпуса новостей с сайта Kaggle. Максимальное значение F_1-меры составило 0,8187 и было получено с использованием словаря оценочной лексики наименьшего размера.

Полученные в ходе работы результаты возможно применять для широкого круга задач анализа мнений в текстах, в том числе при проведении политологических, социологических и маркетинговых исследований.

Библиографический список

1. Usage statistics of content languages for websites. IRL: https://w3techs.com/technologies/overview/content_language, свободный (дата обращения: 01.02.2021).
2. Liu B. Sentiment analysis and opinion mining // Synthesis Lectures on Human Language Technologies. 2012. Vol. 5(1). P. 1–167.
3. Loukachevitch N., Levchik A., Creating a general Russian sentiment lexicon // Proc. 10th Int. Conf. Lang. Resour. Eval. (REC). Portoroz, Slovenia : European Language Resources Association, May 2016. P. 1171–1176.
4. Koltsova O. Y., Alexeeva S., Kolcov S. An opinion word lexicon and a training dataset for Russian sentiment analysis of social media // Proc. Int. Conf. Dialogue Comput. Linguistics Intell. Technol., 2016. P. 277–287.
5. Cambria E., Poria S., Bajpai R., Schuller B., SenticNet 4: A semantic resource for sentiment analysis based on conceptual primitives // Proc. 26th Int. Conf. Comput. Linguistics, Tech. Papers (COLING). Osaka, Japan : The COLING 2016 Organizing Committee, Dec. 2016, P. 2666–2677.
6. Baccianella S., Esuli A., Sebastiani F., SentiWordNet 3.0: An enhanced lexical resource for sentiment analysis and opinion mining // Proc. 7th Conf. Int. Lang. Resour. Eval. (LREC). Valletta, Malta : European Languages Resources Association, May 2010. P. 1–5.
7. Gatti L., Guerini M., Turchi M., SentiWords: Deriving a high precision and high coverage lexicon for sentiment analysis // IEEE Trans. Affect. Comput. 2016. Vol. 7. № 4. P. 409–421, Oct.
8. Tang D., Qin B., Liu T. Deep learning for sentiment analysis: Successful approaches and future challenges // Wiley Interdiscipl. Rev., Data Mining Knowl. Discovery. 2015. Vol. 5. № 6. P. 292–303. Nov.

9. Kumar A., Srinivasan K., Cheng W.-H., Zomaya A. Y. Hybrid context enriched deep learning model for fine-grained sentiment analysis in textual and visual semiotic modality social data // Inf. Process. Manage. 2020. Vol. 57. № 1. Jan. Art. no. 102141.

10. Meskele D., Frasincar F., ALDONAr: A hybrid solution for sentence-level aspect-based sentiment analysis using a lexicalized domain ontology and a regularized neural attention model // Inf. Process. Manage. 2020. Vol. 57. № 3. May. Art. no. 102211.

11. Smetanin S. The Applications of Sentiment Analysis for Russian Language Texts: Current Challenges and Future Perspectives // IEEE Access, eISSN: 2169–3536, June 2020.

12. Sentiment Analysis in Russian. URL: https://www.kaggle.com/c/sentiment-analysis-in-russian, свободный (дата обращения: 01.02.2021).

13. SentiStrength. URL: http://sentistrength.wlv.ac.uk/, свободный (дата обращения: 01.02.2021).

14. Котельников Е. В., Разова Е. В., Котельникова А. В., Вычегжанин С. В. Современные словари оценочной лексики для анализа мнений на русском и английском языках // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2020. № 12. С. 16–33.

15. Kotelnikov E. V., Peskisheva T. A., Kotelnikova A. V., Razova E. V. A comparative study of publicly available Russian sentiment lexicons // Communications in Computer and Information Science. Vol. 930. 7th conference on Artificial Intelligence and Natural Language (AINL-2018). Springer. 2018. P. 139–151.

Модели BERT и XLNet для вопросно-ответных систем

Д. А. Ревякина [a], Т. А. Пескишева [b]
студентка группы ПИм-2301 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud114262@vyatsu.ru [a], peskisheva.t@mail.ru [b]

Аннотация. Ответ на вопрос – это процесс вычисления достоверных ответов на вопросы, сформулированные на естественном языке, данный процесс привлек внимание как промышленности, так и академических кругов. Целью данной работы является решение задачи ответа на вопрос с использованием моделей BERT и XLNet. В работе проведено исследование существующих подходов к реализации вопросно-ответных систем, уделено внимание двум версиям корпуса данных SQuAD. Выполнена тонкая настройка моделей на задачу ответа на вопрос, а также оценка качества моделей. При оценке качества лучшей моделью из рассматриваемых для данной задачи получилась XLNet. Точность модели для корпуса SQuAD версии 1.1 составила 81,1; для версии 2.0 – 80,4.

Ключевые слова: вопросно-ответные системы, NLP, SQuAD, BERT, XLNet.

Введение. Вопросно-ответная система (Question-answering system) – информационная система, которая способна принимать вопросы и отвечать на них на естественном языке.

В настоящее время можно выделить три основных типа вопросно-ответных систем [1]: 1) системы, которые находят ответ на вопрос пользователя при помощи своей базы знаний; 2) системы, формирующие ответ с помощью данных, содержащихся в сети Интернет; 3) комбинированные системы.

Первые вопросно-ответные системы были разработаны в 1960-х годах и представляли собой естественно-языковые оболочки для экспертных систем, ориентированных на конкретные области [2]. Современные системы предназначены для поиска ответов на вопросы в документах с использованием технологий обработки естественных языков (NLP).

Целью работы является решение задачи вопросно-ответной системы с использованием моделей BERT и XLNet.

Во втором разделе приведен обзор вопросно-ответных систем. Далее рассматриваются модели BERT и XLNet, а также корпус данных SQuAD. Завершающим этапом идет проведение экспериментов и анализ полученных результатов.

Обзор существующих вопросно-ответных систем. Одной из первых вопросно-ответных систем стала разработанная в 1961 году система BASEBALL [2],

предметной областью которой являлся бейсбол. Система могла отвечать на минимальное количество простых вопросов, имея небольшой лексикон. Основным подходом системы BASEBALL являлся подход сопоставления с образцом.

На сегодняшний день одной из наиболее известных вопросно-ответных систем является система IBM Watson [3]. IBM Watson – это суперкомпьютер компании IBM, оснащённый системой искусственного интеллекта (Artificial intelligence). Одной из основных задач системы является понимание вопросов, сформулированных на естественном языке, и нахождение на них ответов с помощью искусственного интеллекта. Система была названа в честь первого президента IBM Томаса Уотсона.

Также популярен класс персональных систем-помощников, одной из составных частей которых является вопросно-ответная система. В качестве примера можно привести систему Siri от компании Apple. Siri представляет из себя персонального помощника и вопросно-ответную систему, программный клиент которой входит в состав операционных систем компании. Данное приложение использует обработку естественной речи для того, чтобы давать рекомендации и отвечать на вопросы. Siri подстраивается под каждого пользователя индивидуально, изучая его предпочтения.

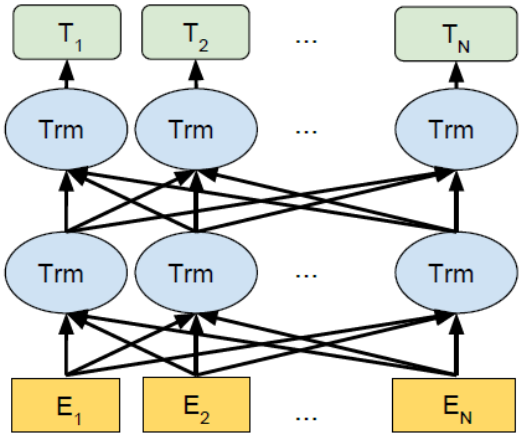
Недавний обзор двух категорий вопросно-ответных систем можно найти в Shah et al. [10]. Значительная часть современных вопросно-ответных систем ориентирована на вопросы фактоидного типа (factoid questions), то есть вопросы, на которые ожидается однозначный короткий ответ, основанный на определенном факте, явно содержащемся в контексте какого-либо документа. По сравнению с данным типом систем системы KB QA (Knowledge Bases Question Answering) могут отвечать на вопросы, которые требуют рассуждений по нескольким документам. В то время как вопросно-ответные системы на основе документов могут быть довольно легко обобщены для различных областей, вопросно-ответные системы базы знаний требуют значительных ручных усилий для создания баз знаний и, таким образом, имеют ограниченную междоменную применимость. Недавние усилия направлены на создание гибридных систем, сочетающих в себе элементы обеих [10].

Модели. В данной статье рассматриваются две модели, которые можно применять при разработке вопросно-ответных систем, – BERT и XLNet.

Модель BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) [5] представляет собой двунаправленный кодировщик, предварительно обученный с использованием двух задач – предсказания маскированных слов и предсказания следующего предложения в большом текстовом корпусе, включающем Toronto Book Corpus и англоязычную Википедию.

В результате предварительно обученная модель BERT может быть настроена с помощью всего одного дополнительного выходного уровня для создания современных моделей для широкого круга задач, таких как текстовая классификация и ответы на вопросы.

На рисунке представлена архитектура модели BERT.



Архитектура модели Bert [9]

Модель BERT основана на архитектуре Transformer, которая изначально предназначена для машинного перевода. Доступны два варианта модели:

- BERT base: 12 слоев (модулей Transformer), 12 блоков внутреннего внимания и 110 миллионов параметров;
- BERT large: 24 слоя (модулей Transformer), 16 блоков внутреннего внимания и 340 миллионов параметров.

BERT был обучен только с использованием неразмеченного текстового корпуса без применения размеченных данных, что важно, поскольку огромное количество текстовых данных доступно в Интернете на многих языках.

Модель XLNet является расширением модели Transformer-XL [8], предварительно обученной с использованием метода авторегрессии для изучения двунаправленных контекстов путем максимизации ожидаемой вероятности для всех перестановок порядка факторизации входной последовательности. Данная модель дает возможность изучать двунаправленные контексты, максимизируя ожидаемую вероятность по всем перестановкам порядка факторизации, и преодолевает ограничения BERT благодаря авторегрессии [4].

Авторы модели XLNet предоставили в общий доступ два её варианта [6]:

- XLNet base: 12 слоев, размерность скрытого слоя – 768, 12 блоков внутреннего внимания, 110 миллионов параметров;
- XLNet large: 24 слоя, размерность скрытого слоя – 768, 16 блоков внутреннего внимания, 340 миллионов параметров.

Набор данных SQuAD. SQuAD (Stanford Question Answering Dataset) – это набор данных, состоящий из вопросов статей Википедии, где ответом на каждый вопрос является фрагмент текста или промежуток из соответствующего отрывка для чтения; также вопрос может быть без ответа.

Набор данных, вышедший в 2016 году, вызвал большой интерес со стороны научного сообщества [1].

На данный момент набор данных SQuAD имеет две версии:

- SQuAD 1.1 – является первоначальной версией набора данных SQuAD; содержит более 100 000 пар вопрос-ответ по 500 статьям;
- SQuAD 2.0 – сочетает в себе вопросы из версии 1.1 и 50 000 новых вопросов, на которые невозможно ответить исходя из представленных в корпусе данных. Идея новой версии заключается в том, что обученные модели должны не только отвечать на вопросы, но и определять, когда текст не поддерживает ответ, воздерживаясь от ответа.

Результаты экспериментов. Эксперименты проводились с использованием облачного сервиса “Google Colab” [9]. Данный сервис предоставляет для работы до 13 ГБ оперативной памяти и до 17 ГБ памяти графического процессора.

В работе были использованы две модели: BERT base и XLNet base, реализованные в библиотеке Transformers [5, 6].

В табл. 1 приведены параметры моделей, которые были использованы при обучении.

Таблица 1

Параметры модели, использованные при обучении

Параметр	Значение	Значение
Модель	bert-base-uncased	xlnet-base-cased
Корпус данных	SQuAD	SQuAD
Тип модели	BERT	XLNet
Размер батча	16	14
Скорость обучения	3e-5	3e-5
Количество эпох	2	2
Функция активации	gelu	gelu
Суммарная активация	–	tanh

В табл. 2 приведены временные характеристики тонкой настройки (fine tuning) моделей на задачу ответов на вопросы для обеих версий корпуса данных SQuAD.

Таблица 2

Временные характеристики тонкой настройки моделей

Модель	SQUAD v.1.1		SQuAD v.2.0	
	Время обучения	Время оценки	Время обучения	Время оценки
BERT	2 часа	3 минуты	6 часов	6 минут
XLNet	7 часов	10 минут	11 часов	20 минут

В табл. 3 приведены полученные результаты тестирования моделей BERT и XLNet для обеих версий корпуса данных SQUAD.

Оценка результатов производилась по двум метрикам качества: F-мера и точность.

Точность (Precision) представляет из себя долю объектов, отнесенных моделью к положительным.

Точность определяется следующим образом:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}.$$

Полнота ($Recall$) показывает количество истинно положительных объектов среди всех объектов класса, которые были определены как положительные. Полнота определяется следующим образом:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}.$$

$F - \text{мера}$ является гармоническим средним между полнотой и точностью. Она стремится к нулю, если точность или полнота стремится к нулю. $F - \text{мера}$ определяется следующим образом:

$$F - \text{мера} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}.$$

Таблица 3

Полученные результаты

Модель	SQUAD v.1.1		SQuAD v.2.0	
	F-мера	Precision	F-мера	Precision
BERT	88.4	81.3	83,0	80,4
XLNet	89.3	81.1	84,1	80,4

Значение метрики F-мера для обеих версий корпуса данных получилось выше у модели XLNet. Это связано с тем, что модель имеет преимущество перед BERT благодаря авторегрессии.

При работе со второй версией корпуса данных SQuAD качество обеих моделей оказалось хуже по причине того, что вторая версия корпуса была усложнена вопросами, которые не имеют ответа, а также использования базовых моделей.

Временные затраты обучения моделей на второй версии корпуса SQuAD велики. По сравнению с первой версией корпуса обучение для модели BERT увеличилось с 2 часов до 6 часов, для модели XLNet – с 7 часов до 11 часов.

Выводы. В ходе работы были исследованы существующие подходы к реализации вопросно-ответных систем. Далее были рассмотрены две версии корпуса данных SQuAD. Затем была произведена работа с моделями BERT и XLNet, тонкая настройка моделей на задачу вопросно-ответных систем и оценка качества моделей. По результатам исследований модель XLNet показала себя лучше для решения задачи вопросно-ответной системы.

Библиографический список

1. The effect of natural distribution shift on question answering models / J. Miller, K. Krauth, B. Recht, L. Schmidt // In International Conference on Machine Learning (ICML). 2020.

2. Baseball: an automatic question-answerer / Bert F. Green, Jr., Alice K. Wolf, Carol Chomsky, Kenneth Laughery // ire-aieeacm '61 (Western). P. 219–224.

3. James D. Miller. Learning IBM Watson Analytics, 2016.

4. XLNet: Generalized autoregressive pretraining for language understanding / Zhilin Yang, Zihang Dai, Yiming Yang, Jaime Carbonell, Ruslan Salakhutdinov, and Quoc V Le. // Computing Research Repository. arXiv:1906.08237, 2019.

5. BERT. URL: https://huggingface.co/transformers/model_doc/bert.html (дата обращения 30.01.2021).

6. XLNet. URL: https://huggingface.co/transformers/model_doc/xlnet.html (дата обращения 30.01.2021).

7. Transformer XL. URL: https://huggingface.co/transformers/model_doc/transformerxl.html (дата обращения 06.02.2021).

8. Colaboratory. URL: https://colab.research.google.com (дата обращения 30.01.2021).

9. Text-based question answering from information retrieval and deep neural network perspectives: A survey / Zahra Abbasiyantaeb, Saeedeh Momtazi // Computing Research Repository. arXiv preprint arXiv:2002.06612, 2020.

10. Geo-analytical question-answering with gis. / S. Scheider, E. Nyamsuren, H. Kruiger, H. Xu // International Journal of Digital Earth. 2020. P. 1–14.

Проблемы игровых проектов на основе Windows Presentation Foundation

Смирнова Т. Н. [a], Лабинов В. А. [b]
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем [a]
студент группы ИВТМ-01-19 [b]
Чувашский государственный университет, Чебоксары, Российская Федерация [a, b]
E-mail: smirnova-tanechka@yandex.ru [a], predator4202@yandex.ru [b]

Аннотация: Чтобы поддерживать работоспособность человеку необходимо периодически отвлекаться и переключаться от одного вида деятельности к другому. Важную роль в выборе деятельности будут играть предрасположенности интереса человека, то могут быть книги, компьютерные игры или вовсе фильмы. Цель проекта заключается в создании игры – программы с графическим оформлением при помощи графических изображений. Сейчас игровой проект находится на стадии разработки, периодически происходит изучение и применение возможностей системы Windows Presentation Foundation, игра будет построена в стиле классических 2D RPG игр «бродилок». В статье описывается некоторая часть идей проекта, и демонстрируются их наработки. Новизна идеи заключается в использовании необычных методов работы с изображениями и интерфейсом в игровом проекте, целью поиска таковых методов заключается в необходимости придать приложению максимальную производительность в работе.

Ключевые слова: C#, VISUAL STUDIO, XAML, WPF, изображение, игра.

Введение. Средой разработки проекта является Visual Studio, языками программирования выступают C# и XAML [7, 8]. В ходе реализации проекта происходит изучение наиболее эффективных методов представления и хранения информации, часть результатов которых будут предоставлены в данной статье. Причиной поиска наиболее эффективных методов кроется в идее повышения производительности и уменьшении затрат различного рода ресурсов [5].

Цели и задачи:

– исследовать возможные методы программного окрашивания изображений;

– исследовать возможные методы масштабирования интерфейса программы.

Ведущий подход. Чтобы проект развивался, а планируемое приложение имело хорошую производительность, было выведено несколько первоначальных основных вопросов, которые требовалось решить. Приложение должно будет работать в настоящем времени, многие действия должны происходить моментально.

Одним из наиболее важных вопросов в проекте длительное время было изменение цвета изображения. В ходе изучения проблемы производились поиски возможных методов для быстрой программной покраски изображений, прежде всего черно-белых, были исследованы различные примеры проектов, изучены особенности проекта WPF (Windows Presentation Foundation [1, 2]), после чего было найдено два возможных решения.

Первое решение подразумевает изменение изображения при помощи переписывания параметров RGBA (Red Green Blue Alpha) для каждого пикселя. Идея позволяет изменить любой задаваемый программно конкретный цвет или диапазон цветов на необходимый (например, красный на синий, зеленый, фиолетовый и так далее).

Существует и второе решение, которое использует особые возможности системы WPF. Данное решение располагает один или более элементов, играющих роль слоев, поверх первичного. Чтобы избежать лишних возможных проблем, разумно будет вставить все элементы и разместить в группирующем элементе *Grid*. Особенностью окрашивания изображения заключается в использовании элемента на заднем плане как окрашиваемого изображения. Находящиеся сверху будут играть роль обводки (например, нижнее изображение – цвет кожи, а верхние – тени, силуэты тела, глаза и так далее), создавая тем самым полноценную картинку.

Очередной важный вопрос был связан с масштабированием интерфейса при изменении размеров окна приложения. Возможность для работы мышью в приложении не предусматривается, контроль будет происходить посредством пользования клавиатурой. Были выработаны две наиболее подходящие идеи для решения данного вопроса.

Первой идеей, наиболее распространенной, является привязывание дочерних рамок элементов к родительским. Все элементы автоматически будут изменять размеры в зависимости от размера окна приложения, что очень удобно. Есть и отрицательная сторона данного метода: планируется производить расчеты с перемещением изображений в пределах окна приложений, потребуются дополнительные корректировки для избегания некорректных местоположений изображений.

Вторая идея довольно проста в исполнении, все что требуется – это получить изображение какого-либо родительского элемента со всеми дочерними элементами. При изменении окна изображения пользователь будет наблюдать растянутое изображение и видеть только то, что ему положено, когда за изображением будут находиться все остальные элементы приложения. Описанная первая идея имеет частичное применение и здесь – рамка растянутого изображения будет привязана к родительскому, самому высшему, элементу.

Результаты исследований, их обсуждение. Для выбора лучшего метода решения поставленных проблем проводилось тестирование описанных методов, одни из которых показали себя хорошо, другие же – похуже.

Вернемся к первому вопросу о перекрашивание изображений. Оба описанных выше метода действительно могут покрасить изображение. Рассмотрим каждый метод отдельно, чтобы в этом убедиться.

Метод окрашивания при помощи изменения каждого пикселя изображения несет большой потенциал, однако столь же большая проблема связана с производительностью – число пикселей в изображениях равно числу операций, большие изображения в данном методе неприемлемы. В качестве эксперимента использовалось два изображения: первое имело формат *png* и разрешение 800x600, метод перекрашивания занял около двух секунд. Второе изображение имело формат *jpg* и разрешение 2500x3508, процесс перекрашивания занял свыше 20 секунд. С кодом окрашивания можно ознакомиться ниже, языком программирования выступает C# [3, 4].

Фрагмент кода 1

```
bmp = new Bitmap(@"C:\Users\User\Documents\o\Proj\img.png", true);
Bitmap rbmp = new Bitmap(bmp);
    for (int y = 0; y < height; y++)
      for (int x = 0; x < width; x++) {
        System.Drawing.Color p = bmp.GetPixel(x, y);
        int a = p.A; int r = p.R;
        int g = p.G; int b = p.B;
        bmp.SetPixel(x, y, System.Drawing.Color.FromArgb(a, r, b, g));       }
```

Перейдем ко второму методу перекрашивания. Явным недостатком этого метода является отсутствие возможности заменять программно указываемый цвет на необходимый. Поэтому, чтобы добиться положительного результата, изображение нужно разбить на несколько частей: элемент окрашивания и силуэт. На рисунке 1 можно заметить, что роль элемента окрашивания играет элемент *Grid* с именем «Skin», а роль силуэта играет элемент *Image* с именем «Shadows». Сам по себе элемент с именем «Skin» благодаря инструменту *Кисть* (англ. *Brush*) представляет полностью залитое изображение программно указываемым цветом, элемент с именем «Shadows» позволяет добавить недостающие части изображения (глаза, нос, рот), дополняя полученную картину. В качестве примера использовался окрашенное изображение, поэтому прозрачность элемента по имени «Shadows» равна 60 %.

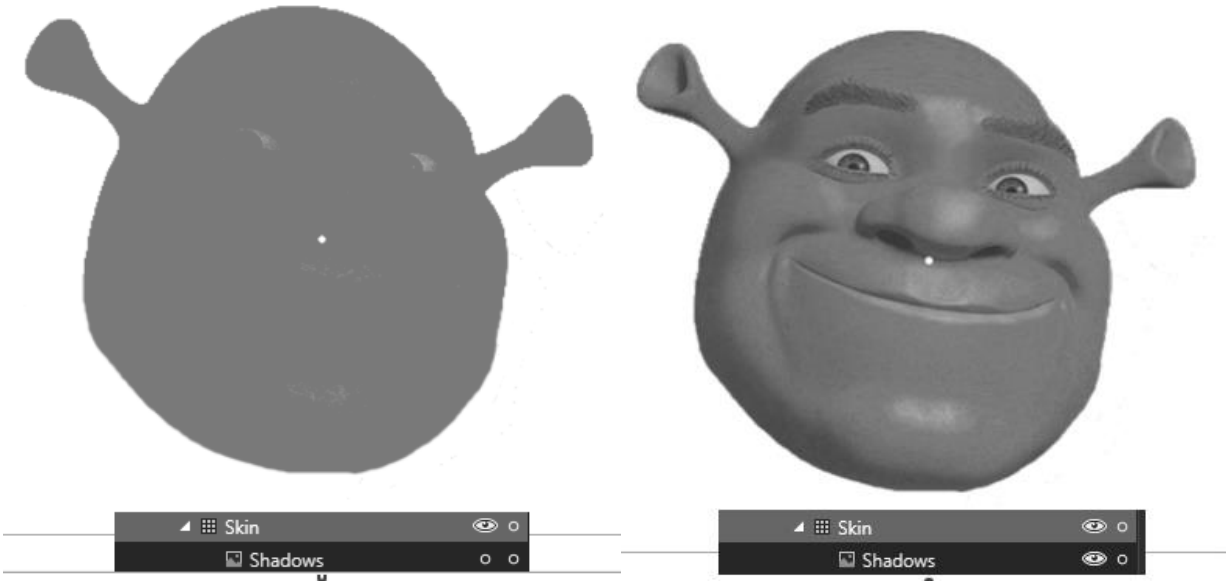


Рисунок 1. Метод в действии

Данный метод, прежде всего, имеет применение к прозрачным черно-белым изображениям. Покраска различных форматов изображений с разными разрешениями занимают менее секунды. Так как проект предусматривает большие объемы работы с изображениями, второй метод является наиболее подходящим для проекта. С кодом второго метода можно ознакомиться ниже, языком программирования выступает C#.

Фрагмент кода 2

```
TS_Shadows.Source = bmp;
ImageBrush brush = new ImageBrush();
brush.ImageSource = bmp;
brush.Stretch = Stretch.Uniform;
TS_Skin.OpacityMask = brush;
TS_Shadows.Opacity = 0.6;
TS_Skin.Background = new SolidColorBrush(System.Windows.Media.Color.FromArgb(255, 0, 0, 255));
```

Перейдем к решению второго вопроса, а именно, про масштабный интерфейс.

Первая идея описывает привязывание дочерних рамок элементов интерфейса к родительским, однако изображений в проекте будет достаточно много, большинство из них должно будет двигаться по собственному правилу. Чтобы избежать некорректного движения, в данном случае потребуется программным образом периодически проверять положение элементов в окне приложения, но большое число изображений несет большое количество проверок и корректировок, что пагубно влияет на производительность. Также была замечена проблема, полного решения для которой пока найти не удалось: при уменьшении размеров окна приложения текстовые элементы, рамки которых связаны с родительскими, частично пропадают с экрана.

Вторая идея описывает взятие изображения одного элемента и всего его содержимого. В нашем случае изображение, отображающее элементы, будет помещено в элемент *Grid* под названием «Img». Данный элемент находится на переднем плане, поэтому пользователь будет видеть только растянутое по всему окну изображение. Элементы, которые находятся на заднем плане и будут отображаться внутри элемента с именем «Img», не будут менять размер и положение в зависимости от размера окна приложения. Ознакомиться с положением элементов *Grid* можно на рисунке 2. При взятии элемента с размеров в 1280x920 изображение получается примерно через 0.02 секунды.

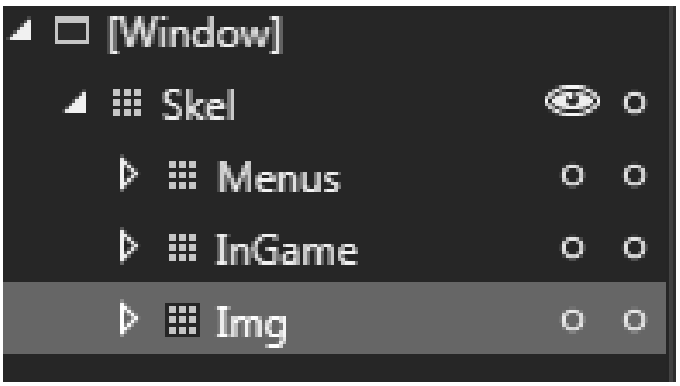


Рисунок 2. Положение элементов «Grid» в проекте

С примером кода на получение изображения элемента *Grid* можно ознакомиться ниже, языком программирования выступает C# [3, 6].

Фрагмент кода 3

```
double Height, renderHeight, Width, renderWidth;
Height = renderHeight = Test_Copy.ActualHeight;
Width = renderWidth = Test_Copy.ActualWidth;
RenderTargetBitmap renderTarget = new RenderTargetBitmap((int)renderWidth, (int)renderHeight, 96, 96, PixelFormats.Pbgra32);
VisualBrush visualBrush = new VisualBrush(source);
DrawingVisual drawingVisual = new DrawingVisual();
using (DrawingContext drawingContext = drawingVisual.RenderOpen())
{
 drawingContext.DrawRectangle(visualBrush, null, new Rect(new System.Windows.Point(0, 0), new System.Windows.Point(Width, Height)));
}
renderTarget.Render(drawingVisual);
BackTest.Source = renderTarget;
```

С результатом можно ознакомиться на рисунке 3, для демонстрации полученное программой изображение было уменьшено.

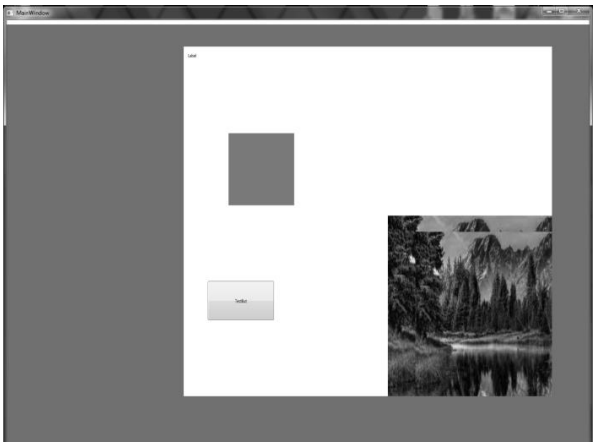


Рисунок 3. Полученное изображение элемента *Grid* и его дочерних элементов

Для решения вторичной проблемы наиболее выгодным вариантом будет брать вторую идею. Благодаря отсутствию обязательного условия проверки положений изображений в приложении, второй метод будет куда более эффективен, чем первый, для масштабирования интерфейса приложения.

Выводы. В ходе исследований были рассмотрены методы окрашивания изображений и масштабирования интерфейса программы, из их числа были отобраны наиболее оптимальные. Лучшим вариантом среди методов окрашивания оказался второй, описывающий использование инструмента *Кисть* и положение изображений в несколько слоев. Среди методов масштабирования интерфейса лучше всего себя показал второй метод, описывающий захват изображений из отдельных элементов программы. Отобранные методы имеют наилучшие показатели производительности из описанных в статье и имеют важное место быть в запланированном проекте.

Библиографический список

1. MacDonald M. Pro WPF 4.5 in C#: Windows Presentation Foundation in .NET 4.5. Apress, 2012. 1112 с.
2. Nathan A. WPF 4: Unleashed. Sams, 2010. 752 с.
3. Албахари Дж., Албахари Б. C# 8.0 Карманный справочник. Киев: Вильямс, 2020. 240 с.
4. Вагнер Б. Наиболее эффективное программирование на C#. М.: Альфа-книга, 2020. 240 с.
5. Первова Н.В., Щипцова А.В. Методические подходы к формированию универсальных компетенций у обучающихся по направлениям подготовки высшего образования в области информатики и информационных технологий // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2019. № 2 (102). С. 179-186.
6. Стиллмэн Э., Грин Д. Head First. Изучаем C#. СПб.: Питер, 2017. 816 с.
7. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core. Киев: Диалектика, 2020. 1328 с.
8. Холл Г.М. Адаптивный код. Киев: Вильямс, 2019. 448 с.

Анализ влияния признака «основной диагноз» на предсказание нарушений при экспертизе качества медицинской помощи

С. В. Торгашова [a], Е. В. Разова [b]
студентка группы ПИм-2301 [a]
кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой прикладной математики и информатики [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud114260@vyatsu.ru [a], ev_razova@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В процессе своей деятельности Кировский областной территориальный фонд обязательного медицинского страхования (КОТФОМС) получает от медицинских организаций счета на оплату законченных случаев оказания медицинской помощи. Прежде чем перевести медицинским организациям средства по счетам, КОТФОМС проводит проверку на наличие нарушений, однако из-за большого объёма данных рассмотреть каждый случай вручную невозможно. Указанную проблему помогло бы решить построение модели машинного обучения, автоматически выявляющей нарушения после обучения на данных прошлых лет. В статье исследовался один из наиболее значимых признаков, описывающих случаи оказания медицинской помощи – основной диагноз. Эксперименты с применением моделей машинного обучения продемонстрировали, что использование только этого признака для выявления нарушений приводит к предсказаниям с точностью 67,1–68,8 %. Также предложен способ категоризации данного признака при помощи итеративного подхода, позволяющий повысить точность на 1,67 процентных пункта. Результаты исследования могут быть использованы при построении модели машинного обучения для выявления нарушений при проведении медико-экономической экспертизы и экспертизы качества медицинской помощи.

Ключевые слова: машинное обучение, бинарная классификация, категоризация, ОМС.

Введение. Кировский областной территориальный фонд обязательного медицинского страхования (КОТФОМС) – это государственное учреждение, реализующее государственную политику в области обязательного медицинского страхования (ОМС) в целях практической реализации закона «Об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации» [6] на территории Кировской области [5].

В процессе своей деятельности КОТФОМС осуществляет обмен информацией с медицинскими организациями (МО) [4]. В частности, медицинские организации посылают КОТФОМС счета на оплату законченных случаев оказания медицинской помощи (далее просто «случаев») застрахованным лицам в рамках ОМС. Эти счета содержат информацию, описывающую каждый случай и оформленную в соответствии с федеральными и региональными стандартами [2, 3].

Прежде чем перевести медицинским организациям средства по счетам, КОТФОМС проводит проверку на наличие нарушений. В частности, некоторые

случаи проходят медико-экономическую экспертизу (МЭЭ) и экспертизу качества медицинской помощи (ЭКМП).

Согласно информации специалистов КОТФОМС, ежемесячно МО Кировской области присылают для обработки и оплаты около миллиона случаев оказанной по ОМС медицинской помощи и порядка 2,5–3 млн оказанных медицинских услуг. Из-за объёма обрабатываемых данных рассмотреть каждый случай вручную невозможно. По этой причине в настоящее время случаи для проверки по МЭЭ и ЭКМП выбираются случайным образом.

В связи с этим представляется целесообразным применение методов машинного обучения [11, 12] для повышения эффективности процесса выявления нарушений, то есть построение модели, способной обучаться на имеющихся данных и предсказывать наличие нарушений в новых данных. В настоящей статье рассматривается один из наиболее важных признаков, описывающих страховой случай: основной диагноз, поставленный пациенту по результату обращения. Целью работы является исследование эффективности использования признака «основной диагноз» для построения модели машинного обучения с целью последующего выявления нарушений, а также поиск наиболее удачного разбиения возможных значений указанного признака на диапазоны для повышения точности предсказания.

Материалы и методы исследования. Материалы для исследования были предоставлены специалистами КОТФОМС и представляют собой базу в формате SQLite, содержащую информацию о случаях оказанной медицинской помощи за 2019 год, прошедших ЭКМП. Столбцы соответствуют признакам, описывающим страховой случай в соответствии с утверждённым приказом КОТФОМС порядком информационного взаимодействия участников ОМС на территории Кировской области [2, 3]. В качестве целевой переменной используется бинарный признак, указывающий на то, было ли выявлено нарушение по результатам ЭКМП.

В рамках исследования для предсказания целевой переменной использовался единственный признак – «основной диагноз». «Основной диагноз» пред-

ставляет собой текстовый признак, где каждому диагнозу ставится в соответствие код Международной классификации болезней (МКБ) [1].

Для выявления наиболее эффективного способа разделения всех возможных значений указанного признака на диапазоны был применён итеративный подход. Изначально признак разбивался на 22 категории в соответствии с классами МКБ. После этого каждой категории ставилась в соответствие оценка, полученная с использованием следующей метрики:

$$M = \frac{X^2}{Y},$$

где X – количество ошибочных случаев из данной категории, а Y – количество всех случаев из данной категории.

Предложенная метрика использовалась в связи с тем, что в ней учитывается как процент ошибочных случаев, так и их количество. Возведение в квадрат позволяет приоритизировать более многочисленные категории, так как на практике они более важны.

На следующей итерации категория, получившая наиболее высокую оценку *M*, разбивается на подкатегории согласно блокам трёхзначных рубрик МКБ соответствующего класса, после чего процесс повторяется. Если на определённой итерации наивысшую оценку *M* получает категория, соответствующая не классу, а блоку трёхзначных рубрик, разделение на подкатегории происходит согласно рубрикам соответствующего блока. Таким образом генерируются различные способы разбиения значений признака диагноза на категории, где каждое последующее разбиение содержит больше категорий, чем предыдущее. В результате данного подхода классы МКБ, для которых процент ошибок невелик, и классы, содержащие мало случаев в целом, остаются неразделёнными, тогда как классы с высоким количеством и процентом ошибок разбиваются, что позволяет выявить определённые блоки и рубрики, которые наиболее сильно коррелируют с ошибками по ЭКМП.

Для того чтобы оценить, какое разбиение даёт наилучшие результаты, были построены четыре модели машинного обучения: логистическая регрессия [8], метод опорных векторов [7], метод случайного леса [9] и метод градиентно-

го бустинга [10]. Исходные данные были случайным образом разделены на обучающую и тестовую выборки в пропорции 80 % и 20 % соответственно, после чего признак «основной диагноз» был преобразован (и затем бинаризирован) согласно различным способам разбиения, полученным с применением описанного итеративного подхода. Такая процедура позволила получить несколько наборов данных, где каждый набор соответствует определённой итерации и определённому способу разбиения. Каждая из четырёх моделей машинного обучения была построена для каждого набора данных на основе обучающей выборки и оценена на тестовой выборке с использованием стандартной метрики «доля правильных ответов» (*Accuracy*), согласно которой качество модели определяется как отношение количества правильных предсказаний к количеству всех предсказаний.

Результаты исследования. В табл. 1 представлены результаты оценки категорий для каждой из девяти итераций при помощи ранее введённой метрики M. Для того чтобы сделать таблицу более компактной, для каждой итерации показаны пять категорий с наиболее высокими оценками M. Чем выше оценка M категории, тем более оправданно её разбиение на подкатегории, так как высокая оценка означает как высокий процент ошибок среди случаев из данной категории, так и высокое количество ошибочных случаев. Соответственно, на каждой итерации, кроме первой, было проведено разбиение именно той категории, которая получила наивысшую оценку M на предыдущей итерации. Номер категории соответствует номеру класса МКБ [1].

Таблица 1

Оценка категорий возможных значений признака «основной диагноз» для каждой итерации разбиения

Первая итерация (20 категорий)		**Вторая итерация (разбита кат. 10)**		**Третья итерация (разбита кат. 9)**		**Четвёртая итерация (разбита кат. 13)**		**Пятая итерация (разбита кат. 13-3)**	
Кат.	**M**	**Кат.**	**M**	**Кат.**	**M**	**Кат.**	**M**	**Кат.**	**M**
10	3331	9	2570	13	1834	13-3	1418	13-3-2	1415
9	2570	13	1834	10-1	1260	10-1	1260	10-1	1260
13	1834	10-1	1260	10-2	1001	10-2	1001	10-2	1001
11	978	10-2	1001	11	978	11	978	11	978
4	821	11	978	9-8	889	9-8	889	9-8	889

Шестая итерация (разбита кат. 13-3-2)		Седьмая итерация (разбита кат. 10-1)		Восьмая итерация (разбита кат. 10-2)		Девятая итерация (разбита кат. 11)	
Кат.	**М**	**Кат.**	**М**	**Кат.**	**М**	**Кат.**	**М**
10-1	1260	10-2	1001	11	978	9-8	889
10-2	1001	11	978	9-8	889	10-2-9	828
11	978	9-8	889	10-2-9	828	4	821
9-8	889	4	821	10-2	821	10-1-7	609
4	821	10-1-7	609	11	609	9-7	600

При сравнении долей правильных ответов для девяти итераций было обнаружено, что разница между четырьмя используемыми классификаторами (логистическая регрессия, метод опорных векторов, метод случайного леса и метод градиентного бустинга) очень незначительна. На рисунке представлен график изменения доли правильных ответов для метода случайного леса, который показал наилучший результат среди всех используемых классификаторов (оценка 0,6877 на девятой итерации). Подробно с результатами можно ознакомиться в табл. 2.

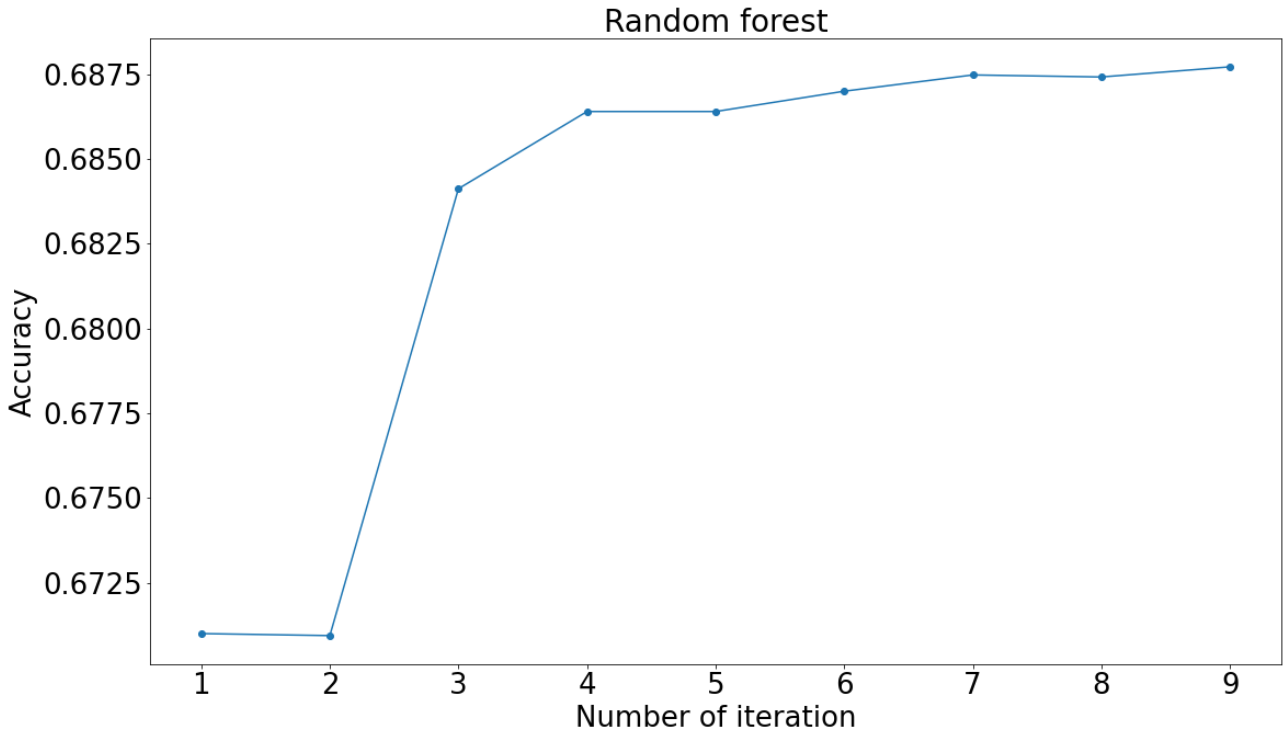


График зависимости доли правильных ответов
от номера разбиения для метода случайного леса

Таблица 2

Зависимость оценки *Accuracy* от номера разбиения для метода случайного леса

Итерация	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Accuracy	0,6710	0,6709	0,6841	0,6864	0,6864	0,6870	0,6875	0,6874	**0,6877**

Выводы. Таким образом, использование в качестве признака основного диагноза является эффективным при построении модели машинного обучения с целью выявления нарушений при проведении ЭКМП: обучение с использованием только этого признака привело к предсказаниям с точностью 67,09–68,77 %.

Увеличение количества категорий, на которые разбиваются возможные значения признака «основной диагноз», с акцентом на более многочисленные категории с высоким процентом ошибок приводит к улучшению точности предсказаний. Результаты показали, что точность для каждой итерации разбиения, кроме первой, почти всегда лучше, чем для предыдущей итерации: оценка увеличивается с 0,6710 на первой итерации до 0,6877 на девятой итерации, то есть на 1,67 процентных пункта. Однако следует отметить, что после четвёртой итерации (0,6864) оценка растёт очень незначительно, несмотря на существенное увеличение количества категорий, поэтому на практике целесообразнее применять четвёртое разбиение, а не девятое.

Результаты исследования могут быть использованы при продолжении работы над построением модели машинного обучения для выявления нарушений при проведении медико-экономической экспертизы и экспертизы качества медицинской помощи.

Библиографический список

1. Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10). URL: https://mkb-10.com/ (дата обращения 07.02.2021).

2. Перечень НСИ – Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. URL: http://nsi.ffoms.ru/#refbookList (дата обращения 07.02.2021).

3. Порядок информационного взаимодействия участников обязательного медицинского страхования при осуществлении персонифицированного учета оказанной медицинской помощи на территории Кировской области в редакции от 23.06.2020 № 641, от 30.09.2020 № 971. URL: http://kotfoms.kirov.ru/doc_n/Poryadok_prikaz97_2019.zip (дата обращения 07.02.2021).

4. Приказ об утверждении общих принципов построения и функционирования информационных систем и порядка информационного взаимодействия в сфере обязательного медицинского страхования в редакции от 07.04.2011 N 79. URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=347363&dst=100001 %2C0#009675555682166603 (дата обращения 07.02.2021).

5. Приказ об утверждении типового положения о территориальном фонде обязательного медицинского страхования в редакции от 21.01.2011 N 15н. URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=157115#021857045735041503 (дата обращения 07.02.2021).

6. Федеральный закон об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации от 29.11.2010 N 326-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_107289/2 (дата обращения 07.02.2021).

7. A Practical Guide to Support Vector Classification / C.-W. Hsu, C.-C. Chang, C.-J. Lin // BJU International. 2003. Vol. 101. I. 8. P. 1396–1400. URL: https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf (published: 19.05.2016).

8. An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting. / C.-Y. J. Peng, K. L. Lee, G. M. Ingersoll // The Journal of Educational Research. 2002. Vol. 96. I. 1. P. 3–14. URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00220670209598786 (published: 02.04.2010).

9. Breiman L. Random Forests. // Machine Learning. 2001. Vol. 45. I. 1. P. 5–32. URL: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324 (published: October 2001).

10. Friedman J. H. Stochastic gradient boosting. // Computational Statistics & Data Analysis. 2002. Vol. 38. I. 4. P. 367–378.

11. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. Foundations of Machine Learning, second edition. Massachusetts : The MIT Press, 2018. 488 p.

12. Supervised Classification Algorithms in Machine Learning: A Survey and Review. / P. C. Sen, M. Hajra, M. Ghosh // Emerging Technology in Modelling and Graphics: Proceedings of IEM Graph 2018. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7403-6_11 (published: 17.07.2019).

Модификация метода деления дизъюнктов с использованием ведущего литерала

В. А. Тутынин
аспирант кафедры электронных вычислительных машин, группа ИВТа-3302-02-00
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: stud109538@vyatsu.ru

Аннотация. Методы логического вывода являются способом эффективного оперирования с базами знаний, которые хранят данные в виде набора фактов и правил. Процесс логического вывода отличается высокой вычислительной сложностью. Поэтому разработка эффективных методов логического вывода, которые позволяют получить результат за меньшее время, является актуальной задачей.

Одним из наиболее перспективных методов логического вывода является метод деления дизъюнктов. Данный метод отличается высокой степенью параллелизма и двунаправленностью процесса вывода. Метод деления дизъюнктов может выполняться параллельно на нескольких исполняющих устройствах, каждый из которых выполняет отдельную подзадачу. Но при этом в ходе решения подзадач будут выполняться операции деления в том числе и для тех дизъюнктов, литералы которых заведомо не могут быть унифицированы.

В статье приводится описание модификации метода деления дизъюнктов, которая отличается использованием специальной процедуры распределения множества посылок по подмножествам. Данная модификация позволяет сократить время логического вывода за счёт уменьшения числа выполняемых унификаций литералов по сравнению с известным методом деления дизъюнктов.

Ключевые слова: логический вывод, метод деления дизъюнктов, унификация литералов.

Введение. Задачу логического вывода можно сформулировать следующим образом. Имеется множество посылок a_i (при $1 \le i \le n$), а также заключение b, являющиеся формулами формальной системы исчисления I ($a_i \in I, b \in I$). Необходимо определить выводимость формулы b из посылок a_i, то есть доказать истинность формулы $(a_1 \& a_2 \& \dots \& a_n) \to b$.

Метод логического вывода – совокупность правил, определяющих используемые законы формальной логики и порядок их применения к посылкам для решения задачи логического вывода. К методам логического вывода относятся процедура вывода Эрбрана, метод резолюций Робинсона, метод деления дизъюнктов и другие [1, 6].

Метод деления дизъюнктов подробно описан в ряде литературных источников [2, 4, 7]. Как показано в работе [3], данный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с остальными методами. К ним относится двунаправленность процесса логического вывода, возможность распараллеливания про-

цесса вычисления на разных уровнях, а также меньшая подверженность эффекту комбинаторного взрыва. Кроме того, к определённым этапам алгоритма могут быть применены определённые эвристические модификации, повышающие вариативность выполнения [5]. В данной статье рассматривается модификация метода деления дизъюнктов.

Методы исследования. Модифицированный метод основывается на распределении дизъюнктов базы знаний между исполняющими устройствами таким образом, чтобы каждое устройство содержало только дизъюнкты с закреплённым за данным исполнителем литералом. В ходе выполнения процедуры деления данный исполнитель получает только те подзадачи, которые содержат соответствующий литерал. В случае, если подзадача является дизъюнкцией из нескольких литералов, она будет отправлена сразу нескольким исполнителям, при этом каждый из них выполняет только часть операции образования остатков относительно закреплённого литерала.

Преимущество метода заключается в сокращении времени логического вывода. Это достигается за счёт уменьшения числа выполняемых унификаций литералов по сравнению с известным методом деления дизъюнктов, так как в операциях деления участвуют не все дизъюнкты из множества посылок, а только некоторое семейство подмножеств от всего множества.

Модифицированный метод включает в себя несколько вспомогательных процедур.

1) Модифицированная процедура образования остатков $\omega^{Li} = < L_i, b, d, q, n >$ основывается на аналогичной процедуре из искомого метода деления дизъюнктов $\omega = < b, d, q, n >$. Отличие данной версии заключается в выполнении операции унификации не со всеми литералами делимого, а только с литералом L_i. В данной операции:

– L_i – ведущий литерал;

– $b = L_1^b \, V L_2^b \, V \ldots V L_j^b$ – делимое;

– $d = L_1^d \, V L_2^d \, V \ldots V L_k^d$ – делитель;

– q – результат операции, $q \in \{0,1,g\}$;

– n ={$< b_t, d_t >$}– набор остатков.

Процедура заключается в применении операции унификации литералов каждого литерала делителя с ведущим литералом делимого. Полученный результат зависит от успешности проведённой операции унификации:

– Если хотя бы одна пара литералов унифицируема и делимое содержит ровно один литерал, то q = 0.

– Если ни одна пара литералов не унифицируема, то q = 1.

– Если делимое содержит более одного литерала, то q = g, для каждой пары унифицируемых литералов $\{L_j^b, L_k^d\}$ образуется остаток $n_t =< b_t, d_t >$, где $b_t = \alpha(b \backslash L_j^b)$, $d_t = \alpha\left(d \backslash L_k^d\right)$.

2) Модифицированная процедура полного деления дизъюнктов $\Omega^{Li} =< L_i, D_i, d, Q, N >$ основывается на процедуре полного деления $\Omega =< D_i, d, Q, N >$. Отличие заключается в наличии ведущего литерала, а также в применении модифицированной версии процедуры образования остатков вместо обычной. В данной процедуре:

– L_i – ведущий литерал;

– $D_i = L_1^i V L_2^i V \ldots V L_j^i$ – дизъюнкт посылки;

– $d = L_1 V L_2 V \ldots V L_k$ – дизъюнкт заключения;

– Q – результат операции, Q∈{0,1,g};

– $N = \{b_1, b_2, \ldots, b_n\}$ – набор остатков от деления.

Для выполнения деления вначале применяется модифицированная операция образования остатков к дизъюнктам посылки и заключения: $\omega^{Li} =< D_i, d, Q, N >$, где $n =< b_t, d_t >$ Далее анализируется полученный результат:

– Если $q = 1$, то Q = 1, N = {}.

– Если $q = 0$, то Q = 0, N = {}.

– Если $q = g$, то Q = G, N = {$< b_t >$}.

В случае, если $q = g$, к полученным парам $\{b_t, d_t\}$ также применяется обычная процедура образования остатков $\omega =< b_t, d_t, q_i, n_i >$, где $n_i =< b_{ti}, d_{ti} >$.

Для полученных результатов применяются следующие правила:

– Если $q_t = 1$, то Q и N остаются без изменений.

– Если $q_t = 0$, то Q и N принимают новые значения: Q = 0, N = {}.

– Если $q_t = g$, то N дополняется новыми значениями: $N' = N \cup < b_{ti} >$.

Также добавляются новые пары n_i для применения к ним процедуры образования остатков. Процедура образования остатков применяется для всех образуемых пар до тех пор, пока для каждой пары не будет получен результат q = 0 или q = 1.

3) Процедура деления подмножества $w^{L_i} =< M_{L_i}, d, o, p, m >$ основывается на базовой процедуре вывода $w =< M, d, o, p, m >$. В данной процедуре $M^{Li} = \{D_1^i, D_2^i, \dots, D_j^i\}$ и $d = L_1\ VL_2\ V \dots VL_k$. Процедура заключается в выполнении модифицированного деления каждого элемента подмножества $\Omega^{Li} =< L_i, D_j, d, Q, N >$.

Результат процедуры:

– Если $\exists(b_i = 0)$, то $q_i = 0, m_i = \{\}$.

– Если $\forall(b_i = 1)$, то $q_i = 1, m_i = \{\}$.

– Если $\forall(b_i \neq 0)\ u\ \exists(b_k \neq 1)$, то $q_i = G, m_i = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$.

4) Процедура деления семейства подмножеств $\tilde{w} =< \tilde{M}, d, o, p, m >$ заключается в выполнении модифицированной процедуры деления подмножества w^{L_i} над каждым элементом группы w^{L_i}, с L_i в качестве ведущего литерала.

Результат процедуры:

– Если $\exists(q_i = 0)$, то $q = 0, m = \{\}$.

– Если $\forall(q_i = 1)$, то $q = 1, m = \{\}$.

– Если $\forall(q_i \neq 0) u\ \exists(q_k \neq 1)$, то $q = G, m = \bigcup_1^k m_i$.

Описанные выше процедуры используются в модифицированном методе деления дизъюнктов. Данный метод состоит из следующих этапов:

1) Подготовка семейства подмножеств $\tilde{M} = \{M^{L1}, \dots, M^{Li}\}$ с распределением дизъюнктов по подмножествам в соответствии с входящими в них литералами, то есть $\forall(D_j \in M^{Li} | L_i \in D_j)$.

2) Выполнение модифицированной операции деления $\tilde{w} =< \tilde{M}, d, o, p, m >$.

3) Анализ результатов деления:

– Если q = 0 → вывод успешен, истинность заключения доказана.

– Если q = 1 → имеющихся посылок недостаточно для того, чтобы доказать истинность заключения, конец операции вывода.

– Если q = G → формирование дизъюнкции из конъюнкции полученных остатков, к которой применена инверсия: $\neg(b_1 \& b_2 \& b_i)$, после этого преобразование полученного выражения в КНФ. Результат – выражение вида $d_1 \& d_2 \& \ldots \& d_n$.

4) Если вывод не был завершён на предыдущем этапе, выполняется формирование пар вида $\{\tilde{M}, d_i\}$, $i \in \{1, \ldots, n\}$.

5) Для каждой пары, полученной на этапе 4, выполняется алгоритм, начиная с этапа 2. Если для каждой из пар будет получен результат (q = 0), значит, вывод успешен. Если хотя бы для одной из пар будет получен результат (q = 1), значит, имеющихся посылок недостаточно для того, чтобы доказать истинность заключения.

Таким образом, основными отличиями модифицированного метода по сравнению с искомым методом деления дизъюнктов являются наличие дополнительного этапа подготовки семейства подмножеств, а также использование модифицированных процедур, работающих с подмножествами с ведущим литералом.

Результаты исследований, их обсуждение. Основное отличие между модифицированным и обычным методом заключается в том, что операция унификации литералов в модифицированном методе не применяется для тех посылок, которые не содержат подходящий литерал. Данная оптимизация позволяет уменьшить общее количество выполняемых операций унификации, что уменьшает время логического вывода.

Для того чтобы проверить эффективность нового метода, была проведена экспериментальная апробация, которая заключалась в выполнении вычислительного эксперимента. Для проведения эксперимента была написана програм-

ма на языке C++, реализующая обычный и модифицированный методы деления дизъюнктов. Для проверки работы методов была также написана программа для генерации тестов с заданным числом правил. Результаты апробации представлены в таблице.

Результаты работы обычного и модифицированного методов

Характеристики теста		Обычный метод		Модифицированный метод	
Число различных литералов	Число правил	Унификаций	Время, с	Унификаций	Время, с
10	100	18819	2,477	1902	0,935
10	500	468872	29,359	46998	19,239
10	1000	1873750	115,735	187600	78,654
20	2000	7500497	456,021	350598	247,159

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1) Модифицированный метод позволяет решить задачу с выполнением меньшего числа операций унификации литералов, что в конечном итоге приводит к сокращению времени работы метода.

2) Количество унификаций в модифицированном методе зависит не только от числа правил в тестовом примере, но и от количества различных литералов. В примере с большим числом литералов эффективность возрастает.

Выводы. В статье был предложен модифицированный метод деления дизъюнктов и показаны его отличия от известного метода, а также представлены возможные преимущества модифицированного метода при практическом применении.

Была проведена экспериментальная апробация, в ходе сравнения методов была продемонстрирована эффективность модифицированного метода.

Библиографический список

1. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина. М. : Физматлит, 2004. 704 с.

2. Dolzhenkova M. L., Meltsov V. Yu., Strabykin D. A. Method of Consequences Inference from New Facts in Case of an Incomplete Knowledge Base // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. I. 39. P. 1–7.

3. Вывод следствий в исчислении предикатов с построением схемы вывода / М. Л. Долженкова, Д. А. Страбыкин, Г. А. Чистяков, В. Ю. Мельцов // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 3. С. 47–54.

4. Meltsov V. Y., Strabykin D. A., Kuvaev A. S. Model of the Operating Device with a Tunable Structure for the Implementation of the Accelerated Deductive Inference Method // Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’19). Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. Vol. 1156. P. 155–164.

5. Страбыкин Д. А. Уменьшение объема вычислений в процессе логического вывода делением дизъюнктов // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : сб. ст. XIX Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет. 2019. С. 341–348.

6. Andreasen T., Bulskov H., Nilsson J. F. A natural logic system for large knowledge bases // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2020. Vol. 333. P. 119–133.

7. Страбыкин Д. А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 87.

Разработка программы для поиска глобального экстремума функций

П. Г. Чупраков [a], П. Р. Ярков [b]
кандидат биологических наук, доцент кафедры ПМИ [a]
студент группы ПМИм-2301-02-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: pg_chuprakov@vyatsu.ru [a], stud114270@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Теория глобальной оптимизации сегодня является одной из наиболее активно развивающихся областей прикладной математики. Развитие идёт в сторону создания новых подходов, методов и доработки уже имеющихся. Ведутся исследования применения методов к различным целевым функциям. Проблема поиска глобального экстремума функций является центральной проблемой теории глобальной оптимизации. Целью данной работы было создание программы для поиска глобального экстремума функций. В качестве методов поиска были выбраны методы мультистарта и имитации отжига. Для достижения поставленной цели данные методы были реализованы программно с возможностью отрисовки линий уровня целевой функции и траектории поиска, иллюстрирующей процесс отыскания глобального экстремума. Итогом работы стала программа для поиска глобального экстремума функций. Проведено тестирование программы на функции Розенброка. Разработанная программа позволяет визуализировать работу реализованных методов и поэтому может быть применена в образовательных целях на занятиях по дисциплинам «Методы оптимизации», «Исследование операций», «Методы оптимальных решений» и др.

Ключевые слова: методы оптимизации, глобальный экстремум, метод имитации отжига, метод Хука – Дживса, метод мультистарта, глобальная оптимизация.

Введение. Методы глобальной оптимизации находят широкое применение как в научной, так и в практической деятельности. Например, в машиностроении эти методы могут быть использованы при моделировании крыла самолёта. В астрофизике методы глобальной оптимизации незаменимы при изучении поверхностей космических объектов. Методы глобальной оптимизации позволяют отыскать точки экстремума исследуемой поверхности, предоставляя исследователю понимание о характере смоделированной поверхности.

Создание программного обеспечения для поиска глобального экстремума функций является распространённой практикой исследователей в области глобальной оптимизации. Трудно представить проведение опытов в этой области без применения компьютера, особенно когда необходимо оптимизировать многомерные функции. Для обеспечения наглядности исследований зачастую применяется компьютерная графика. В качестве примера стоит отметить работы А. В. Пантелеева [1, 2], в которых для проведения анализа методов и обеспечения наглядности исследования была разработана и применена программа-визуализатор.

В данной статье описана разработка программы поиска глобального экстремума функций методами мультистарта и имитации отжига. В программе реализована визуализация работы методов, что включает в себя построение линий уровня и траектории поиска. Выбранные методы, являясь широко известными и детально изученными, преподаются в вузах по дисциплине «Методы оптимизации», поэтому разработанная программа может быть полезной для обучающихся по данной дисциплине. Также программа может использоваться и в родственных дисциплинах, таких как «Исследование операций», «Методы оптимальных решений» и других.

Постановка задачи поиска глобального экстремума функций

Пусть дано замкнутое множество $G \subset \boldsymbol{R}, \boldsymbol{G} \neq \emptyset$, называемое областью поиска, и целевая функция $f: A \to \boldsymbol{R}$, где $G \subseteq A \subseteq \boldsymbol{R}$. Требуется найти хотя бы одну точку $x^* \in G$, удовлетворяющую условию $(\forall x \in G)[f(x^*) \leq f(x)]$, или доказать, что такой точки не существует.

x^* – точка глобального минимума, $f(x^*)$ – значение целевой функции в точке глобального минимума.

x_i^* – точка локального минимума, если

$$(\exists e > 0)(\forall x \in B_e(x_i^*))[f(x_i^*) \leq f(x)].$$

Другими словами, задача поиска глобального минимума функции заключается в нахождении $x^* = arg \min\limits_{x \in G} f(x)$.

Задача поиска минимума и максимума называется задачей поиска экстремума функции. При численном поиске традиционно перед методом ставится задача поиска минимума функции, а задача поиска максимума, при необходимости, сводится к ней.

В качестве метода мультистарта используется многократный последовательный запуск метода Хука – Дживса из точки, полученной методом на предыдущей итерации. Алгоритмы методов Хука – Дживса и имитации отжига были взяты из источников [3, 4].

Программа для поиска глобального экстремума функций

Программа была написана на языке программирования JavaScript с применением библиотеки для научных расчётов math [5] и plotly [6] для работы с графикой. Использование языка JavaScript позволило создать программу, которая доступна в сети Интернет посредством браузера и, как следствие, не требует установки на компьютер. Отсюда же вытекает удобство доставки обновлений программы: нет необходимости переустановки или запуска обновляющего ПО – пользователь всегда будет иметь последнюю версию.

Визуализация работы методов производится только для одномерных и двумерных функций. Примеры работы программы приведены на рис. 1.

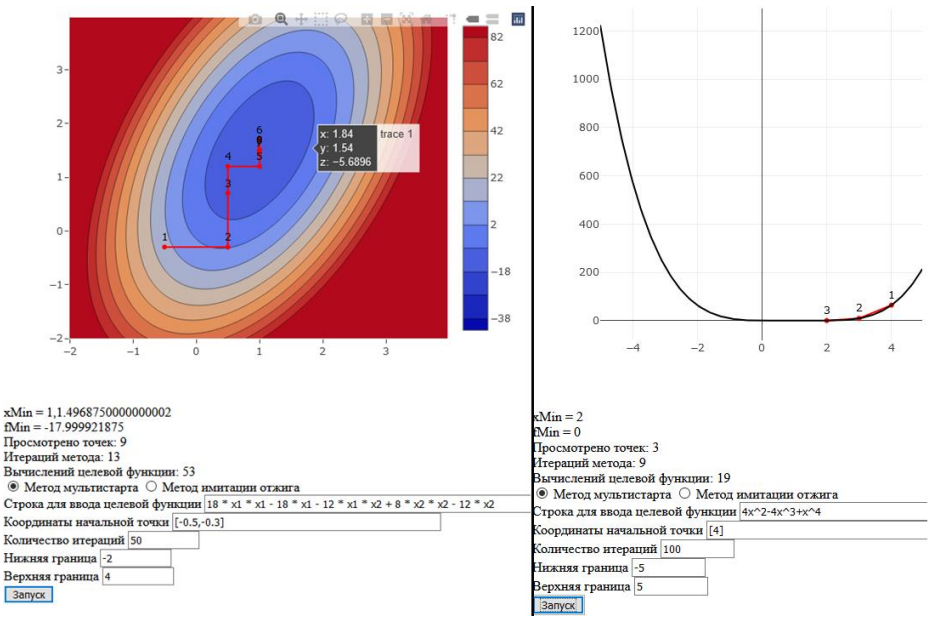


Рис. 1. Пример работы программы: для двумерной функции (слева) и одномерной (справа) строятся разные графики

Линии уровня получены путём вычисления значений функции на всей области поиска. При наведении курсора мыши на график можно узнать значение функции в конкретной точке. В правой части приведена шкала, сопоставляющая большие значения цветам тёплого оттенка, и, напротив, низким значениям соответствуют более холодные цвета. Траектория поиска представлена в виде последовательно соединённых точек, принятых методом в качестве экстремума в ходе его итераций. Цифры над точками приведены для наглядности процесса достижения глобального экстремума.

При наведении курсора мыши в верхнюю часть графика появляется панель инструментов, предоставляющая возможности сохранения графика в файл, масштабирования и сдвига графика. Данную панель можно видеть на рис. 1.

Ниже графика расположена панель управления, где пользователь задаёт целевую функцию и ограничения на неё, точку старта, максимально допустимое количество итераций, а также выбирает один из предложенных методов поиска глобального экстремума. После завершения работы выбранного метода приводятся координаты найденного глобального экстремума, информация о количествах итераций метода, просмотренных точек и вычислений целевой функции.

Вычисление целевой функции реализовано при помощи библиотеки math. Данная библиотека, принимая на вход целевую функцию в строковом типе данных, производит построение дерева функции. По данному дереву затем возможно вычисление функции.

Алгоритм расстановки символов умножения

В ходе разработки программы возникали проблемы с настройкой работы библиотеки math. Для решения проблемы были разработаны и внедрены в код программы несколько алгоритмов, который будут описаны далее.

Для построения дерева выражений при помощи библиотеки math требуется указывать в целевой функции операцию умножения символом «*». Так как это может быть неудобно для пользователя, то был разработан алгоритм, который неявно расставляет символы умножения в тех местах целевой функции, где это подразумевается.

Алгоритм расстановки символов умножения:

Шаг 1. Построение дерева выражений библиотекой math.

Шаг 2. Отбор из построенного дерева списков функций, констант и переменных.

Шаг 3. Для каждой открывающей скобки в строке целевой функции: если перед скобкой находится не функция и не символ «*», то поставить символ «*».

Шаг 4. Повторить шаги 1 и 2 для того, чтобы перестроить списки функций, констант и переменных для измененной строки целевой функции.

Шаг 5. Выделить из списка переменных те, которые образованы конкатенацией.

Шаг 6. Поставить между конкатенированными символами символ «*».

Алгоритм переименования переменных целевой функции

Для проведения вычислений *n*-мерной функции в коде программы зарезервированы переменные с именами $x_1 \dots x_n$. Чтобы целевая функция была вычислена, необходимо, чтобы её переменные имели именно такие имена. Во избежание наложения на пользователя ограничений на выбор имён переменных был разработан алгоритм переименования переменных.

Алгоритм переименования переменных целевой функции:

Шаг 1. Создание дерева выражений при помощи библиотеки math.

Шаг 2. Выделение из построенного дерева списков функций, констант и переменных.

Шаг 3. Сортировка списка переменных по возрастанию (от *a* до *z*), предполагаем, что пользователь вводит символы именно в таком порядке.

Шаг 4. Последовательное переименование переменных к виду $x_1 \dots x_n$.

Тестирование разработанной программы

Для проведения тестирования программы была рассмотрена её работа в применении к функции Розенброка: $f(x,y) = 100(y - x^2)^2 + (1 - x)^2$. Точкой глобального экстремума функции Розенброка является $f(1,1) = 0$ [7].

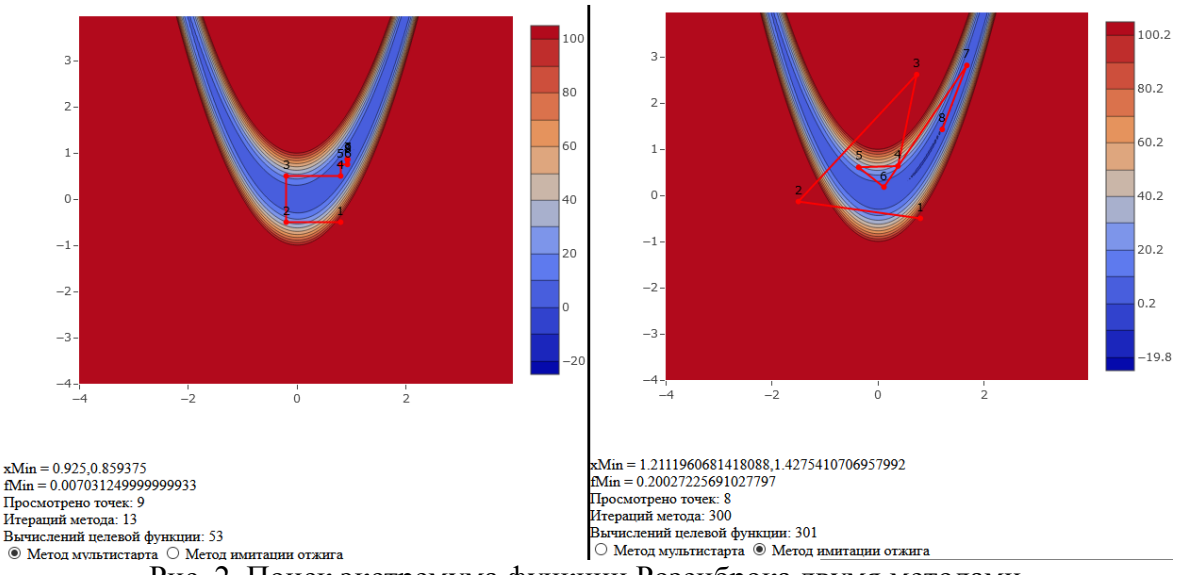


Рис. 2. Поиск экстремума функции Розенброка двумя методами

Найденные точки экстремума:

- Метод имитации отжига: $f(1.211,1.427) = 0.2$.
- Метод мультистарта: $f(0.925,0.859) = 0.007$.

На рис. 2 приведены результаты работы программы. Поскольку получившаяся линия уровня идентична изображённой в статье [7], то можно говорить о том, что линия уровня была построена программой правильно. Найденные точки экстремума оказались близки к истинным, а затраченное на поиск время – приемлемым, что позволяет говорить о правильности запрограммированных методов и подтверждает пригодность применения разработанной программы к задаче поиска глобального экстремума.

Выводы. Итогом работы стала программа для поиска глобального экстремума функций по методам мультистарта и имитации отжига. Проведено тестирование программы на функции Розенброка, которое подтвердило правильность реализации методов и построения графики. В связи с этим можно рекомендовать разработанную программу к использованию. В дальнейшем программа будет иметь поддержку вычисления функции *n*-переменных без ограничений на число *n*, содержать больше методов и параметров для их настройки.

Библиографический список

1. Пантелеев А. В., Дмитраков И. Ф. Сравнительный анализ эффективности метода имитации отжига для поиска глобального экстремума функций многих переменных // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2009. №. 145.
2. Пантелеев А. В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. МАИ-ПРИНТ, 2009. 156 с.
3. Пантелеев А. В., Летова Т. А. Методы оптимизации в примерах и задачах. М. : Высшая школа, 2008. 422 с.
4. Криницын Л. В., Рапопорт А. Н. Глобальная оптимизация : метод. указания по выполнению лабораторных работ. Киров : ВятГУ, 2010. 32 с.
5. Plotly JavaScript Graphing Library | JavaScript | Plotly. URL: https://plotly.com/javascript/ (дата обращения: 17.11.2020).
6. math.js | an extensive math library for JavaScript and Node.js. URL: https://mathjs.org/index.html (дата обращения: 17.11.2020).
7. Rosenbrock H. H. An automatic method for finding the greatest or least value of a function // The Computer Journal. 1960. Vol. 3. № 3. P. 175–184.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Разработка кроссплатформенного приложения для многофункционального центра

Р. Р. Абдулвелеева [a], К. А. Блинов [b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры математики и естествознания [a]
студент группы БПИ-18 [b]
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(Новотроицкий филиал), Новотроицк, Российская Федерация [a, b]
E-mail: rashitovna-2011@mail.ru [a], skips0skips@mail.ru [b]

Аннотация. В условиях пандемии коронавируса посещение различных госучреждений посетителями стало очень проблематично из-за необходимости соблюдения санитарных противовирусных норм. С целью решения данной проблемы разработано кроссплатформенное приложение для многофункциональных центров Оренбургской области, которое позволяет обеспечить централизованный доступ к услугам многофункциональных центров области. В статье излагается обоснование выбранной платформы для создания приложения и этапы реализации проектного решения. Для разработки мобильного приложения использовался Xamarin, фреймворк для кроссплатформенной разработки мобильных приложений с использованием языка C#. Разработаны интерфейс и логика приложения. Мобильное приложение дает возможность любому жителю области получить справочную информацию о выбранном пункте многофункционального центра (адрес офиса, телефоны, время работы, оказываемые услуги в данном офисе и пр.), осуществить предварительную запись на получение необходимой услуги и осуществлять мониторинг количества посетителей, находящихся в «живой» очереди.

Ключевые слова: C#, Android, iOS, Xamarin.Forms, мобильные приложения.

Введение. Современные тенденции цифровизации всех сфер жизни человека предполагают интенсивное развитие программных средств, которые позволяют учитывать существующие реалии, экономить временные ресурсы и денежные средства. С появлением портала государственных услуг время на порядок получения услуг, подачу заявлений, запись на прием к врачу существенно сократилось. Однако не по всем возникающим вопросам и проблемам можно воспользоваться справочно-информационным интернет-порталом, и гражданам приходится посещать многофункциональный центр (МФЦ) для получения необходимых услуг. Посещение МФЦ требует значительных временных затрат на получение консультации или услуги, которое складывается из времени, потраченного на прибытие в офис, получение талона, ожидание электронной очереди на обслуживание, на идентификацию консультантом центра в базе данных личности посетителя только при предъявлении паспорта, получение консультации, возможное повторное прибытие в офис для завершения намеченных целей по-

сещения. При этом обстоятельства зачастую складываются так, что одна из сторон, клиент или офис МФЦ, могут отменить получение услуги.

В сложившейся непростой эпидемиологической ситуации в стране недопустимым становится скопление большого количества людей в офисе центра, и перед МФЦ возникают проблемы мониторинга и отслеживания количества посетителей офиса, соблюдения санитарных противоэпидемиологических ограничительных мер. Одним из способов разрешения этих проблем является поиск средства, которое позволит осуществить дистанционную запись клиентов в любом МФЦ. Следует отметить, что актуальность данной проблемы не пропадет с окончанием пандемии, так как клиентам для решения проблем гораздо проще использовать мобильное приложение, чем посещать сам центр.

С целью обеспечения решения этих социальных проблем разработано мобильное приложение, в котором реализованы следующие функции:

– отображение справочной информации МФЦ (адреса офисов, время работы, телефоны, перечень оказываемых услуг и пр.);

– создание/изменение личного кабинета пользователя;

– осуществление предварительной записи на предоставление услуги в любом МФЦ области;

– проверка статуса заявления по номеру заявления в расписке и ПИН-коду;

– отправление push-уведомлений;

– осуществление мониторинга загрузки МФЦ (количество посетителей, находящихся в «живой» очереди).

Объектом исследования является процесс разработки мобильных приложений. Предметом исследования – изучение платформ и инструментария для разработки кроссплатформенных приложений. Целью исследования являлось разработать программный продукт с перечисленным выше функционалом. Задача исследования – проанализировать имеющийся инструментарий для реализовать функционала мобильного приложения.

Методы исследования. С целью разработки мобильного приложения была выбрана платформа Xamarin Forms. В процессе аналитической работы

было выявлено, что данная среда разработки имеет ряд положительных особенностей:

– Xamarin Forms поддерживает несколько платформ. Основные платформы: Android, iOS, UWP, Tizen. Дополнительные платформы, которые развиваются сообществом: MacOS, WPF, GTK#;

– в процессе разработки приложений создается единый код для всех платформ;

– при создании приложений можно использовать платформу .NET и язык программирования C# (а также F#), который является достаточно производительным и в то же время ясным и простым для освоения и применения.

Все эти возможности позволяют разрабатывать мобильное приложение в короткие сроки и одновременно для нескольких платформ. С помощью Xamarin.Forms один раз создается визуальный интерфейс, к нему привязывается логика на C#, и приложение будет функционировать на Android, iOS и Windows [1]. Далее с помощью рендереров (renderer) – специальных объектов для связи контроллов на XAML/C# с нативными контроллами – транслируют визуальные компоненты Xamarin.Forms в графический интерфейс, специфичный для каждой платформы [2, 3].

Основным шаблоном построения мобильного приложения был выбран шаблон Model-View-ViewModel (MVVM) [4]. Данное решение позволяет разделить все приложение на три этапа разработки: Model, View, ViewModel. Тем самым четко прослеживается разделение бизнес-логики приложения от реализации пользовательского интерфейса. Это помогает устранить проблемы с тестированием, обслуживанием и развитием мобильного приложения.

Рассмотрим связи между тремя компонентами этапов разработки приложения, изображенными на рис. 1.

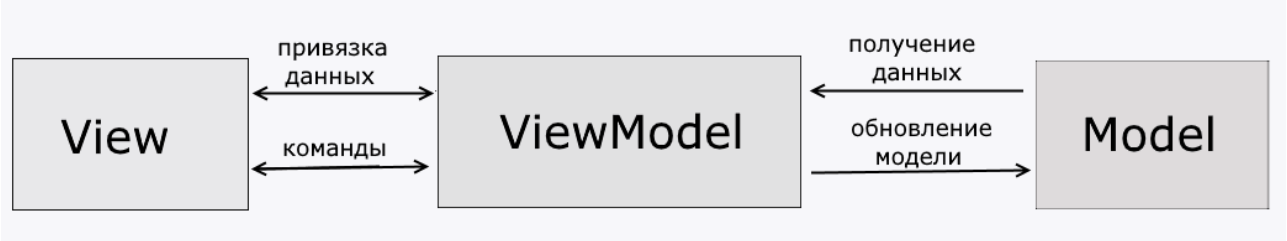


Рис. 1. Шаблон MVVM

Представление (View) – макет, структура внешнего вида мобильного приложения, то есть то, что пользователь видит на экране смартфона. Каждая страница приложения определяется специальным языком разметки XAML. Это позволяет создавать и редактировать интерфейс, при этом не затрагивая логику всего приложения. Для взаимодействия представления приложения с логикой программы использовано свойство элемента управления Command. При вызове команды элемента управления будет выполнен код в модели представления приложения.

Модель представления (ViewModel) – свойства, команды, определяет функциональные возможности приложения. То есть с помощью данного блока приложение может осуществлять отслеживание любых изменений состояния в интерфейсе. Любое взаимодействие пользователя с приложением, будь то переход на другую страницу или ввод текста, будет отслеживаться и приводить логику приложения в соответствие в зависимости от происходящего действия. Отметим реализацию асинхронности операций. Во время выполнения какой-либо команды поток пользовательского интерфейса остается незаблокированным (не зависает), что позволяет увеличить производительность программы.

Модель (Model) – классы, инкапсуляции разрабатываемого приложения. Модель рассматривается как модели данных, логика бизнес-процессов и проверки программы. При помощи классов можно получать доступ к данным и кеширование.

Результаты исследований, их обсуждение. Интерфейс пользователя мобильного приложения состоит из пяти вкладок.

Первая вкладка отвечает за стартовую страницу, здесь размещается информация для пользователя о возможных скидках при оплате картой различных видов услуг (госпошлины, штрафов) и других активных акциях. Также в этой вкладке пользователь может воспользоваться блоком уведомлений, где будет отображена история его обращений в выбранный им ранее МФЦ. Окно вкладки показано на рис. 2.

Во второй вкладке пользователь может увидеть актуальный статус поданных им заявок, итоговые вердикты по прошедшим обращениям, получить ПИН-код. Окно вкладки показано на рис. 2.

В третьей вкладке размещены контактные данные, а также часы работы и местоположение ближайшего МФЦ или любого другого центра, который гражданин выберет самостоятельно. Окно вкладки показано на рис. 2.

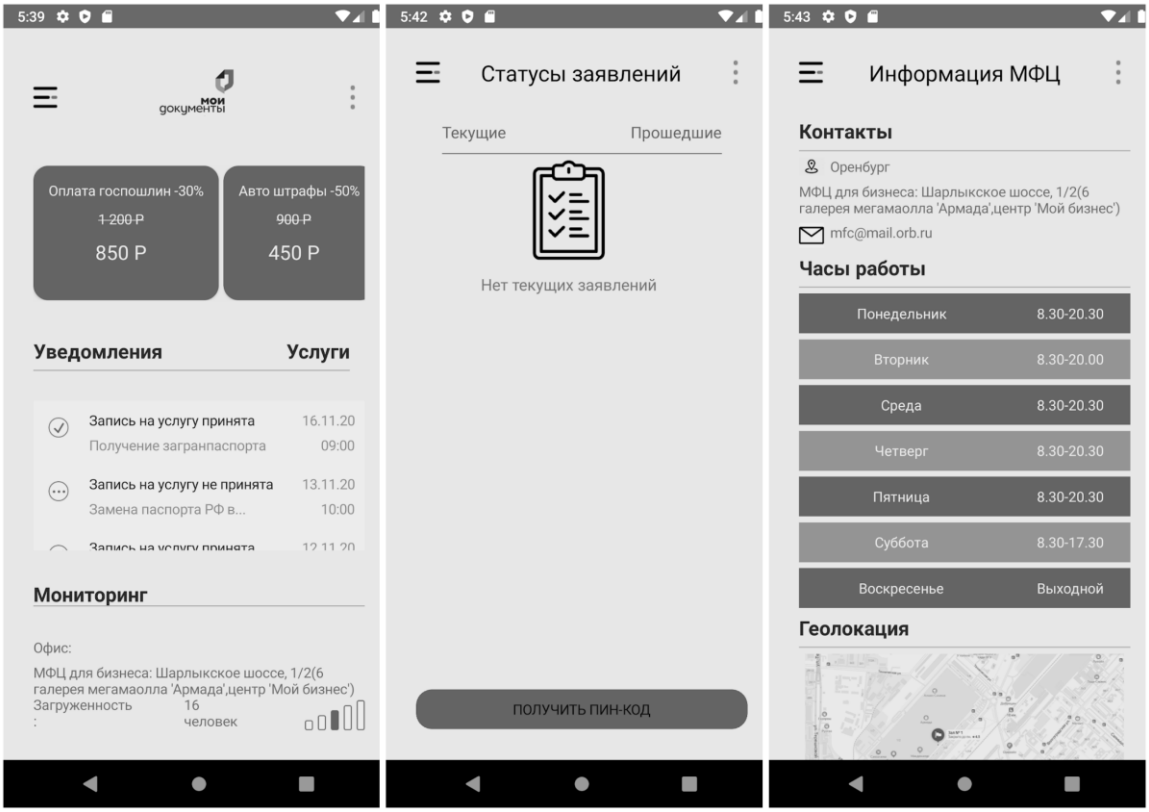


Рис. 2. Вид первой, второй, третьей вкладок мобильного приложения

В четвертой вкладке мобильного приложения находятся различные шаблоны для оплаты по QR-коду, оплаты УИН, по реквизитам и другие. Окно вкладки показано на рис. 3.

В пятой вкладке пользователь получает возможность выбрать подходящий ему МФЦ и заказать услугу. Окно вкладки показано на рис. 3.

Также в приложении реализованы вкладки для регистрации и создания личного кабинета. Во вкладках функционирует всплывающая шторка, с помощью которой пользователь сможет выбрать нужную ему страницу и перейти на неё. Дизайн и интерфейс приложения разработаны с учетом брендбука МФЦ. Интерфейс приложения интуитивно понятный и логичный, присутствует вкладка настроек, где пользователь сможет ознакомиться с приложением и настроить его под свои потребности.

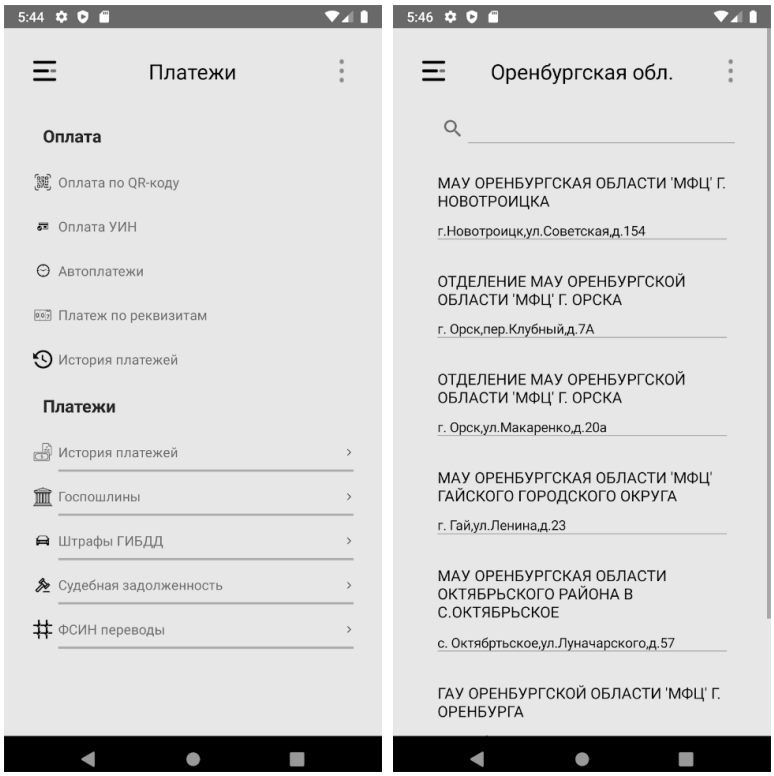


Рис. 3. Вкладки приложения: четвертая, пятая

Разработанное мобильное приложение «МФЦ» было представлено на конкурсе разработок «Хакатон 2.0», организованном министерством цифрового развития Оренбургской области, где проект был одобрен и прошел в финал.

Выводы. Мобильное приложение «МФЦ» разработано, представлено на конкурсе, прошло обсуждение и оценку. В перспективе предполагается добавить функции push-уведомлений и протестировать работоспособность приложения с этим функционалом. С использованием платформы Xamarin.Forms есть возможность изменять и добавлять новый функционал, а шаблон разработки MVVM упрощает и ускоряет не только разработку, но и дальнейшую поддержку приложения.

Библиографический список

1. Документация по Xamarin.Forms. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/xamarin/xamarin-forms/ (дата обращения 29.01.2021).

2. Руководство по программированию для Xamarin Forms. URL: https://metanit.com/sharp/xamarin/ (дата обращения 29.01.2021).

3. Руководство по синтаксису XAML. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/uwp/xaml-platform/ xaml-syntax-guide (дата обращения 29.01.2021).

4. Шаблон Model-View-ViewModel. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/xamarin/xamarin-forms/enterprise-application-patterns/mvvm (дата обращения 29.01.2021).

Разработка сервиса по коллективному управлению многоквартирными домами «Милый дом»

Р. Р. Абдулвелеева [a], Е. М. Иванин [b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры математики и естествознания [a]
студент группы БПИ-18 [b]
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(Новотроицкий филиал), Новотроицк, Российская Федерация [a, b]
E-mail: rashitovna-2011@mail.ru [a], 00ivaninzhenya00@gmail.com[b]

Аннотация. Глобальная цифровизация социальной сферы проявляется и осознается в процессе человеческих интеллектуальных, трудовых отношений. Создание мобильных приложений для городской среды является актуальным. Разработано мобильное приложение совместно с десктопным, которое позволяет улучшить взаимодействие управляющей компании с жильцами и способствует развитию процессов коллективного управления многоквартирным домом. Создан понятный и доступный для широкого круга пользователей интерфейс мобильного приложения, чтобы обеспечить вовлеченность собственников жилья в решение вопросов управления многоквартирным домом с мобильных устройств и других гаджетов. В качестве инструмента для реализации проектного решения выбрана платформа Xamarin. Кроссплатформенность платформы позволила разрабатывать проект на мобильные операционные системы Android и iOS.

Ключевые слова: мобильное приложение, десктоп, кроссплатформенность.

Введение. Управляющие компании стремятся улучшить обратную связь со своими клиентами. В мае 2020 года был принят закон, который позволяет разрабатывать и использовать коммерческие компьютерные приложения для управляющих компаний [1]. Это новый виток монетизации услуг управляющих компаний, а также исполнения социально значимых функций, требует развития и совершенствования имеющихся средств реализации. На рынке мобильных приложений началась активная разработка программ, предназначенных для решения этих задач, в том числе и оператором сотовой связи ПАО «МТС». Такие приложения стали пользоваться большим спросом. Поэтому была поставлена цель – изучить имеющиеся паттерны, возможности различных программных сред и разработать интерфейс мобильного приложения, подобрать инструментарий для реализации в приложении собственного сервиса для коллективного управления многоквартирными домами.

Приложение должно предоставить ТСЖ/УК возможность принимать заявки от жильцов на выполнение работ по обслуживанию дома, устранению проблем, обработку замечаний и жалоб; публиковать отчеты о постановке задач, ходе и результатах решения задач и контролировать их выполнение как с одной стороны, так и с другой.

Основной целью разработки мобильного приложения стало создание интерфейса понятного и доступного для широкого круга пользователей. Приложение позволит обеспечить вовлеченность собственников жилья в решение вопросов управления многоквартирным домом с мобильных устройств и других гаджетов.

Разработка данного приложения позволит автоматизировать многие процессы:

– обеспечит управляющей компании наладку сервиса для приема заявок от жителей на выполнение работ по устранению проблем (аварийные работы, замечания по обслуживанию дома и придомовой территории и др.);

– своевременного и оперативного оповещения жильцов о постановке, ходе, решении соответствующих задач подрядчиками, сотрудниками;

– контроля за результатами их выполнения. Это позволит существенно снизить нагрузку на управляющую компанию.

Жильцы многоквартирных домов зачастую равнодушны к судьбе собственных домов. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства даже разработало специальную методичку с рекомендациями по организации собраний собственников жилья. В условиях цифровизации всех сфер жизни решение этой проблемы возможно в приложении, которое инсталлируется на рабочую станцию пользователя и запускается локально.

Ведущий подход. Начиная с 25.05.2020 года список сервисов не будет ограничен только государственными информационными системами — закон допускает проведение собраний и на иных платформах [1]. Это дает простор для разработки коммерческих компьютерных приложений для управляющих компаний.

Программы, имеющиеся в онлайн-магазине приложений, на данный момент реализованы либо как мобильные, либо работающие на одной платформе, что является недостаточно удобным для пользователей различных гаджетов. Эти недостатки были учтены в разработанном приложении. Всего в онлайн-магазине Google Play 15 подобных приложений. И лишь у одного из них

присутствует функциональная версия на другой платформе, в данном случае веб-сайт. Лишь у двух из всех приложений охват пользователей более 10 000 при рейтинге приложения больше 4,3. Основными проблемами, по мнению пользователей, является агрессивная рекламная политика компании, платная версия подписки и некорректно работающее приложение.

Для разработки проектного решения в качестве инструмента была выбрана платформа Xamarin. Безусловным плюсом данного инструмента является кроссплатформенность. Это позволило разрабатывать приложение одновременно на нескольких мобильных операционных системах: Android, iOS. Переносимость кода при использовании Xamarin составляет 97 %, что позволяет существенно снизить затраты времени и средств на разработку.

Десктопное приложение имеет больше возможностей, чем мобильное. Тандем мобильного и десктопного приложения позволяет произвести охват большей аудитории пользователей, а также вести работу с пользователем с самых популярных платформ. Было использованы возможности кэширования мобильного приложения, за счет чего пользователь сможет просмотреть загруженные им записи без подключения к сети Интернет. Десктоп ориентирован на большее количество людей, так как, во-первых, это самый быстродоступный вариант и, во-вторых, позволяет в большей степени вести обратную связь между разработчиком и пользователем.

Десктопная версия была разработана в соответствии с моделью model-view-controller [2]. Данные, с которыми работают пользователи, представляют данные или содержат модели. Они могут быть простыми моделями представлений, которые только представляют данные, передаваемые между представлениями и контроллерами; или же они могут быть моделями предметной области, которые содержат бизнес-данные, а также операции, преобразования и правила для манипулирования этими данными.

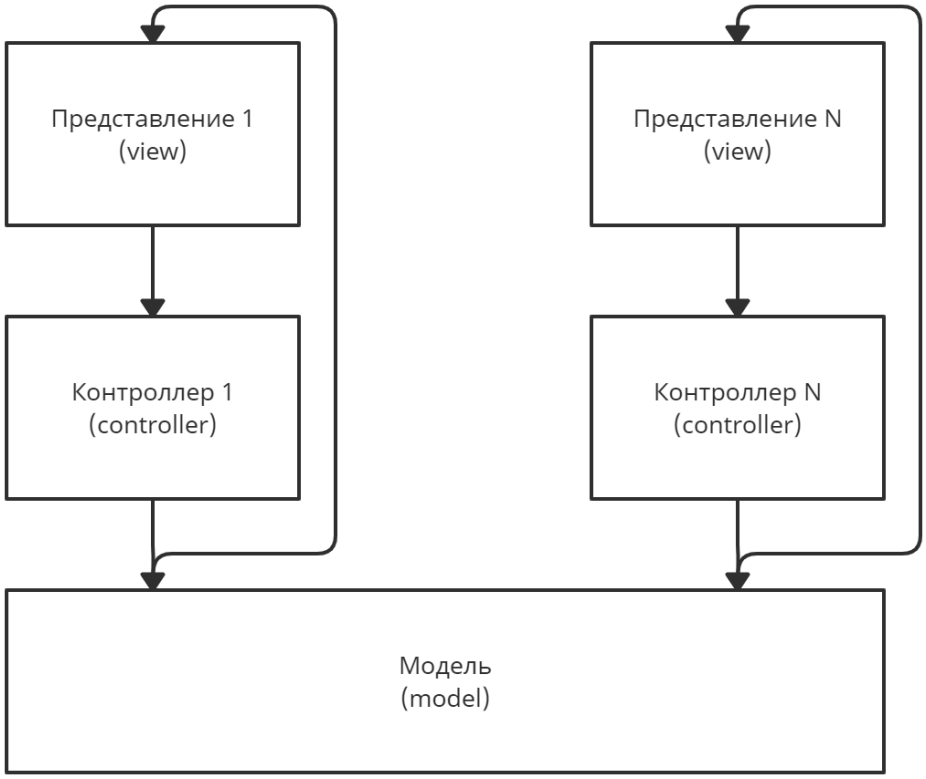


Рис. 1. Структура MVC-модели

Паттерн MVC применяют для визуализации некоторой части модели в виде пользовательского интерфейса. Обрабатывают поступающие запросы, выполняют операции с моделью и выбирают представления для визуализации пользователю.

В качестве пользователей приложения выступают собственники/жильцы многоквартирного дома, ТСЖ/УК, подрядчики (организации или отдельные специалисты). Для функционирования сервиса внешние источники данных не требуются. Регистрационная система принимает внешние системы авторизации/аутентификации, такие как Яндекс, Google, ЕСИА, ВК, Facebook, ГИС ЖКХ.

Результаты исследований. Действуя как субъект управления, управляющая компания осуществляет функции организации и координации процесса взаимодействия участников рынка при поставке домохозяйствам жилищно-коммунальных услуг. Отметим, что управляющая компания несет ответственность перед населением за содержание и обслуживание жилищного фонда и поэтому выполняет социально значимые функции. Результаты ее деятельности оценивают потребители и общество в целом.

В ходе исследования была разработана десктопная версия приложения. Приложение имеет интуитивно понятный интерфейс.

После установки приложения пользователю необходимо авторизоваться – создать аккаунт и зарегистрироваться. Окно авторизации показано на рис. 2. Для регистрации пользователю мобильного приложения необходимо придумать логин и пароль. В дальнейшем вход в приложение и использование его функционала будет возможно только авторизованным пользователям.

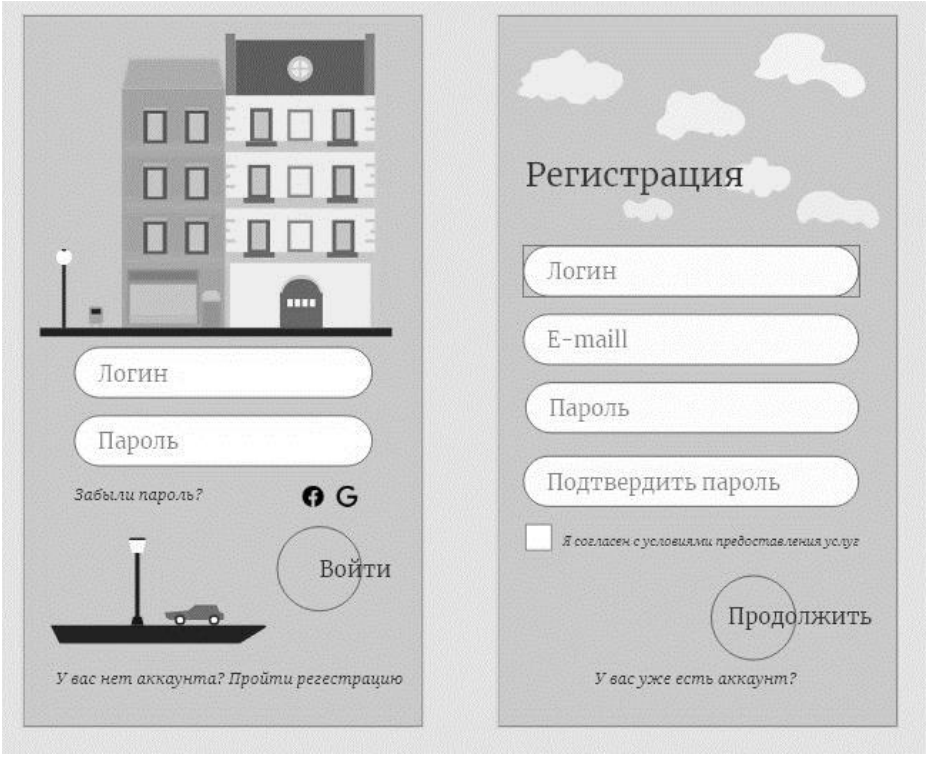


Рис. 2. Окно входа/регистрации мобильного приложения

Интерфейс главного окна мобильной версии приложения включает в себя пять вкладок: «События», «Заявки», «Чат», «Финансы», «Инициативы».

Вкладка «События» предназначена для размещения новостей и объявлений от управляющей компании, уведомлений о том, что касается жителей, например уведомление о дате и времени проведения ремонтных и профилактических работ по отключению подачи воды или газа.

Во вкладке «Чат» работники управляющей компании могут оперативно проконсультировать обращающихся граждан или оказать им помощь по возникшим проблемам.

Во вкладке «Финансы» сгруппированы, структурированы и показаны в удобном виде затраты на различные оказанные или оказываемые управляющей компанией услуги, также пользователи здесь могут вносить показания приборов учета потребления ресурсов.

Вкладка «Инициативы» представляет собой место, где есть возможность для проведения опросов собственников жилья. Опросы могут создаваться как компанией, так и самими жильцами. Граждане, принимающие участие в опросах, могут голосовать методом выбора одного из предложенных вариантов ответа либо сопроводить свой ответ комментарием.

Апробация разработанного приложения была проведена в рамках онлайн-хакатона «Первый», организатором которого выступало правительство Оренбургской области, министерство цифрового развития. Приложение было одобрено и прошло в финал хакатона.

Выводы. Разработанное мобильное приложение позволяет минимизировать дистанцию между управляющей компанией и гражданами, тем самым позволяя ей укрепить свое положение среди подобных конкурирующих компаний за счет получения признания со стороны потребителей услуг. В перспективе развития приложения предполагается добавить функционал дополнительных видов услуг, такие как оплата штрафов ГИБДД, госпошлин и взносов. Также планируется добавить возможность создания шаблонов оплаты услуг.

Библиографический список

1. Жилищный кодекс РФ : федер. закон от 25.05.2020 № 156-ФЗ // Российская газета. 2020. № 114. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Шаблон Model-View-Controller. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Model-View-Controller (дата обращения 29.01.2021).

Разработка кроссплатформенного приложения для мобильных операционных систем Smart Novotroitsk

Р. Р. Абдулвелеева [a], В. Г. Казанцев [b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры математики и естествознания [a]
студент группы БПИ-18 [b]
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Новотроицкий филиал), Новотроицк, Российская Федерация [a, b]
E-mail: rashitovna-2011@mail.ru [a], valdk652@gmail.com [b]

Аннотация. В условиях цифровой трансформации экономики и социальной сферы создание мобильных приложений является актуальным. Разработано кроссплатформенное мобильное приложение «Смарт Новотроицк», предназначенное для жителей и гостей города Новотроицка. Программный продукт реализован на платформе Xamarin.Forms компании Microsoft с целью проверки эффективности этой платформы для разработки кроссплатформенных мобильных приложений. В приложении функционирует множество электронных ресурсов, которые решают проблему удобства, скорости поиска и доступа к информационным сайтам. В процессе создания приложения исследована и реализована технология разработки мобильного приложения на платформе Xamarin, в среде Visual Studio, для операционных систем Android и iOS. Проведен сравнительный анализ выбранного подхода к разработке мобильного приложения с традиционными методами. На основе произведенных измерений скорости работы приложения с помощью инструментов встроенных в IDE было показано, что мобильное приложение, созданное на платформе Xamarin, действительно экономичнее по длине кода и практически не уступает нативному по скорости работы.

Ключевые слова: C#, Android, iOS, Xamarin.Forms, мобильные приложения.

Введение. За последние пять лет рынок мобильных приложений получил ряд принципально новых подходов к разработке. Появились стабильные версии платформ для кроссплатформенной разработки, такие как React Native (Facebook), Flutter (Google), Xamarin (Microsoft). Разработчики как минимум одного из них – Xamarin – заявили, что добились переносимости кода более чем в 90 %, а скорости работы на уровне нативного кода [1].

Объектом исследования является процесс создания мобильных приложений. Предмет исследования – изучение платформ для разработки кроссплатформенных приложений. Целью исследования являлось разработать программный продукт. Задача исследования – изучить реальную эффективность данных платформ по сравнению с традиционными способами создания мобильных приложений.

Город Новотроицк активно развивает цифровую городскую среду: создаются электронные ресурсы, которые решают различные информационные и сервисные потребности граждан. Однако при всём разнообразии различных

информационно-коммуникационных решений агрегатора имеющихся электронных ресурсов и приложений не существует, и жители зачастую даже не знают о том, что под их запрос уже разработан сервис. Из десятков опрошенных жителей разного возраста и профессий только двое из десяти могут назвать хотя бы один из городских электронных ресурсов, которые им известны или которыми они пользуются.

Разработанное мобильное приложение Smart Novotroitsk позволяет решить проблему удобного поиска и использования имеющихся сервисов, а также своевременного информирования пользователей о внедреннии новых сервисов.

Ведущий подход. На данный момент возможности по кроссплатформенной разработке предоставляют несколько платформ: Kivy, Cordova, Ionic, Xamarin.Forms, React Native, Flutter. Часть из них реализуют подход прогрессивного мобильного приложения, поэтому в рамках исследуемого вопроса интереса не представляют.

Xamarin.Forms, React Native и Flutter заявляют, что достигают эффективности нативных приложений в скорости работы, и утверждают, что достигли такой же широты возможностей разработки. Среди данных решений, если ориентироваться на заявления, сделанные разработчиками, выигрывает Xamarin.Forms, поэтому данная платформа и была выбрана для достижения поставленных авторами целей. Платформа поставляется абсолютно бесплатно, с открытым исходным кодом.

В качестве IDE было выбрано решение от разработчиков Xamarin.Forms – Visual Studio. Оно включает в себя редактор кода с поддержкой технологии IntelliSense и возможностью простого рефакторинга, а также отладчик.

Тестируемое приложение Smart Novotroitsk разработано в трёх вариантах, идентичных с точки зрения пользовательского опыта: нативных и в качестве приложения Xamarin.Forms.

Нативные версии разрабатывались с использованием языков Java и IDE Android Studio (официальный инструмент разработки для Android) и Swift с IDE Xcode (официальный инструмент разработки для iOS).

Интерфейс приложения состоит из восьми основных вкладок, разделённых по возрастным категориям и общим категориям. Внутри каждой вкладки находится ещё несколько дополнительных вкладок, разделённых по тематическим категориям, которые содержат в себе кнопки, ведущие на удовлетворяющие данным категориям сайты. Например, внутри вкладки «Дети» находятся такие вкладки, как медицина, образование, отдых и развлечения, красота и здоровье.

Главное окно программы показано на рис. 1.

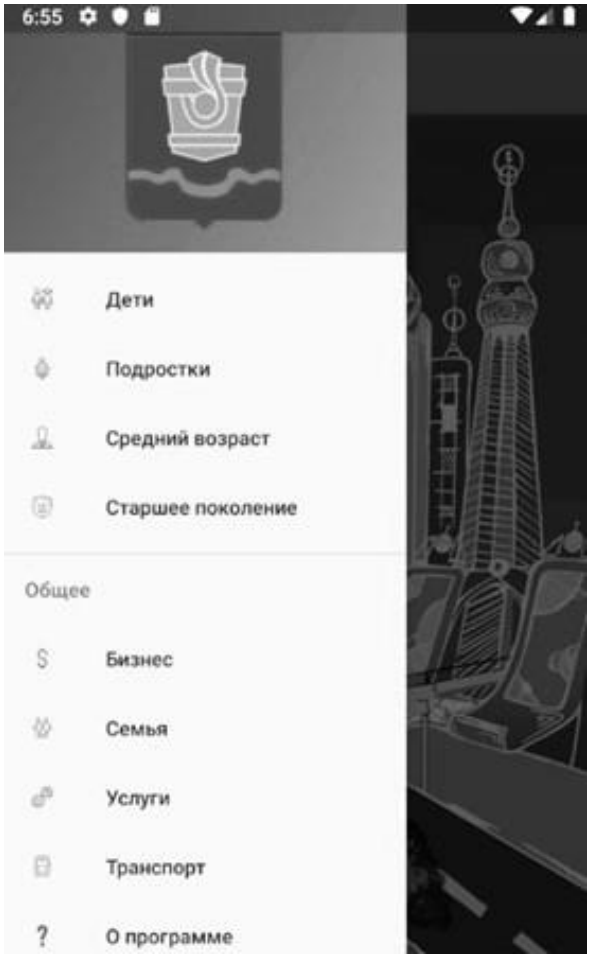


Рис. 1. Главное окно приложения

Для перемещения между вкладками используется компонент CarouselPage – *страница, по которой пользователи могут переходить, пролистывая содержимое, например, по страницам коллекции. Сами же вкладки являются ContentPage – визуальным элементом, являющимся контейнером для других компонентов и занимающим большую часть экрана.*

С технической точки зрения реализация интерфейса происходит с помощью XAML – языка разметки, основанного на XML, а внутренняя логика приложения основана на объектно ориентированном языке программирования C#.

Переход на сайт после нажатия на кнопку происходит путём передачи адреса сайта как аргумента функции компоненту WebView.

Компонент WebView позволяет открывать сайты не во внешнем браузере, а внутри приложения, и это делает работу с ним комфортней и быстрее. Кроме сайтов, находящихся в Интернете, данный компонент поддерживает возможность просмотра HTML-документов, находящихся на устройстве пользователя.

Одна из внутренних вкладок показана на рис. 2.

Рис. 2. Вкладка «Дети»

Описанные выше концепты разработки и названия, применяемые паттерном, являются общими для обоих подходов.

Результаты исследований. В итоге проделанной работы по разработке приложения в версии, реализованной на платформе Xamarin.Forms, было написано всего около тысячи строк кода. Переносимого кода приблизительно 600 строк. Уникального кода для Android ~150 строк, для iOS ~250 строк.

Без применения Xamarin.Forms пришлось дважды прописать переносимую часть кода для обоих операционных систем, то есть 1200 строк вместо 600. Таким образом, использование Xamarin.Forms позволило сэкономить 60 % кода.

Далее были проведены замеры скорости работы приложения с помощью инструментов, встроенных в IDE. Результаты измерений приведены в средних значениях и представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Измерения скорости работы нативного приложения и приложения Xamarin.Forms на устройстве iPhone 7 с iOS 14.4

Вид измерения	Запуск, с	Переключение вкладок бокового меню, с	Переключение вкладок CaruselPage, с
Запуск нативного приложения на iPhone 7	1,2	0,6	0,3
Запуск приложения Xamarin.Forms на iPhone 7	1,7	0,8	0,6

Таблица 2

Измерения скорости работы нативного приложения и приложения Xamarin.Forms на устройстве Redmi 8a с Android 9.0 Pie

Вид измерения	Запуск, с	Переключение вкладок бокового меню, с	Переключение вкладок CaruselPage, с
Запуск нативного приложения	1,8	0,8	0,4
Запуск приложения Xamarin.Forms	2,2	1,3	0,5

Выводы. Таким образом, анализируя собранные данные, можно заключить, что разработка мобильных приложений с использованием платформы Xamarin.Forms действительно даёт разработчикам возможность писать гораздо меньше кода из-за возможности написать части его единожды и далее использовать этот код на другой операционной системе.

Написанный код действительно практически не уступает нативному по скорости работы с точки зрения пользовательского опыта, что было подтверждено представленными в статье измерениями.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что эффективность представленного подхода будет тем больше, чем крупнее разрабатываемый программный продукт.

Библиографический список

1. Официальная документация Xamarin.Forms. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/xamarin/get-started/what-is-xamarin (дата обращения 21.01.2021).

Проблемы малой теплоэнергетики Кировской области

А. Л. Адеков [a], И. А. Десятков [b]
аспирант группы ФЗа-3301-01-00 [a]
главный энергетик [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a]
АО «Вятка торф» [b]
E-mail: adekovandrei@gmail.com [a], ivan109292@gmail.com [b]

Аннотация. В настоящее время малой энергетике не уделяется достаточного внимания, хотя только в Кировской области в данный момент работает порядка 800 котельных малой мощности. Особенно это касается технологий, применяемых при изготовлении и обслуживании твердотопливных водогрейных котельных, в том числе работающих на местных видах топлива (щепа, дрова, торф). В среднем КПД таких котельных составляет 55–65 %, в некоторых случаях не более 40–50 %, топливо расходуется неэффективно. Также имеют место повышенные выбросы парниковых газов (CO_2, NOx).

Цель данной статьи – обозначить основные проблемы и предложить пути решения для поднятия эффективности малых котельных, работающих на местных видах топлива. С этой целью были произведены испытания нескольких твердотопливных водогрейных котлов на котельных в Кировской области. На основании проведенных испытаний была выявлена проблема низкой эффективности эксплуатируемых систем теплоснабжения и предложен ряд мер для изменения положения в лучшую сторону.

Результаты данного исследования применимы для котельных малой мощности со слоевым сжиганием твердых топлив.

Ключевые слова: твердотопливные котлы, малая энергетика, водогрейные котельные, режимы горения.

Введение. В Кировской области на данный момент работает около 270 [6] ресурсоснабжающих организаций в сфере теплоснабжения потребителей: юридических и физических лиц. Учитывая различную специфику работы, задачи и состав потребителей, каждая ресурсоснабжающая организация (РСО) обладает своим набором котельных и котлов в них. Нами совместно со специалистами КОГУП Агентство энергосбережения были рассмотрены несколько котельных с установленными на них котлами различных типов (табл. 1). Проанализировав больше 50 котельных, можно сказать, что эти котельные являются типовыми и состав оборудования аналогичен большинству котельных на территории Кировской области.

Проблемой, рассматриваемой в данном исследовании, является низкий коэффициент полезного действия котельных установок. Задача исследования: выявить причины пониженного КПД и предложить варианты его повышения.

В табл. 1 представлены основные типы и характеристики наиболее распространенных котлов.

Условные обозначения: Д – дрова, Щ – щепа, Т – торф, У – уголь.

Таблица 1

Характеристики котлов

Марка	МВт	Топливо	КПД, %	Т, ух. газов не более, С	Используемая сталь экранных труб	Экранные трубы
КВр-1,16	1,16	Д, Щ, Т, У	84	280	Ст2, Ст3	159*4,5 мм
КВр-2,0	2,0	Д, Щ, Т, У	84	280	Ст2, Ст3	159*4,5 мм
КВм-1,16	1,16	Д, Щ, Т, У	84	280	Ст2, Ст3	159*4,5 мм
КВм-2,0	2,0	Д, Щ, Т, У	84	280	Ст2, Ст3	159*4,5 мм

Методы исследования. Эксплуатация малых котельных бывает сопряжена с большим количеством влияющих факторов (человеческий, качество топлива, техническое состояние оборудования), поэтому наиболее целесообразным методом определения эффективности работы котельной является проведение натурного эксперимента.

КПД рассматриваемого типа котлов, как заявляет производитель, составляет не менее 84 %. При сжигании щепы котлы в основном используются с автоматической загрузкой, но встречаются исключения – использование ручной подачи топлива. На дровах используется исключительно ручная подача топлива. Водоподготовка на котельных не производится, так как по заявлению производителей, «котлы КВр на стальной раме работают без накипи на воде любой жесткости без применения дополнительных средств химводоподготовки и деаэрации. Работа котла на воде любой жесткости обеспечивается инновационной запатентованной конструкцией котла. Данная технология представляет собой вращение воды вокруг оси трубы за счет перепускных патрубков, имеющих поперечные сечения щелевидной формы» [9].

Экранные трубы котла представляют собой секцию-гребенку из определенного числа горизонтально-параллельных труб 159х4,5 мм с шагом 220 мм, заваренных с торцов общим листом и последовательно соединенных между собой тангенциально вваренными в них патрубками, обеспечивающими закручивание водного потока внутри труб. Скоростное спиральное движение воды в трубах предотвращает отложение солей и образование накипи на внутренней поверхно-

сти водяного тракта. [9] При изготовлении котла используются электросварные и цельнотянутые трубы из Ст20, листовой материал из Ст20, 09Г2С, ВСт3сп5, зачастую вместо Ст20 газоходы котлов выполнены из углеродистой стали Ст3 (температура рабочей среды не должна превышать 300 ºС) [7, 8].

Средства измерения параметров котла с ручной загрузкой в основном состоят из термометров и манометров на входе и выходе теплоносителя, в некоторых случаях используются термометры, отслеживающие температуру уходящих газов. Котлы с автоматической загрузкой дополнительно комплектуются щитом управления механизма автоматической подачи топлива, который представлен шнеком или толкателем с гидравлическим или механическим приводом. Щит автоматики оборудован реле времени, на котором задается пауза между порциями загрузки топлива в топку, время на реле времени выставляется оператором в зависимости от температуры наружного воздуха и температурного графика тепловой сети.

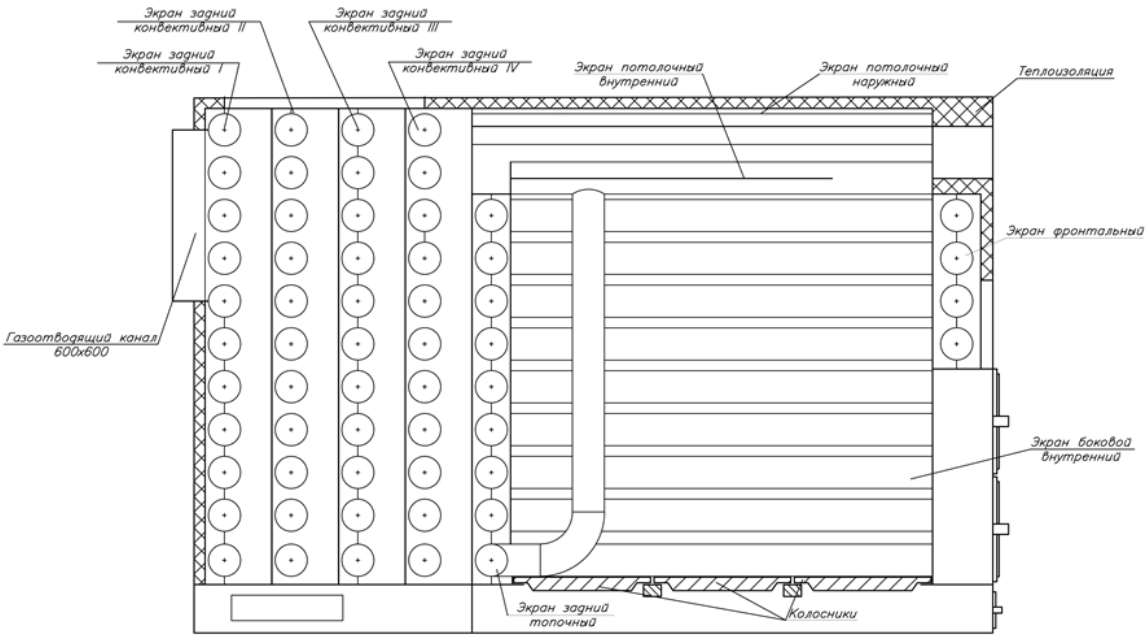


Рис. 1. Котел Квр-1.16

Характеристики котла Квр-1.16

Основные теплотехнические и другие параметры котлоагрегата приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики котлоагрегата

Маркировка по ГОСТ	КВр-1.16
Теплопроизводительность,МВт (Гкал/час)	1,16 (0,998)
Расход топлива при номинальной теплопроизводительности, кг/час ($м^3$/час), дрова	443,0
Аэродинамическое сопротивление котла на уравновешенной тяге при номинальной теплопроизводительности не более, Па	725
Номинальное разряжение в топке котла, Па	20…50
Рабочее давление воды, МПа	0,6
Номинальная температура воды на выходе из котла, °С	95
Номинальная температура воды на входе в котел, °С	70
*Номинальный расход воды через котел, м3/час (т/ч)	41,1
КПД не менее, %	84
Температура уходящих газов, °С	160..280
Оксид углерода (СО)	2000
Твердых частиц, кг/ч	3,2
Объем воды, $м^3$	1,36
Подача воздуха	Естественное дутье

В Кировской области, согласно сложившейся экономической ситуации, местные виды топлива обладают преимуществом перед привозными, поэтому их использование при модернизации котельных более предпочтительно. В качестве местных видов топлива в Кировской области выступают фрезерный и кусковой торф, щепа, дрова.

Талица 3

Характеристики используемого топлива (торф/щепа/опил) – A, W, V, S, Q

WP, %	AC, %	SCOБ, %	VГ, %	QPH,МДж/кг	QPH,ккал/кг
Физико-химическая характеристика торфа кировских месторождений					
46,7	11,5	0,5	67,8	9,17	2190
Физико-химическая характеристика щепы хвойной мелкой					
69,4	0,5	–	–	4,04	965
Физико-химическая характеристика щепы хвойной крупной					
39,2	0,3	–	–	10,18	2431
Физико-химическая характеристика щепы березовой прошлогодней					
56,2	2,3	–	–	7,15	1708

С технологической точки зрения малой энергетике не всегда уделяется должное внимание. Особенно это касается технологий, применяемых при изготовлении и обслуживании твердотопливных водогрейных котельных, в том числе работающих на местных видах топлива (щепа, дрова, торф с добавками

угля). КПД таких котельных в номинальном режиме работы в среднем составляет 55–65 %, иногда не более 40–50 %, соответственно топливо расходуется неэффективно. Также имеют место повышенные выбросы парниковых газов (CO_2, NOx).

Результаты исследований. Рассмотрение вопроса низкой эффективности работы котлов малой энергетики целесообразно проводить на конкретном примере. Рассмотрим водогрейный котёл КВр-1,16, который часто используется в системах централизованного и местного теплоснабжения. Испытания данного котла производились на одной из котельных на территории Унинского района Кировской области в рамках режимных испытаний. Данные представлены в табл. 4 и наглядно показывают, что при выходе на максимальную мощность котел не способен обеспечивать номинальную производительность, при этом КПД котла падает относительно паспортного на 24,9 %.

Таблица 4

Результаты испытаний котла КВр-1,16 на дровах

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕДИНИЦЫ	оп. № 1	оп. № 2	оп. № 3
Теплопроизводительность котла				
Номинальная теплопроизводит-ть ном.	МВт	1,16	1,16	1,16
Теплопроизводительность котла факт	МВт	0,169	0,209	0,631
Тепловая нагрузка котла факт	%	14,57	18,02	54,40
ВОДА				
Расход сет воды через котел факт.	$м^3/ч$	37,2	62	62
Гидравлическое сопротивление расч	$кгс/см^2$	1,74	2,91	2,91
Гидравлическое сопротивление факт	$кгс/ см^2$	1,95	3,26	3,2
КОТЕЛ				
Параметры на входе				
Давление с.в. на входе изм., Р1	$кгс/ см^2$	4,8	6	5,9
Температура с.в. на входе, Т1	°С	44	41	41
Удельный объем	$м^3/кг$	0,001009	0,00101	0,00101
Плотность с. воды	$кг/ м^3$	990,84	992,09	992,09
Параметры на выходе				
Давление с.в. на выходе изм., Р2	$кгс/ см^2$	2,8	2,7	2,7
Температура с.в. на выходе, Т2	°С	48	44	49,9
Нагрев воды	°С	4	3	8,9
ТОПЛИВО-ВОЗДУХ				
Низшая теплота сгорания топлива	ккал/кг	1862	1862	1862
Wp	%	40	40	40
Ap	%	1	1	1
Расход топлива по обр бал	кг/ч	121,7	148,4	492,6
Удельный расход топлива	кг/Гкал	835,7	824,6	908,5

Окончание табл. 4

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕДИНИЦЫ	оп. № 1	оп. № 2	оп. № 3
Масса плотного куба	кг	790	790	790
Удельный расход топлива	$м^3$/ Гкал	1,058	1,044	1,15
Температура холодного воздуха	°С	30,7	30,1	30,4
УХОДЯЩИЕ ГАЗЫ				
Разрежение за котлом	Па	53	31	27
Разрежение в топке	Па	1	1	1
Темп-ра ух. г. на вых из котла	°С	236	256	361,7
Содерж. О2 в ух. г. на вых из котла	%	14,5	13,7	12,2
Коэфф-т изб. воздуха	о.е.	3,19	2,84	2,36
Содерж. СО в ух.г.на вых из котла	ppm	2196	2500	3900
Содерж. NOx в ух.г.на вых из котла	ppm	21	42	55
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ				
Потери тепла на выходе из котла				
– с уходящими газами	%	29	29	36,7
– от химнедожога	%	2,3	2,3	3
– обмуровкой	%	4,4	3,6	1,2
– от мехнедожога	%	3	3	3
– сумма потерь	%	35,7	34,9	40,9
КПД котла по обратному балансу	%	64,3	65,1	59,1

Приведенные характеристики не только показывают возможный перерасход топлива, но и приводят к нежелательным перегревам газоходов котла. Максимальная эксплуатационная температура газоходов составляет 280 ºС, в то время как при эксплуатации температура при проведении опытов достигала 361,7 ºС [1].

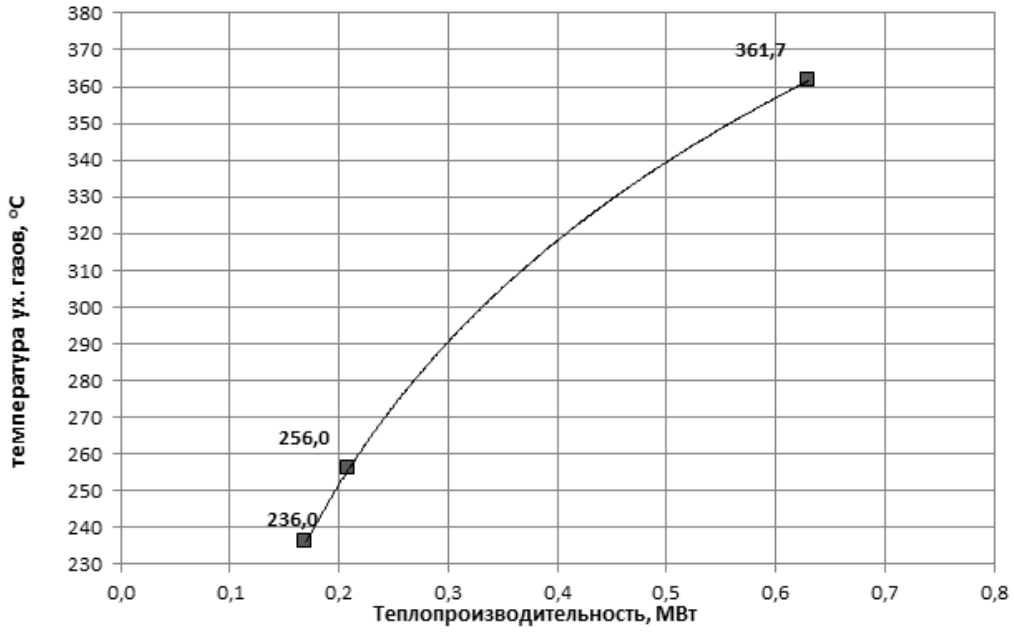


Рис. 2. Температура дымовых газов при проведении опыта

С повышением теплопроизводительности котел КВр-1,16 ведет себя следующим образом: когда высота слоя топлива становится такой, что естественной тяги не хватает для свободного прохода воздуха в зону горения, возрастают потери с химнедожогом; в большом слое дрова сначала отдают влагу, увеличивая объем дымовых газов, затем, подсохнув, начинают гореть с большим выделением тепла, как следствие, возрастают температуры уходящих дымовых газов и потери с теплом уходящих газов.

С повышением тепловой нагрузки во всем диапазоне работы котла КВр-1,16 возрастают потери с уходящими газами из-за роста температур уходящих газов, также возрастают потери от химического недожога, так как растет сопротивление слоя топлива, что ведет к нехватке воздуха для нормального горения, снижается КПД и возрастает удельный расход топлива.

Значительное влияние на процесс горения оказывает высота слоя топлива. С увеличением нагрузки высота слоя топлива становится больше, следовательно, возрастает сопротивление тяги этого слоя. С поднятием нагрузки наступает момент, когда естественной тяги уже не хватает для преодоления сопротивления слоя топлива, воздуха для процесса горения не хватает, увеличиваются потери с химическим недожогом. При расположении топлива непосредственно у экранных поверхностей котла ядро горения оказывается придвинуто к ним вплотную, что вызывает повышение температуры на экранах. Это, в свою очередь, приводит к понижению степени черноты [5] и уменьшению воспринимаемого теплового излучения от факела. При значительном слое топлива эффективная толщина излучающего слоя уменьшается и вода, циркулирующая по котловому контуру в направлении от конвективной части котла по направлению топки, фактически остывает, а не нагревается. Поскольку топливо, загруженное до самого свода котла, полностью перекрывает факел и занимает топочное пространство целиком, процесс теплообмена становится затруднен. При этом топливо, обладающее повышенной влажностью в результате ненормативного хранения, поглощает часть энергии для испарения воды.

Высота слоя топлива в малых котельных значительно меняется в течение времени, так как загрузка топлива оператором котельной, работающей на дро-

вах, всегда осуществляется в максимально возможном количестве для того, чтобы увеличить время между загрузками. Когда происходит загрузка, котел практически гаснет, длина факела становится минимальной. Расход теплоносителя через котел при этом составляет 62 $м^3$/ч. При данном расходе скорость теплоносителя составляет 0,97 м/с. Экранные трубы большого диаметра со слаборазвитыми и загрязненными радиационными поверхностями нагрева не могут прогреть проходящий через них на высокой скорости теплоноситель. При этом производители котлов не дают рекомендаций по ведению топочного режима и эффективной толщине слоя проектного топлива.

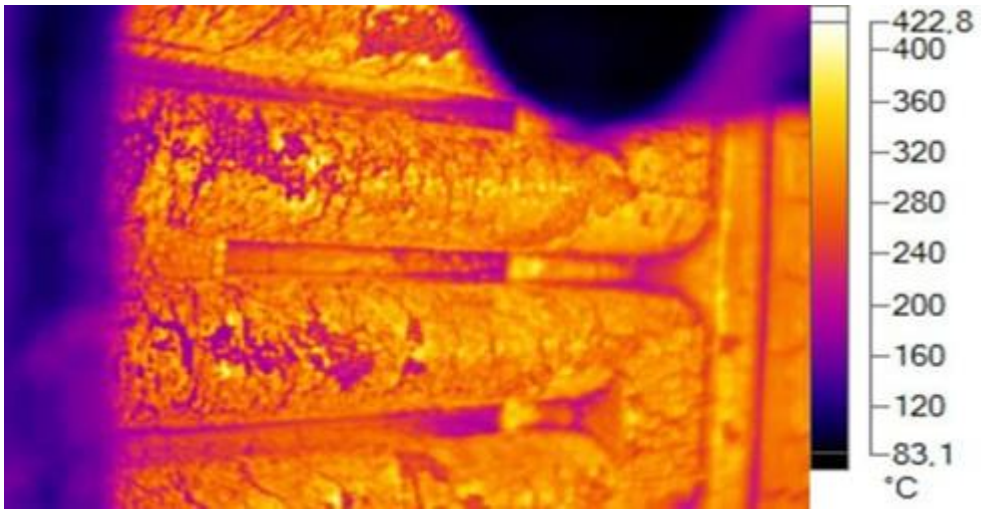


Рис. 3. Термограмма поверхностей нагрева котла КВр-1,16

На приведенной термограмме котла, выполненной с помощью тепловизора Fluke Ti 32, наглядно видны отложения толщиной порядка 2,5–4 мм на поверхностях нагрева, вызванные:

1) высоким уровнем химического недожога;
2) низкой температурой воды на входе в котел;
3) конструкцией котла (избыточный диаметр экранных труб);
4) некорректным ведением режима горения.

Выводы. Проблемы для большинства котельных, рассмотренных вместе со специалистами КОГУП Агентство энергосбережения, являются схожими. В качестве основных причин снижения эффективности работы котельных выявлены:

1. Загрузка топлива на весь объем топочного пространства с максимально возможным временем между загрузками.

2. Отсутствие химводоподготовки на котельных.

Наличие котловой накипи приводит к нежелательным процессам: снижению проходного сечения труб, уменьшению коэффициента теплопроводности, активизации коррозионных процессов [2].

3. Повышенное шлакование поверхностей нагрева котлов.

При использовании твердых видов топлива вероятность шлакования поверхностей нагрева довольно высока. Это может быть вызвано следующими факторами:

– нестабильная температура в зоне горения топлива относительно нормативного режима работы;

– использование непроектного вида топлива;

– температура теплоносителя на входе в котел ниже нормативной, в результате чего на экранных поверхностях котла происходит образование конденсата, происходит налипание летучей золы на теплосъёмные поверхности, образуется теплоизоляционный слой отложений толщиной порядка 3–5 мм;

– недостаточно качественное ведение режима горения, связанное с низкой компетентностью оперативного персонала.

4. Закупка некачественного топлива или использование непроектного топлива.

5. Складирование топлива под открытым небом.

В качестве решения части этих проблем возможно рассмотреть следующие меры:

1. Повсеместное внедрение механизированной подачи топлива. Механизация подачи позволит держать дверцу топки котла закрытой, что приведет к выравниванию температурного профиля топки и предотвратит её расхолаживание.

2. Проведение тепловизионного контроля за состоянием экранных труб и наружных поверхностей котла. Данная мера позволит:

– определять на ранней стадии загрязнения экранных поверхностей;

– находить повреждения обмуровки котла.

Определение этих дефектов позволяет избежать повышенного шлакования экранных поверхностей нагрева и сверхнормативных потерь через обмуровку котла.

3. Проведение режимо-наладочных мероприятий. В случае, если в котельный агрегат вносятся существенные изменения либо котельная переходит на топливо иного поставщика, проведение режимо-наладки позволяет своевременно определить текущую эффективность режима горения топлива и принять меры. [1]

4. В случае проведения модернизации котельной на этапе закупки котла составлять техническое задание совместно с квалифицированным специалистом.

В решении вопроса поддержания оптимального режима может помочь установка автоматических пирометрических либо тепловизионных комплексов [3, 4].

5. Обучение персонала, эксплуатирующего котельное оборудование, непосредственно у производителя котлов либо в соответствии с его требованиями.

Библиографический список

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / коллектив авторов ; под ред. Н. В. Кузнецова и др. 2-е изд., перераб. М. : Эколит, 2011. 296 с.

2. Допшак В. Н., Асташев С. Ю., Бяков А. Г. Оптимизация технических решений в теплоэнергетике // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. С. 96–99.

3. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Десятков И. А. Проблемы измерения температуры продуктов сгорания в энергоустановках // Седьмая российская национальная конференция по теплообмену. 2018. С. 41–44.

4. Боровский А., Герасимов Л., Дружинин С., Мядзелец Д., Сидоренков А., Филиппов В. Пирометрический измерительный комплекс для стационарного контроля пылеугольной топки // Современные технологии в автоматизации. 2000. № 4. С. 70–77.

5. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Рукавишникова Р. В., Пахмутов А. А., Десятков И. А. Определение степени черноты отложений летучей золы на рабочих поверхностях теплообменника и водогрейного котла КЕВ-6,5-14-115 СО, работающего на торфе // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сб. ст. всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2016. электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 1698–1705.

6. Тариф на тепловую энергию для населения. URL: https://www.rstkirov.ru/tarify/tarify/ (дата обращения 05.01.2021).

7. Котлы водогрейные твердотопливные на стальной раме. URL: https://www.tpvtek.ru/production/kotly-vodogreynye/kotly-vodogreynye-tverdotoplivnye-na-stalnoy-rame-kvr-123/ (дата обращения 01.12.2020).

8. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки (с Изменением № 1) : принят 09.12.2005 ; дейст. с 01.07.2008. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200052847 (дата обрушения 10.01.2021).

9. Пат. 2150047. РФ, МПК F24H 1/00. Водогрейный котел : № 98118983/06, заявл. 1998.10.19 опубл. 2000.05.27 / С. А. Трусов; Т. А. Лопаткина; С. А. Трусов; А. Б. Малышев.

Автономный штамповый блок для пневмоформовки листовых материалов в состоянии сверхпластичности

К. Ю. Апатов [a], Д. А. Ворошилов,[b] А. Б. Керов [c], С. А. Мирошин [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения [a]
студент группы МСм-2801-02-00 [b, c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr03913@vyatsu.ru [a]

Аннотация. Статья посвящена разработке конструкции штамповой оснастки для обработки листовых деталей в состоянии сверхпластичности.

Обработка металлов давлением (ОМД) в состоянии сверхпластичности обеспечивает получение относительных удлинений на 40…100 % больших, чем при обычных способах ОМД, таких как штамповка, формовка или вытяжка упругим пуансоном. Кроме того, обработка давлением в состоянии сверхпластичности позволяет получать детали сложной конфигурации их титановых и высокопрочных алюминиевых сплавов (например, детали летательных аппаратов), которые не поддаются обработке традиционными способами ОМД.

Однако предлагаемый способ имеет ряд недостатков, таких как необходимость использования крупногабаритного и дорогостоящего прессового оборудования.

Таким образом, целью данной работы было спроектировать конструкцию автономного компактного и транспортабельного штампового блока для формовки листовых деталей в состоянии сверхпластичности.

Проектирование штампового блока осуществлялось с использованием твердотельного моделирования в системах SolidWorks и КОМПАС. Для оценки конструктивной прочности разработанной конструкции проводились модельные эксперименты с использованием метода конечных элементов в системе Ansys Multiphysics.

В результате была разработана конструкция штамповой оснастки, позволяющая получать детали со сложным поверхностным рельефом из листовых заготовок и возможностью использования предлагаемых конструктивных решений для создания оснастки для формовки объемных деталей. Проведены необходимые расчеты конструкции на прочность и качество получаемых деталей. Проведена пробная формовка листовых деталей с рельефом на поверхности из медно-цинкового сплава.

Предлагаемая конструкция штамповой оснастки может быть использована для получения плоских деталей со сложным поверхностным рельефом из сверхпластичных материалов (латунь, титановые и алюминиевые сплавы), а также с незначительной модернизацией (путем замены матрицы) – более сложных объемных изделий.

Ключевые слова: сверхпластичность, обработка металлов давлением, сверхпластическая формовка.

Введение. Сверхпластичность материалов – способность материала при растяжении в определенных температурно-скоростных условиях получать значительные деформации удлинения без образования разрывов, в несколько раз превышающие деформационную способность материала при обычных условиях. При этом сопротивление деформации оказывается в несколько раз меньше и не наблюдается значительного деформационного упрочнения материала.

Условиями существования сверхпластичности у металлов являются ультрамелкозернистая структура материала (размер зерна не более 10 мкм), темпе-

ратурный интервал в 0,6…0,8 от температуры плавления, а также определенные значения скорости деформации. Свойствами сверхпластичности обладают не все металлы и сплавы (даже при указанных параметрах). Наибольшее практическое применение нашли медно-цинковые сплавы (латуни), высокопрочные титановые (например, ВТ6, ВТ8) и алюминиевые сплавы (магналии) [1].

Обработка металлов в состоянии сверхпластичности может осуществляться при штамповке (закрытая объемная штамповка или штамповка кристаллизующегося металла), а также формовке (сверхпластическая формовка-СПФ) сжатым газом. Формовка наиболее подходит для получения деталей сложной формы или плоских с поверхностным рельефом и получила к настоящему времени наибольшее распространение (изделия декоративного назначения из латуни или детали летательных аппаратов из титановых сплавов).

Схемы процессов СПФ приведены на рис. 1.

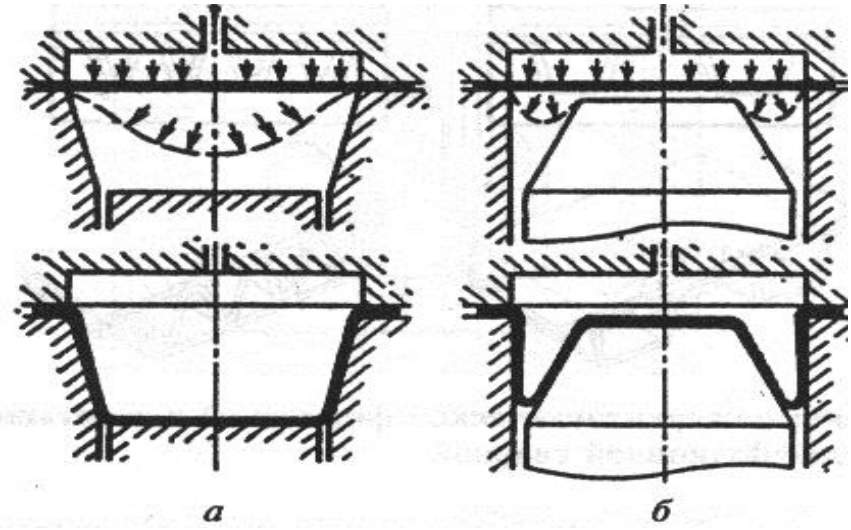


Рис. 1. Схемы процессов СПФ: а – негативная формовка, б – позитивная формовка

Деформация заготовки осуществляется под действием сжатого газа, выполняющего роль пуансона, так как в условиях сверхпластичности не требуется больших значений давления рабочей среды. Важным является обеспечение герметичности пространства между заготовкой и крышкой штампового блока.

СПФ осуществляется в штамповом блоке, который ранее изготавливался на основе пресса, схема которого приведена на рис. 2.

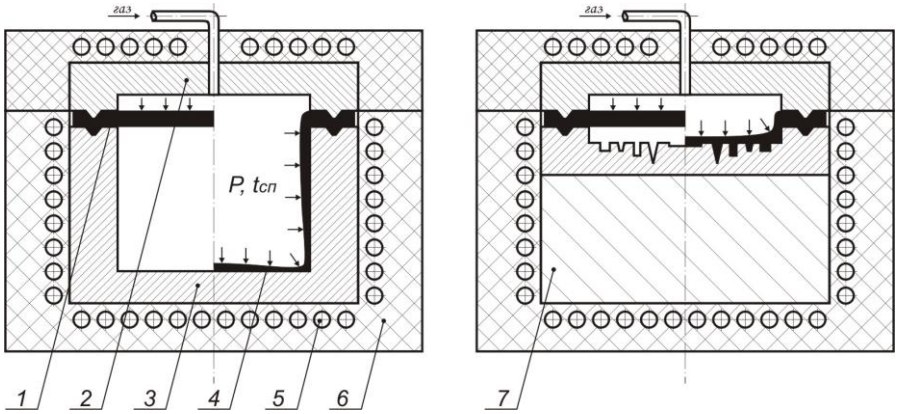


Рис. 2. Типовой технологический блок для СПФ: 1 – заготовка; 2 – прижим; 3 – матрица; 4 – деталь; 5 – нагревательные элементы; 6 – теплоизоляция; 7 – промежуточная вставка

Данная конструкция имеет ряд недостатков: например, прижим крышки осуществляется с помощью гидравлического пресса, нагревательные элементы встроены в корпус штампового блока, что значительно увеличивает его габариты и массу (в том числе за счет теплоизоляции нагревательных элементов).

Таким образом, целью предлагаемой разработки было создание такой конструкции штампового блока, которая бы работала по так называемой «беспрессовой схеме» и, следовательно, имела бы меньшие габариты и массу и не нуждалась бы в применении прессового оборудования.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– выбрана конструктивная схема штампового блока, позволяющая формовать детали без использования пресса для обеспечения герметичности;

– разработана конструкция устройства с использованием твердотельного моделирования.;

– выполнены расчеты на прочность с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

Методы исследования. Предлагаемая конструкция штампового блока рассчитана на СПФ листовых деталей с поверхностным рельефом из латуней при температурном интервале сверхпластичности 550–570 градусов. В качестве деформирующей среды используется углекислый газ под давлением 0,5–1,5 МПа.

Конструктивная схема устройства приведена на рис. 3.

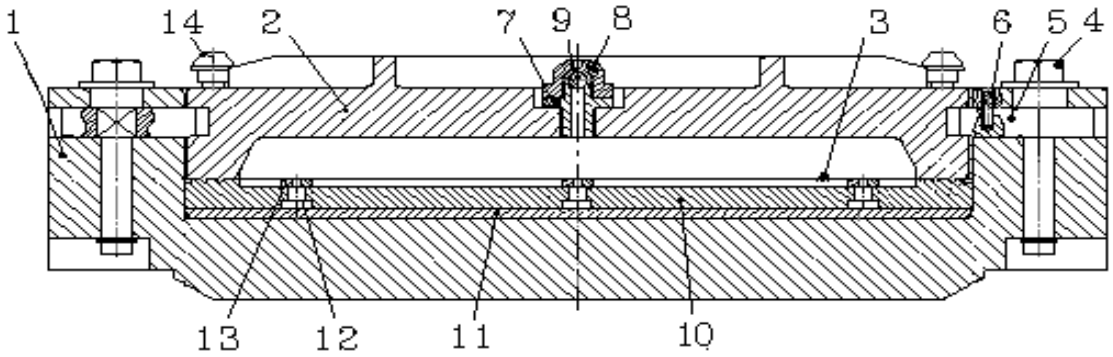
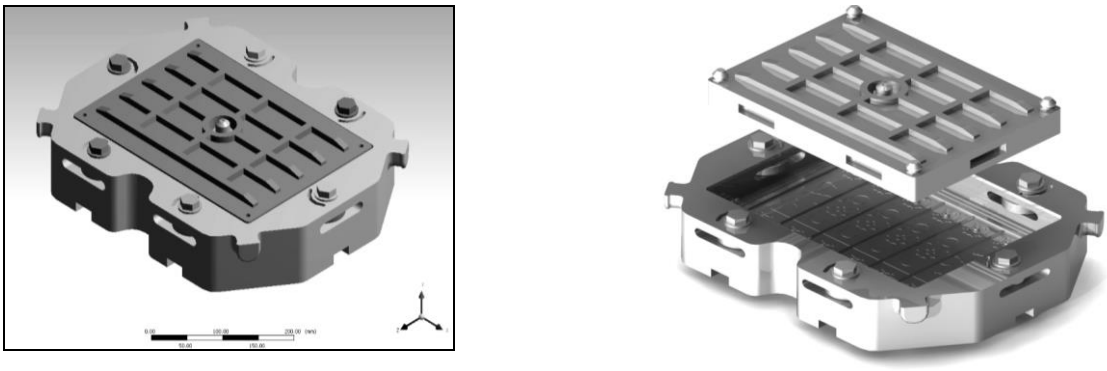


Рис. 3. Схема общего вида штампового блока для получения сборных изделий по беспрессовой технологической схеме

Конструкция штампового блока представлена на рис. 5.1. Он состоит из корпуса 1, съемной крышки 2, под которой размещается заготовка 3, установленных в корпусе специальных замковых механизмов 4 с кулачками 5 и ограничительными штифтами 6. В крышке предусмотрен штуцер 7 подачи сжатого газа, сопло 8 и шарик 9 обратного клапана. Кроме того, имеется сменная формообразующая матрица 10 с опорной плитой 11, установленные в матрице знаки 12, на которые надеваются детали-вставки 13 (количество их в изделии равно шести). В крышке также смонтированы грузовые винты 14, предназначенные для ее снятия в автоматизированной установке. Корпус и крышка усилены ребрами жесткости. Блок выполнен многономенклатурным, т. е. позволяет путем замены матриц получать различные изделия.

Твердотельная модель штампового блока показана на рис. 4. Штамповый блок работает следующим образом: на корпус устанавливается листовая заготовка и закрывается крышка.



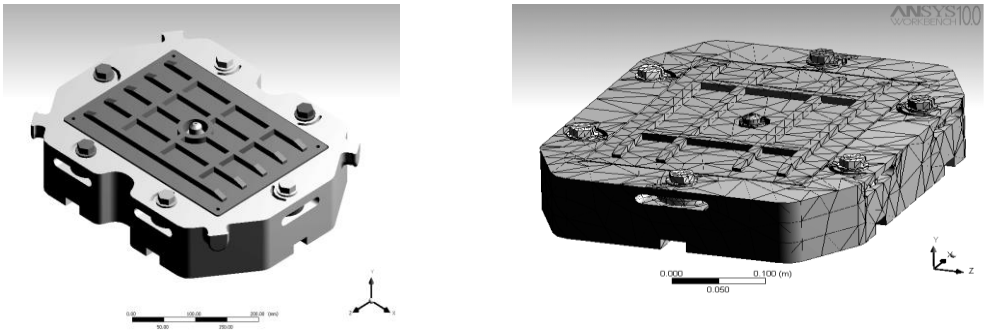
а б

Рис. 4. Автономный штамповый блок для автоматизации процесса СПФ: а – сборка, б – разнесенный вид

После этого с целью герметизации производится опрессовка рифтов по контуру заготовки на маломощном прессовом оборудовании, после чего осуществляется нагрев штампового блока в электропечи до температуры сверхпластичности и последующая выдержка под давлением в течение 15–30 минут. В качестве рабочей среды может применяться сжатый углекислый газ. После обработки штамповый блок извлекается из печи и раскрывается, а обработанная деталь извлекается из матрицы.

Так как основным условием обеспечения работоспособности штамповых блоков для СПФ является прочность и отсутствие деформации стенок корпуса и крышки под действием рабочего давления сжатого газа, которая может привести к разгерметизации, что приведет к остановке процесса деформации заготовки, то наиболее важным было проведение проверочного исследования предлагаемой конструкции на прочность с использованием метода конечных элементов.

Методика исследований следующая: на первом этапе разработанная твердотельная модель импортировалась в систему Ansys Multiphysics (рис. 5а), после чего строится сетка конечных элементов из полигонов (рис. 5б). Далее в базу данных о материалах заносятся данные о стали, из которой изготовлены элементы штампового блока, и назначаются контактные условия между деталями сборки. Следующим этапом задаются условия нагружения и закрепления: давление *1,5 МПа*, действующее на внутреннюю полость блока, температура испытаний *650 ˚С*. После этого постпроцессором системы выполняется расчет, по окончании которого на экран выводятся результаты в виде полей распределений значений напряжений и деформаций.

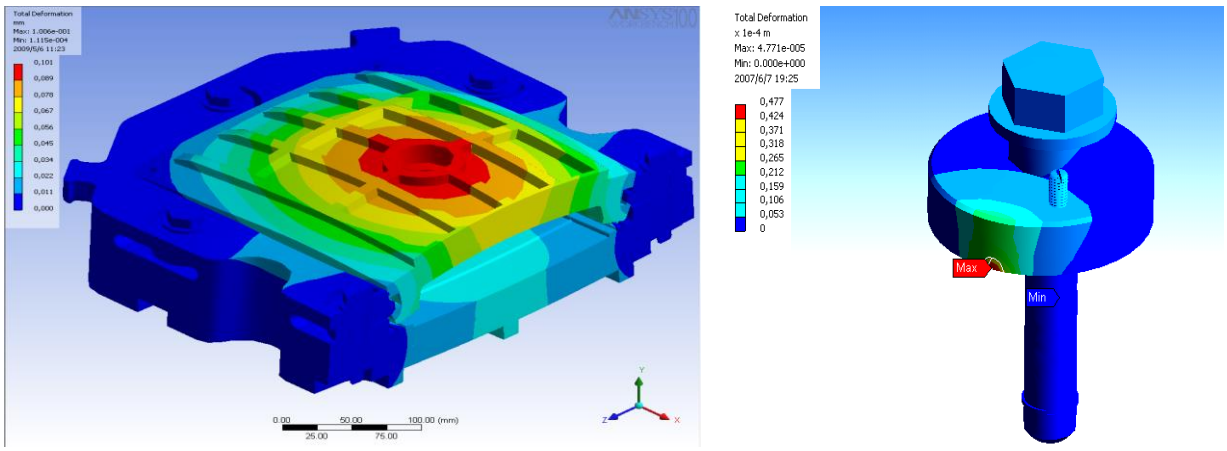


а) б)

Рис. 5. Импортированная трехмерная модель штампового блока (а) и сетка конечных элементов (б)

Результаты исследований, их обсуждение. В результате расчетов было получено следующее распределение деформаций корпуса (рис. 6а). Из рисунка видно, что максимальная деформация наблюдается в центральной зоне и составляет 9,8 мкм. Данная деформация возникает на крышке, ослабленной отверстием под штуцер, но величина этой деформации незначительна и не приведет к разрушению штампового блока, а также к разгерметизации за счет «выдавливания» штуцера для подвода сжатого газа. Деформация дна матрицы с установленной декоративной вставкой составляет 3,3 мкм, что тоже не является существенным с точки зрения обеспечения качества формуемой детали.

Важнейшей частью автономных штамповых блоков являются замковые механизмы, которые призваны удерживать детали блока в постоянном положении друг относительно друга в течение всего процесса формовки. Нами были предложены замки на основе торцевых поворотных эксцентриковых кулачков с углом самоторможения на рабочих опорных поверхностях. На рис. 6б приведены результаты моделирования таких устройств. Замковое устройство также деформируется под действием давления рабочей среды, но очаг деформации невелик и не затрагивает оси вращения замка, что обеспечит отсутствие заклинивания.



а) б)

Рис. 6. Результаты расчетов на прочность:
а) весь штамповый блок, б) – замковый механизм

Выводы. Таким образом, была спроектирована новая конструкция штампового блока для пневмоформовки листовых деталей с рельефом на поверхности в состоянии сверхпластичности, работающая по беспрессовой схеме. Также бы-

ли проведены расчеты предлагаемой конструкции на прочность, напряжения и упругие деформации, которые возникают под действием давления рабочей среды в процессе формовки. Результаты расчетов показали, что данная конструкция имеет значительный запас прочности и может использоваться при формовке деталей не только из латуней, но и более прочных сплавов, таких как титан.

Библиографический список

1. Апатов К. Ю. Разработка процессов получения оболочек сложной формы с поверхностным рельефом из листовой латуни методами сверхпластической формовки : дис. … канд. техн. наук. М. : МИСиС, 2006.

Роботизация процессов сборки изделий машиностроения

К. Ю. Апатов [a], И. С. Пентин [b], Е. С. Байбородов [c], Т. А. Канайкина [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения [a]
студенты группы КТМм-2801-01-00 [b, c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr03913@vyatsu.ru [a]

Аннотация. Технологический процесс сборки является одним из наиболее ответственных и трудоемких в жизненном цикле изделия. К сборке предъявляются следующие требования: точность взаимного расположения собираемых деталей в изделии, качество соединений, высокая производительность и общая культура производства. Совокупность этих факторов позволит получить качественное и конкурентоспособное на рынке машиностроительное изделие.

Сборочные операции в зависимости от типа производства могут осуществляться на стендах (серийное производство) или на поточных линиях сборки и конвейерах (массовое производство).

Как показывают исследования уровня техники на предприятиях Кировской области, большинство сборочных операций осуществляется вручную на стапелях рабочими-сборщиками, тогда как для механической обработки деталей широко применяется автоматизированное оборудование (например, станки с ЧПУ).

Таким образом, вопрос автоматизации операций сборки является важным для современного уровня промышленности.

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности сборочного производства путем применения промышленных роботов (ПР), приводится описание точностных расчетов безотказного процесса соединения деталей с помощью робота, анализ и расчет возникающих погрешностей сборки. Также внимание уделено обеспечению качества и надежности сборочных операций, осуществляемых ПР.

Предлагается методика силового расчета процесса роботизированной сборки.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технологических процессов сборки с применением средств автоматизации в виде промышленных роботов, предварительных точностных и силовых расчетов с целью определения эффективности роботизации при сборке изделия, анализа качества соединений деталей.

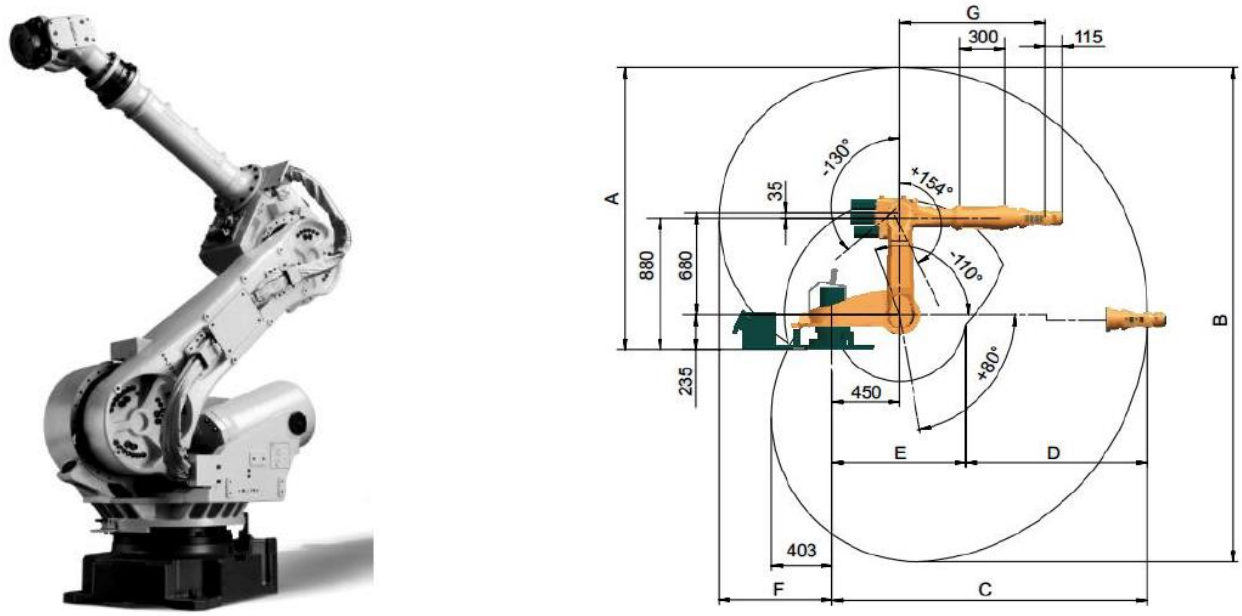
Ключевые слова: сборка, промышленный робот, точность сборки, силовой расчет сборки.

Введение. Трудоемкость сборочных операций в зависимости от конструкции изделия и типа производства может достигать 70–75 % от общей трудоемкости изготовления машиностроительного изделия. Особенно это характерно для условий серийного производства, составляющего в настоящее время более 80 % от общего объема выпуска изделий машиностроения.

К тому же, как показывают исследования уровня техники машиностроительных предприятий, сборка осуществляется в основном вручную (за исключением массового производства, например, автомобилестроения).

Поэтому важным является вопрос автоматизации сборочных операций, в первую очередь для серийного типа производства. Наиболее перспективным в этом направлении является применение промышленных роботов (ПР).

Общий вид промышленного робота, который может быть, использован для автоматизации сборочных операций, приведен на рис. 1(а), возможные перемещения исполнительных органов ПР показаны на рис. 1 (б).



а) б)

Рис. 1. Общий вид сборочного промышленного робота (а)
и схема перемещений исполнительных механизмов робота (б)

Для возможности удержания и переноса собираемых деталей робот должен быть дооснащен захватным устройством.

Но здесь возникает ряд трудностей: обеспечение очень высоких требований точности взаимной ориентации деталей перед их соединением, непостоянство формы и размеров деталей, поступающих на сборку, большое разнообразие деталей, входящих в изделие.

Таким образом, целью данной работы было разработать методику точностных и силовых расчетов, позволяющих определить технологические возможности сборки с помощью робота.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: выполнен анализ размерных связей, существующих в сборочной автоматизиро-

ванной позиции, расчет допускаемой погрешности взаимного расположения собираемых деталей, определение условия безотказности сборки, расчет сборочных усилий.

Методы исследования. Основным критерием возможности применения роботизированной сборки является погрешность взаимного расположения соединяемых деталей и способность робота обеспечить ее требуемое значение.

Поэтому для исследования была выбрана схема соединения деталей типа «вал-втулка» с гарантированным зазором, которая наиболее характерна для большинства изделий машиностроения [1].

Расчетная схема сборки представлена на рис. 2.

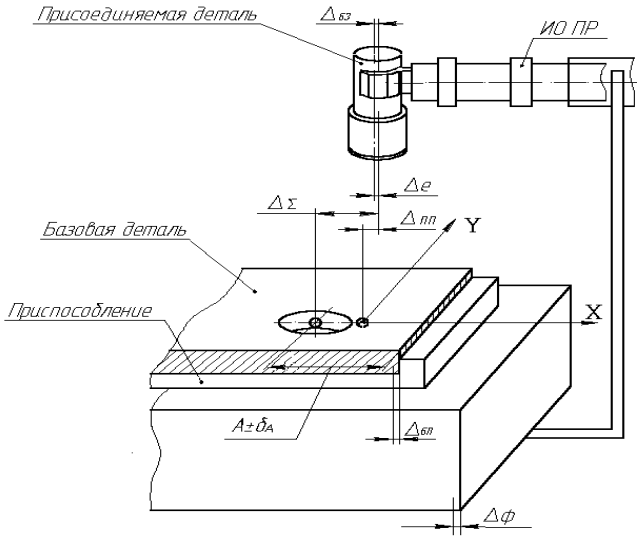


Рис. 2. Схема образования суммарной погрешности взаимной ориентации собираемых роботом деталей

Методика расчетов следующая: сначала задается точностное условие безотказного соединения деталей в изделии, затем нужно определить величину допускаемой погрешности сборки, причем ее значение будет зависеть от наличия упругих компенсаторов в исполнительных органах промышленного робота. После этого необходимо оценить обеспечение безотказности процесса сборки и рассчитать сборочное усилие.

Результаты исследований, их обсуждение. Точностным условием безотказного соединения деталей будет математическое выражение, в левой части которого фигурирует значение суммарной погрешности несовпадения осей вала

и втулки, а в правой – допустимое значение этой же погрешности, определяемой размерами и посадкой, указанной на чертеже.

$$\Delta_{\Sigma\,факт} \leq [\Delta_{\Sigma}\ ]. \quad (1)$$

Величина допускаемой погрешности также зависит от схемы сборки. Так при «жесткой сборке», производимой без каких-либо компенсирующих устройств, эта погрешность равна:

$$[\Delta_{\Sigma}\ ] = Z_p = \frac{d_0 - d_в}{2}, \quad (2)$$

где *Zp* – радиальный зазор в данном соединении, мм; *do* и *dв* – фактические размеры – диаметры отверстия и вала, мм.

Однако, учитывая то, что в современном машиностроении из-за высоких требований по точности собираемых изделий радиальные зазоры чрезвычайно малы, сборка их становится затруднительной. Поэтому более предпочтительной становится «сборка с упругими компенсаторами».

Тогда выражение примет следующий вид:

$$[\Delta_{\Sigma}\ ] = Z_p + \sum C = Z_p + C_B + C_0, \quad (3)$$

где *Св* и *Со* – величины катетов фасок на вале и в отверстии соответственно.

Так как величину фасок задает конструктор при проектировании, можно считать такую допускаемую погрешность смещения осей достаточно большой для практического использования этого метода. Фактическое значение интересующей нас погрешности (без учета постоянно действующей погрешности настройки ПР, которая повторяется в каждом рабочем цикле) можно определить следующим образом:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{ПП}^2 + \Delta_{ф}^2 + \Delta_{БЗ}^2 + \Delta_{БП}^2 + \Delta_{е}^2 + \delta_{А}^2 + \Delta_{z}^2}, \quad (4)$$

где $\Delta_{ПП}$ – погрешность повторного позиционирования захвата с присоединяемой роботом деталью;

$\Delta_{ф}$ – погрешность фиксации транспортирующего базовую деталь устройства (в данном случае – стола);

$\Delta_{БЗ}$ и $\Delta_{БП}$ – погрешности базирования деталей в захватном устройстве робота и в приспособлении соответственно;

Δ_e – погрешность эксцентриситета базовой и сопрягаемой поверхностей присоединяемой детали типа ступенчатого валика;

δ_A – допуск на размер, определяющий координаты центра отверстия;

Δ_z – суммарная величина радиальных зазоров (на сторону) в сопряжениях, полученных на предшествующих переходах.

Следует отметить, что приведенные формулы не учитывают еще ряд составляющих, например линейную составляющую от угла перекоса осей сопрягаемых поверхностей, погрешности закрепления деталей в захватном устройстве ПР и в приспособлении. Однако ввиду незначительности зажимных усилий в захватном устройстве ПР последними погрешностями можно пренебречь.

Расчеты полученных зависимостей показывают, что фактическая величина суммарной погрешности значительно превышает радиальный зазор в сопряжении. Следует учитывать, что точность соединений в современных машинах составляет 0,01–0,05 мм и менее.

Безотказность процесса сборки может быть существенно повышена путем введения компенсирующих суммарную погрешность упругих механизмов направленной жесткости, встраиваемых в захватное устройство ПР.

При рассмотрении силового взаимодействия соединяемых деталей можно выделить следующие усилия:

– осевое усилие (*Po*), действующее на присоединенную деталь (валик) со стороны привода робота через его захватное устройство:

$$P_0 = W \cdot f_1, \tag{5}$$

где W – усилие, развиваемое зажимным механизмом устройства;

f_1 – коэффициент трения между зажимными губками и валиком;

– *Pсб* – сборочное усилие, возникающее в точке взаимодействия детали валика и поверхности фаски.

$$P_{сб} = P_0, \tag{6}$$

$$Q_R = P_{сб} \cdot ctg\alpha, \tag{7}$$

где *Qr* – радиальная составляющая сборочного усилия. Является полезной силой, так как она направлена по радиусу горизонтально и смещает вал стро-

го по радиусу к центру отверстия втулки; *a* – угол наклона фаски в отверстии втулки.

Все механизмы компенсирующего действия работают с использованием этой силы, чем достигается совмещение осей деталей достаточно простым способом. При этом под действием осевого усилия вал продолжает движение вдоль оси отверстия до тех пор, пока точка контактирования не сойдет с кромки фаски. Действующая сила трения между деталями приводит к уменьшению составляющей *Qr*, поэтому в более точных расчетах ее необходимо учесть. Тогда допустимое значение суммарной погрешности можно выразить как

$$[\Delta_\Sigma]_{динам} = Q_R \cdot \left(\frac{1}{j_{пр}} + \frac{1}{j_{зу}} + \frac{1}{j_{БП}} + \frac{1}{j_{дет1}} + \frac{1}{j_{дет2}}\right), \quad (8)$$

где *J пр* – жесткости элементов, входящих в сборочную систему, а именно: исполнительного органа (руки) ПР; его захватного устройства; базового сборочного приспособления; а также обеих собираемых деталей соответственно.

Так как перемещение собираемых деталей осуществляется с помощью захватного устройства ПР, то его жесткость при его проектировании можно целенаправленно изменять (снижать) введением в его конструкцию различных упругих звеньев, которые будут компенсировать изучаемую нами суммарную погрешность.

Робот оперирует деталями, имеющими определенные линейные размеры по длине, которые влияют на величину погрешности положения торца присоединяемой детали, создавая дополнительную составляющую от угла наклона оси этой детали. Поправка от влияния этой составляющей должна учитываться при анализе размерных связей для выполнения операций повышенной точности.

Для нахождения угловой составляющей используем формулу:

$$\Delta_П(\gamma) = l_{ДЕТ} \sin\gamma_{\Sigma i}, \quad (9)$$

где $\Delta_П(\gamma)$ – составляющая погрешности позиционирования от угла наклона детали (контрольной оправки в нашем эксперименте) или угловая составляющая;

$l_{дет}$ – длина детали;

γ_Σ – угол наклона оси детали.

Так как эта величина также относится к случайным погрешностям, то она определяется геометрическим суммированием координатных составляющих:

$$\gamma_{\Sigma} = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2}\ ; \tag{10}$$

$$\gamma_{x} = \text{arctg}\ (\frac{A_x^H - A_x^B}{H}); \tag{11}$$

$$\gamma_{y} = \text{arctg}\ (\frac{A_y^H - A_y^B}{H}), \tag{12}$$

где γ_x и γ_y – проекции угла наклона оси детали на оси координат X и Y соответственно; $\frac{A_x^H - A_x^B}{H}$ – результат измерения положения детали у нижней и верхней кромок зажимных губок соответственно; H – расстояние между кромками.

Таким образом:

$$\gamma_{\sum(i)} = \{ [\text{arctg}\ (\frac{A_x^H - A_x^B}{H})]^2 + [\text{arctg}\ (\frac{A_y^H - A_y^B}{H})]^2 \}^{1/2}, \tag{13}$$

Выводы. Таким образом, в работе была изложена методика расчетов погрешности сборки изделий с применением промышленных роботов, приведены математические зависимости погрешности сборки от конструктивных особенностей собираемых деталей и погрешностей позиционирования, фиксации и базирования деталей, погрешности эксцентриситета и суммарной величины радиальных зазоров, которые определяют точность соединения деталей. Приведены формулы для расчета осевого усилия, действующего на деталь со стороны зажимного устройства робота

Таким образом, вышеизложенный анализ точностных и силовых параметров процесса роботизированной сборки позволяет технологу сделать обоснованный вывод о возможности безотказного процесса соединения деталей в автоматическом режиме, а конструктору – дать рекомендации по проектированию специальных захватных устройств промышленных роботов.

Библиографический список

1. Апатов Ю. Л., Апатов К. Ю. Автоматизация серийного производства деталей применением металлорежущих станков с числовым программным управлением и промышленных роботов : учеб.-метод. пособие / ВятГУ, Политехнический институт, ФТИД, каф. ТМ. Киров, 2017. 225 с.

Формализация критериев и показателей качества в телекоммуникациях

К. А. Батенков
доктор технических наук,
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Орёл, Российская Федерация
E-mail: pustur@yandex.ru

Аннотация. В работе отмечается, что практически всегда возможно выделить набор параметров, относящихся к различным аспектам услуг, и выбрать соответствие между их значениями и интервалом наблюдения. Однако это позволяет оценить только технические характеристики в соответствии с используемыми критериями, но не характеристику услуги в целом. Цель статьи – продемонстрировать основные походы к формализации критериев и показателей качества обслуживания в телекоммуникациях. Ведущий подход – анализ существующей нормативной базы в области оценки качества в телекоммуникациях. Показано, что основным предназначением параметров качества обслуживания является мониторинг телекоммуникационных услуг и проверка достижимости заявленных уровней качества. Основным предназначением представленных материалов является их использование в качестве научно-технического обоснования критериев и показателей, обеспечивающих оценку качества предоставляемых телекоммуникационных услуг.

Ключевые слова: сети связи, качество обслуживания, модель четырех точек зрения, критерий, параметр.

Введение. Существуют принципиальные различия между качеством функционирования и обслуживания [1]. Практически всегда возможно выделить набор параметров, относящихся к различным аспектам услуг, и выбрать соответствие между их значениями и интервалом наблюдения. Это позволяет оценить только технические характеристики в соответствии с используемыми критериями, но не характеристику услуги в целом.

Следует подчеркнуть, что ключевой особенностью любой телекоммуникационной услуги является необходимость использования как минимум двух окончаний на сторонах пользователей. В результате обе стороны могут оказывать влияние на качество услуги, а следовательно, их учет при анализе чрезвычайно важен. Кроме того, поскольку телекоммуникационные услуги являются высокотехнологичными и воспринимаются пользователями комплексно, то психологические аспекты оказываются критичными при оценке качества услуг. В итоге удовлетворенность потребителей – это результат восприятия качества, вытекающий из сравнения их ожиданий с реально наблюдаемыми фактами.

Требования к качеству телекоммуникационной услуги

Качество обслуживания (*QoS – quality of service*) – совокупность характеристик услуги электросвязи, которые имеют отношение к ее возможности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности пользователя услуги [2].

В рекомендации ITU-T G.1000 [3] определена модель качества обслуживания четырех точек зрения. В общем случае модель рассматривает два измерения [4]:

– взаимоотношения между пользователем услуги и поставщиком услуги;

– ожидания и достигнутый уровень качества обслуживания для обеих сторон – пользователя и поставщика услуг.

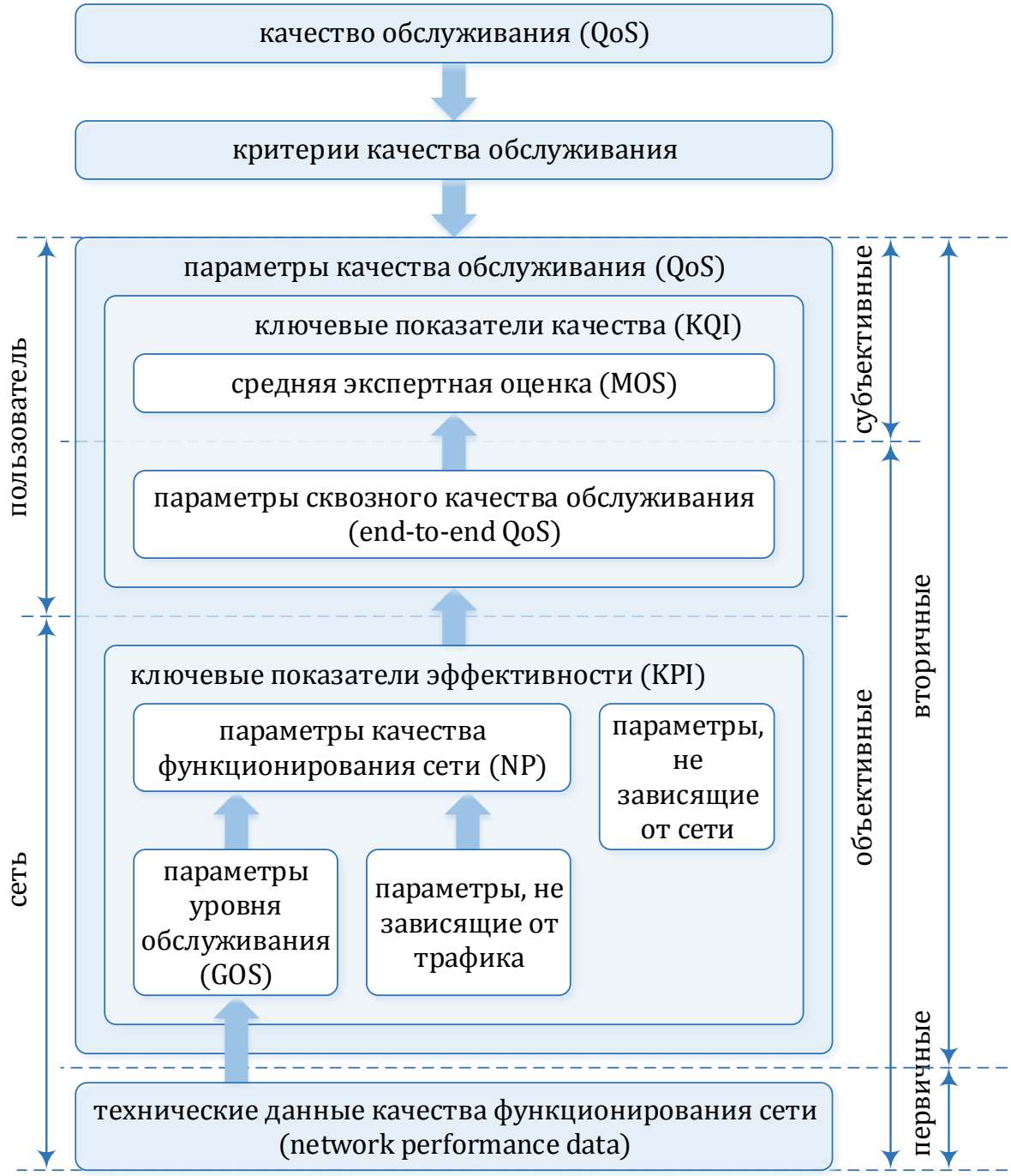
Градация критериев качества обслуживания

При определении критериев качества телекоммуникационной услуги необходимо учитывать вышеупомянутые точки. Формализация критериев и параметров качества обслуживания выполняется в соответствии с конкретикой приложения и контекста [5]. В результате оказывается возможным четко интерпретировать значения критериев и параметров качества обслуживания (см. рисунок). Подобный подход позволяет определить параметры качества обслуживания, интересующие пользователей, а также разработать методы измерения и методологию оценки качества.

Градация критериев и параметров качества обслуживания

При формировании критериев, методов измерения параметров и области их действия учитываются следующие особенности. Критерии и параметры качества обслуживания рассматриваются в рамках конкретной услуги. Критерии качества обслуживания имеют сквозной характер, причем точками контроля являются места подключения терминалов пользователей. Критерии и параметры качества формулируются в понятных для клиентов терминах. Но при необходимости подобные критерии и параметры интерпретируются в технических понятиях, используемых в телекоммуникациях. Предпочтительно формулиро-

вать как потребительские, так и отраслевые термины в рамках терминологии ITU-T для устранения двусмысленности и обеспечения их наиболее полного понимания [6–8]. Приоритетность параметров качества, а также его уровни существенно зависят от сегмента потребителей. Профиль качества обслуживания сегмента потребителей изменяется со временем, и поставщику услуг крайне важно умело реагировать на это. Профиль состоит из приоритетности параметров качества обслуживания, а также требуемых значений параметров.



Градация параметров качества обслуживания

Набор параметров качества обслуживания должен быть понятен пользователям телекоммуникационных услуг. В то же время для различных обстоятельств используются их отдельные подмножества. Так, если конкретный параметр релевантен для пользователей в одних странах или на рынках, то тот же параметр может быть неприменим в других. Например, время установки соединения востребовано в полностью аналоговой сети, но не в цифровой.

В результате пользователи, абоненты, регулирующие органы, поставщики услуг, сетевые операторы и другие стороны, заинтересованные в использовании параметров качества обслуживания, согласованно утверждают их перечень [9, 10]. При этом учитываются:

– предназначение параметров;

– качество и производительность, ожидаемые пользователями современных технологий;

– полезность и значимость параметров с точки зрения пользователей;

– степень надежности сравнения производительности;

– затраты и ресурсы, необходимые для измерения и представления отчета по каждому параметру.

Все эти аспекты оказывают влияние на выбор номенклатуры (исследуемые критерии качества) и количество параметров (степень детализации анализа качества). Несмотря на произвольность набора параметров качества обслуживания, согласованного с потребностями заинтересованных сторон, его формализация должна учитывать имеющиеся международные рекомендации. Таким образом, до введения дополнительных параметров необходимо рассмотреть возможность использования уже существующих стандартов.

Основным предназначением параметров качества обслуживания является мониторинг телекоммуникационных услуг и проверка достижимости заявленных уровней качества. Формализация востребованных и значимых целей в области качества предполагает учет, с одной стороны, области применения и технических возможностей параметров, а с другой – ресурсов и затрат на их измерение.

Параметры качества обслуживания используются поставщиками услуг для управления и совершенствования услуг, а также клиентами с целью подтверждения уровня качества, заявленного в договорных соглашениях. Кроме того, параметры качества обслуживания анализируются регуляторами для создания взаимосвязанных и функционально совместимых сетей и услуг.

Параметры качества обслуживания используются для оценки качества определенных аспектов услуги, причем с различной детализацией, задаваемой целями оценки. Параметры качества обслуживания также могут быть выбраны для измерения качества обслуживания, воспринимаемого пользователем. Таким образом, области применимости параметров качества обслуживания варьируются от исчерпывающей оценки качества до простой оценки общего впечатления от услуги.

Выводы

Формулировка параметров качества обслуживания требует наличия критериев, учитывающих интересы пользователей. Обычно используется таблица (реже просто перечень), задающая критерии качества и распределяющая их по функциональным элементам услуги. Она позволяет составить список всех особенностей, оказывающих влияние на качество обслуживания. Формирование записей в таблице (перечне) проводится различными способами: консультация экспертов, анкетирование, личные и телефонные интервью, анализ жалоб или тематические исследования.

Библиографический список

1. EG 202 009-1. User Group; Quality of telecom services; Part 1: Methodology for identification of indicators relevant to the Users. V. 1.3.1. 2014–12. Sophia Antipolis : ETSI, 2014. 49 p.

2. Rec. E.800. Definitions of terms related to quality of service. 2008–09. Geneva : ITU-T, 2009. 30 p.

3. Rec. G.1000. Communications quality of service: a framework and definitions. 2001. 11. Geneva : ITU-T, 2011. 16 p.

4. Rec. E.804. QoS aspects for popular services in mobile networks. 2014–02. Geneva : ITU-T, 2014. 446 p.

5. Rec. E.802. Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters. 2007–02. Geneva : ITU-T, 2007. 38 p.

6. Батенков К. А. Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53). С. 5–28.

7. Батенков А. А., Батенков К. А., Фокин А. Б. Методы формирования множеств состояний телекоммуникационных сетей для различныхмер связности // Труды СПИИРАН. 2020. Т. 19. № 3. С. 644–673.

8. Батенков К. А. Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18. № 5. С. 1093–1118.

9. Батенков К. А. Анализ надежности многополюсных сетей связи на основе метода минимальных сечений // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019) : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 4 т. / под ред. С. В. Бачевского. СПб., 2019. С. 108–112.

10. Батенков К. А., Батенков А. А. Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. 2018. № 3 (58). С. 128–159.

Использование учебного оборудования для моделирования технологического процесса сортировки пищевой продукции

М. Н. Белоусова [a], К. А. Наземцев [b]
к. э. н., доцент кафедры систем автоматизированного управления [a]
студент [b]
Московский государственный университет технологий и управления
им. К. Г. Разумовского, г. Москва, Российская Федерация [a, b]
E-mail: maryzver@gmail.com [a], kirillka1993@inbox.ru [b]

Аннотация. В работе предложено использование мехатронной конвейерно-распределительной станции для решения задачи по изучению современных средств автоматизации, применению их для реализации технологического процесса сортировки в пищевой промышленности.

В работе спроектирована система автоматизированного управления процессом сортирования пищевой продукции, проведена оптимизация алгоритма выполнения технологического процесса, осуществлено программное и физическое моделирование сортировочно-конвейерной установки.

Моделирование технологического процесса сортировки пищевой продукции в зависимости от типа упаковки осуществлялось на базе распределительно-конвейерной станции Festo. Программирование станции осуществлялось в среде TIA Portal v16.

В результате оптимизации повысилась надежность работы сортировочной станции. В ходе работы доказано, что учебная распределительно-конвейерная станция является эффективным средством обучения по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств в пищевой промышленности и отраслях агропромышленного комплекса».

Ключевые слова: сортировка, мехатронная станция, ПЛК, программирование.

Введение. Автоматизация технологических процессов и производств в пищевой промышленности и отраслях агропромышленного комплекса сопровождается значительным усложнением оборудования, оснащением его современными сенсорами различного типа, комплексами технического зрения, использованием современных приводов, работающих на различных физических принципах. Управление работой оборудования передано от человека системам автоматического управления, оснащенным логическими контроллерами, работающими как автономно, так и во взаимодействии друг с другом, благодаря использованию различных сетевых технологий.

Эффективно эксплуатировать, обслуживать и обеспечивать работоспособность такого оборудования могут только высококвалифици-рованные инженерные кадры.

Использование действующего оборудования в учебном процессе не только затруднительно, но и неэффективно. Во-первых, доступ к нему возможен

только во время прохождения производственной практики. Во-вторых, доступ к изучаемым устройствам и системам предельно ограничен. В-третьих, вмешательство в работу оборудования недопустимо, поскольку любая ошибка учащегося приведет к сбою работы или даже выходу из строя оборудования, что недопустимо в производственных условиях.

Следовательно, процесс подготовки специалистов должен базироваться на использовании специализированного учебного оборудования, содержащего узлы, механизмы и системы, применяемые в современном промышленном оборудовании.

Моделирование технологического процесса сортировки пищевой продукции в зависимости от типа упаковки осуществлялось на базе распределительно-конвейерной станции Festo. Отличительным признаком, имитирующим различные типы упаковки продукции, выбран цвет деталей, входящих в комплект станции: серебристые и черные.

Для разработки системы автоматизированного управления процессом сортировки необходимо было решить следующие задачи:

- Разработать алгоритм работы станции, позволяющий отсортировать в две группы серебристые и черные детали, в произвольном порядке расположенные в гравитационном магазине.
- Написать управляющую программу, реализующую предложенный алгоритм.
- Смонтировать и настроить компоненты станции.

Методы исследования. Решение задач исследования производилось с применением основ теории информационных систем, теории алгоритмов и прикладного программирования, схемотехники, формализации, анализа, экспериментальных методов.

Результаты исследования. В процессе изучения распределительно-конвейерной станции была выявлена проблема: станция использовалась в учебном процессе в качестве подающе-транспортной линии, осуществляющей подачу различных по цвету и материалу заготовок на последующую станцию – стан-

цию упаковки заготовок в картонную тару. Необходимо настроить работу станции и перевести ее в режим работы по сортировке заготовок.

Программирование станции осуществлялось в среде TIA Portal v16.

В процессе работы со станцией было принято решение о необходимости проведения оптимизации процесса сортировки. Решение связано с тем, что процесс сортировки, без перенастройки и переналадки компонентов станции оказывался более громоздким, алгоритм работы – более сложным.

Для описания принципа сортировки до и после оптимизации приведем для сравнения две схемы сортировки, реализованные на станции.

На рис. 1 приведен внешний вид станции и схематичное расположение ее компонентов.

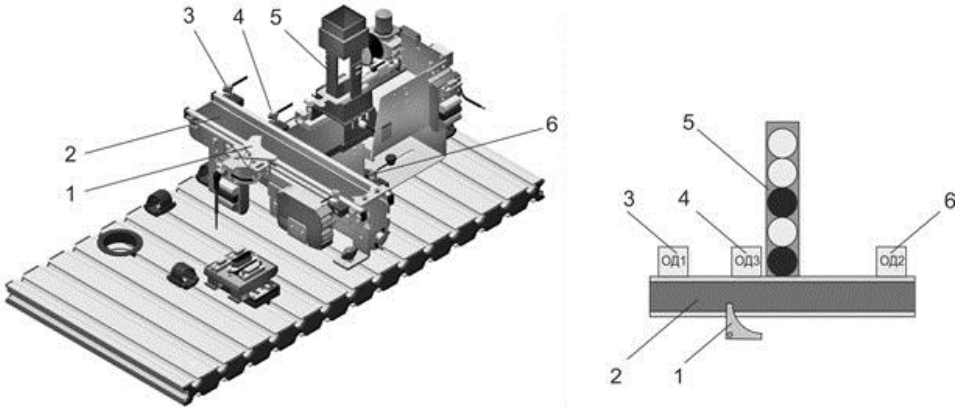


Рис. 1. Конвейерно-распределительная станция и ее схематичное изображение: 1 – стоппер, 2 – конвейер, 3, 4, 6 – оптические датчики, 5 – гравитационный магазин

Процесс сортировки схематически представлен на рис. 2.

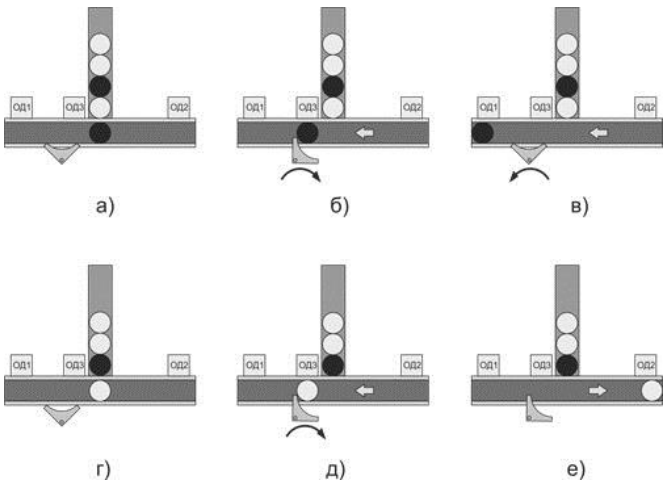


Рис. 2. Процесс сортировки до оптимизации

Из приведенной схемы виден алгоритм работы станции: после подачи заготовки на конвейер (рис. 2а, г) включается стоппер и конвейерная лента движется влево. Детали доходят до стоппера, где посредством оптического датчика ОП3 определяется цвет детали (рис. 2б, д).

Если деталь черная, то стоппер отключается, и конвейерная лента движется влево (рис. 2в). Если деталь серебристая, то стоппер остается включенным, а лента начинает двигаться вправо (рис. 2е).

В качестве оптимизации процесса сортировки предложено исключить из процесса стоппер и установить оптический датчик определения цвета детали ОД3 напротив магазина (рис. 3).

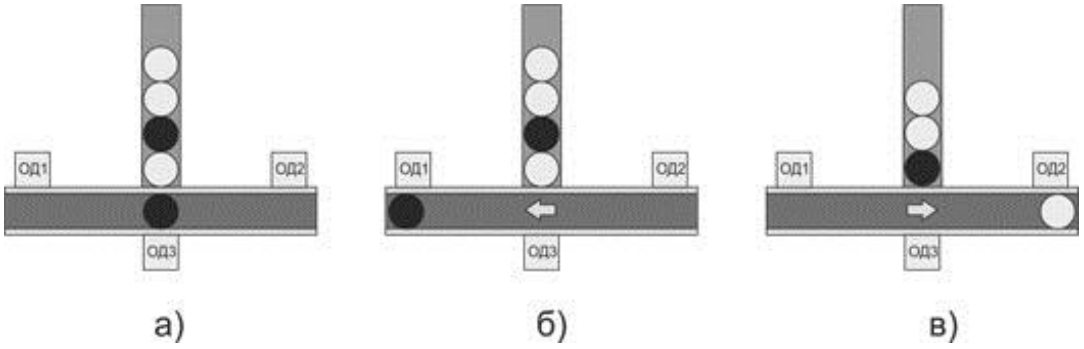


Рис. 3. Процесс сортировки деталей после оптимизации

После подачи детали на конвейерную ленту посредством оптического датчика ОП3 определяется цвет детали. В зависимости от цвета конвейерная лента начинает движение влево или вправо (рис. 3б, 3в).

Текст управляющей программы после оптимизации представлен на рис. 4.

Выводы. Практическая значимость работы – факт решения поставленной задачи: перенастроить работу конвейерно-распределительной мехатронной станции и перевести ее в режим сортировки деталей.

Это осуществили благодаря возможности теоретического изучения и практического использования на учебном оборудовании универсального модульного программируемого контроллера нового поколения S7-1500, предназначенного для автоматизации циклических процессов во всех секторах промышленного производства.

В результате оптимизации повысилась надежность работы сортировочной станции.

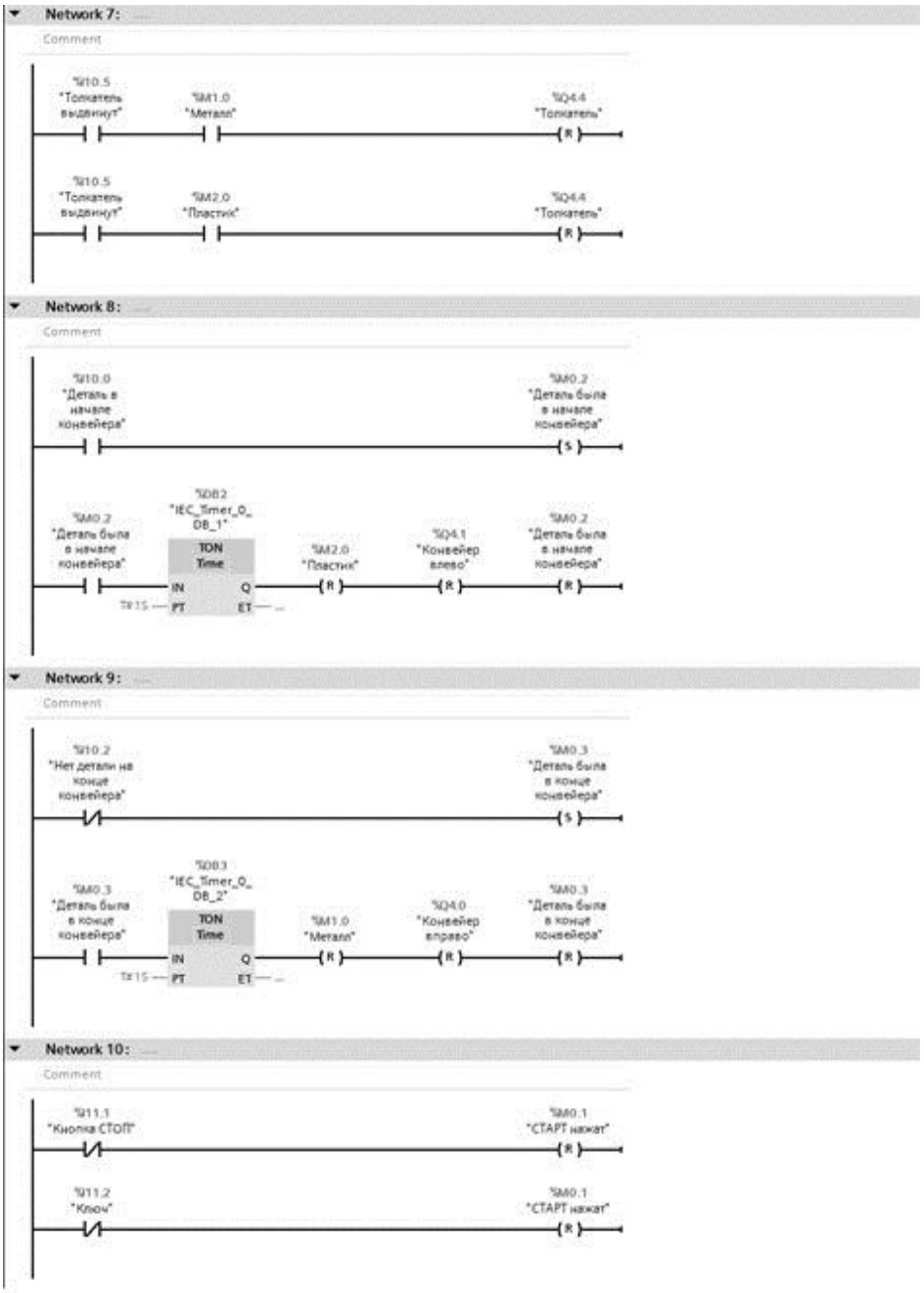


Рис. 4. Текст управляющей программы после оптимизации

Библиографический список

1. Благовещенская М. М., Воронина Н. О., Казаков А. В. Автоматика и автоматизация пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1991.

2. Готлиб Б. М. Мехатроника – основа интеллектуальной техники нового поколения // Введение в мехатронику : учеб. пособие. Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2007.

3. Наземцев А. С. Гидравлические и пневматические системы. Часть 1. Пневматические приводы и средства автоматизации : учеб. пособие. М., 2007.

Оценка погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала по данным восьмибитного АЦП

А. В. Бессолицын [a], Р. П. Вальс [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций [a]
студент группы ЭиЭм-2805-05-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: bessolitsin@vyatsu.ru [a], stud114493@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Рассматривается актуальный вопрос определения условий сохранения приемлемой погрешности определения параметров синусоидального сигнала, если используется восьмибитный АЦП, малое количество выборок за период и ЦИО реализует простой алгоритм первого порядка. Путем численного эксперимента строится распределение величины относительной погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала для разных условий. Показано, что для обеспечения относительной погрешности расчета амплитуды синусоиды не выше пяти процентов достаточно использования восьмибитных АЦП с низкой частотой дискретизации, встраиваемых в микроконтроллеры общего применения, при условии обеспечения двойной амплитуды сигнала на входе АЦП не менее 50 % от диапазона преобразования. Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе при реализации студенческих проектов в области разработки и изготовления микропроцессорных устройств для измерений или реализации функций релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: аналогово-цифровое преобразование, цифровой измерительный орган, алгоритм первого порядка с усреднением замера, относительная погрешность

Введение. В работе микропроцессорных устройств, использующихся в электроэнергетике, важное место занимают цифровые измерительные органы (ЦИО), участвующие в решении задачи оцифровки аналоговых сигналов. Значительную долю среди них составляют сигналы синусоидальной формы как наиболее характерные для силовых электрических сетей. В публикации [1] анализируется погрешность определения параметров синусоидального сигнала по ряду выборок мгновенных значений. В настоящей работе рассматривается более узкая задача оценки условий, при которых погрешность определения амплитуды синусоидального сигнала остается приемлемой, если для аналого-цифрового преобразования применяются восьмибитные АЦП, встроенные в дешевые, легкодоступные микроконтроллеры, используемые в учебных целях.

Вопрос определения амплитуды синусоидального сигнала рассматривается для случая промышленной частоты $f = 50\,\text{Гц}$, что соответствует периоду колебаний $T = 0{,}02\,\text{с}$. Оценка погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала в данной работе выполняется для случая двенадцати выборок за период $N = 12$. Таким образом, период дискретизации АЦП равен:

$$T_Д = \frac{T}{N},$$

$$T_Д = \frac{0,02}{12} = 0,00166(6) \text{ с.}$$

Методы исследования. Зависимость от времени аналогового сигнала, подвергаемого аналого-цифровому преобразованию и последующей обработке, описывается выражением:

$$u_a(t) = U_m \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \varphi_0),$$

где U_m – амплитуда сигнала,

φ_0 – фаза в нулевой момент времени.

При моделировании предполагается, что у восьмибитного АЦП диапазон преобразования равен единице. Тогда код, формируемый на выходе АЦП при квантовании мгновенного значения сигнала в момент времени $t = nT_Д$, определяется по формуле:

$$u(nT_Д) = \left[u_a(nT_Д) \cdot 2^m \right],$$

где $[x]$ – операция округления аргумента x к ближайшему целому,

m=8 – разрядность АЦП.

Алгоритм первого порядка с усреднением замера подразумевает вычисления комплексной величины, характеризующей синусоидальный сигнал, по формуле [2]:

$$\underline{U}(nT_Д) = \frac{1}{2}\left(\frac{N}{\pi} + j\right) \cdot u(nT_Д) + \frac{1}{2}\left(j - \frac{N}{\pi}\right) \cdot u((n-1)T_Д),$$

где N – число выборок за период,

$u(nT_Д)$ – мгновенное значение напряжения (код АЦП) в момент времени $t = nT_Д$,

$u[(n-1)T_Д]$ – мгновенное значение напряжения (код АЦП) в момент времени $t = (n-1)T_Д$.

Амплитуда синусоидального сигнала, исходя из полученных действительной и мнимой частей и с учетом диапазона преобразования АЦП равного единице, вычисляется по известной формуле:

$$\left|\underline{U}\left(nT_Д\right)\right| = \frac{1}{2^m}\sqrt{\underline{U}\left(nT_Д\right)_{RE}^2 + \underline{U}\left(nT_Д\right)_{IM}^2},$$

где $\underline{U}\left(nT_Д\right)_{RE}$ – действительная часть комплексной величины, характеризующей синусоидальный сигнал,

$\underline{U}\left(nT_Д\right)_{IM}$ – мнимая часть комплексной величины, характеризующей синусоидальный сигнал.

Относительная погрешность АЦП и результатов обработки полученных от него данных может быть получена путем сравнения с амплитудой исходного сигнала по выражению:

$$\delta = \frac{\left|\underline{U}\left(nT_Д\right)\right| - U_m}{U_m} \cdot 100\%.$$

Результаты исследований, их обсуждение. В качестве примера в таблице приведены результаты расчетов для случая двойной амплитуды исходного сигнала 90 % от диапазона аналого-цифрового преобразования $U_m = 0{,}9/2$ и фазой в нулевой момент времени $\varphi_0 = \pi/10$.

Погрешность расчета амплитуды исходного сигнала по данным АЦП определяется:

– долей амплитуды измеряемого сигнала в диапазоне аналого-цифрового преобразования,

– начальной фазой измеряемого сигнала.

Пример оценки погрешности аналого-цифрового преобразования и обработки результатов преобразования

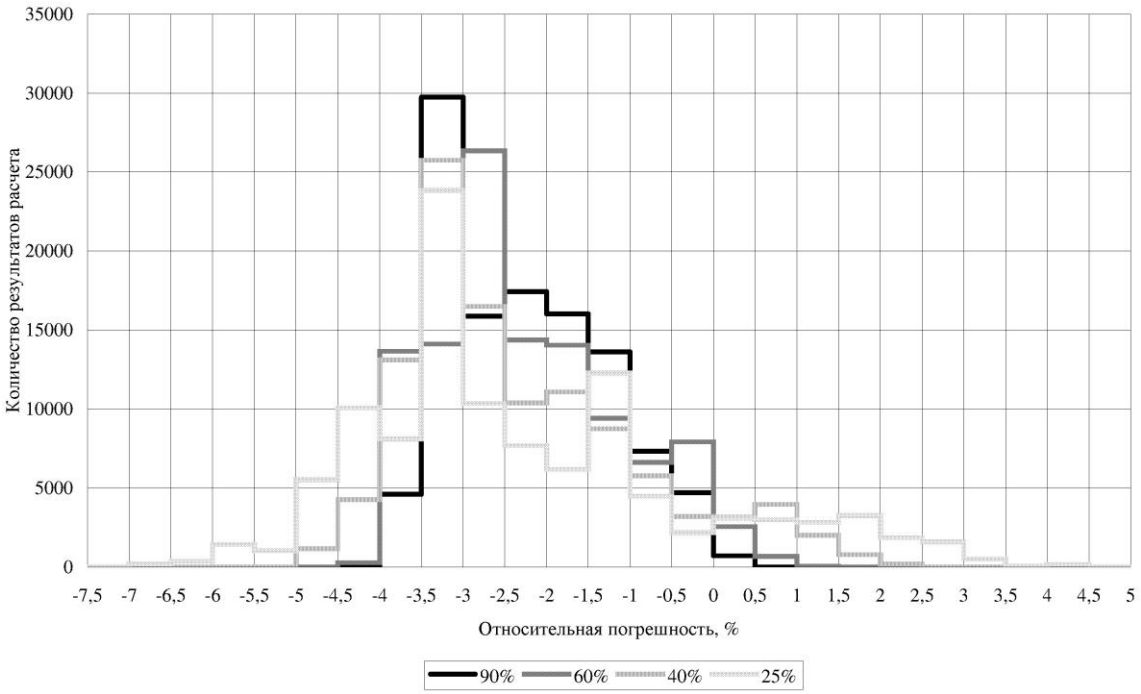
Номер выборки n	Время выборки $nT_Д$	Мгновенное значение сигнала $u_a(t)$	Код АЦП $u\left(nT_Д\right)$	Результат расчета амплитуды $\left\|\underline{U}\left(nT_Д\right)\right\|$	Относительная погрешность δ, %
0	0,0000	0,1391	36	–	–
1	0,0017	0,3344	86	0,4426	-1,64
2	0,0033	0,4402	113	0,4378	-2,72

Окончание таблицы

Номер выборки n	Время выборки $nT_Д$	Мгновенное значение сигнала $u_a(t)$	Код АЦП $u(nT_Д)$	Результат расчета амплитуды $\lvert\underline{U}(nT_Д)\rvert$	Относительная погрешность δ, %
3	0,0050	0,4280	110	0,4361	-3,08
4	0,0067	0,3011	77	0,4405	-2,12
5	0,0083	0,0936	24	0,4419	-1,81
6	0,0100	-0,1391	-36	0,4482	-0,39
7	0,0117	-0,3344	-86	0,4426	-1,64
8	0,0133	-0,4402	-113	0,4378	-2,72
9	0,0150	-0,4280	-110	0,4361	-3,08
10	0,0167	-0,3011	-77	0,4405	-2,12
11	0,0183	-0,0936	-24	0,4419	-1,81

При выполнении реальных аналого-цифровых преобразований как с целью измерения тока или напряжения, так и с целью реализации функций релейной защиты и автоматики начальная фаза входного сигнала может быть любой. Для оценки ожидаемой погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала был выполнен компьютерный расчет для 10^4 вариантов начальной фазы, которая задавалась как случайная величина с равномерным распределением в диапазоне от 0 до 2π. В каждом варианте фазы входного сигнала рассчитывалась амплитуда по данным АЦП для одиннадцати моментов времени, как показано в таблице. Распределение величины относительной погрешности с шагом 0,5 % для четырех случаев двойной амплитуды входного сигнала в 90 %, 60 %, 40 %, 25 % от диапазона преобразования приведено на рисунке.

Как видно из рисунка, алгоритм первого порядка с усреднением замера склонен к занижению величины амплитуды входного синусоидального сигнала, причем чем ниже уровень входного сигнала, тем больше величина относительной погрешности определения амплитуды как в положительную, так и в отрицательную сторону. Относительная погрешность начинает превышать уровень пять процентов при уменьшении двойной амплитуды входного сигнала менее чем 50 % от диапазона преобразования АЦП.



Распределение величины относительной погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала

Выводы. Для решения задачи определения амплитуды синусоидального сигнала с относительной погрешностью не более пяти процентов могут быть использованы легкодоступные восьмибитные АЦП невысокого быстродействия и простейшие алгоритмы первого порядка, реализуемые ЦИО. Однако для исключения увеличения погрешности измерения в случае снижения величины входных сигналов следует схемными средствами обеспечить поддержание уровня входного сигнала АЦП не менее чем в 50 % от диапазона преобразования. Может быть рекомендована программная компенсация систематической погрешности алгоритма первого порядка с усреднением замера, занижающего определяемую амплитуду синусоиды. Полученные результаты могут быть использованы в рамках студенческой проектной деятельности при создании микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, а также цифровых измерительных приборов.

Библиографический список

1. Иванов Ю. М. Анализ метода измерения параметров гармонических сигналов по мгновенным значениям их ортогональных составляющих // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2012. № 4 (36). С 221–225.

2. Никитин А. А. Цифровая релейная защита. Основы синтеза измерительной части микропроцессорных реле. Чебоксары, 2014. 241 с.

Определение граничного значения частоты вращения инструмента для механической обработки внутренней поверхности труб

И. Р. Бондаренко [a], Д. Л. Ибоян [b]
доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов [a]
студент группы ЭТ-192 [b]
Белгородский государственный технологический университет
имени В. Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация [a, b]
E-mail: ivanbond85@rambler.ru [a], davaibo18@gmail.com [b]

Аннотация. Проблема образования водной накипи является распространенной проблемой в ряде областей техники: в теплоэнергетическом комплексе, в жилищно-коммунальном секторе, где зачастую приходится сталкиваться с этим негативным явлением. Возникновение отложений солей кальция и магния на внутренней поверхности труб технологического и нагревательного оборудования ведет за собой увеличение энергетических затрат, снижает производительность работы оборудования, что требует значительного увеличения эксплуатационных расходов. С другой стороны, повышение энергетических затрат неразрывно связано с неизбежным увеличением вредных выбросов в окружающую среду как в процессе производства, так и при использовании энергоносителей. В связи с этим применение методов очистки труб является актуальной областью исследования. Среди методов очистки труб можно выделить следующие: механические, химические, физические. Все из перечисленных методов имеют свои преимущества и недостатки. Преимущества механического метода: экологичность, надёжность, дешевизна (по сравнению с химической очисткой), не требуются высококвалифицированные специалисты.

Ключевые слова: теплообменное оборудование, очистка труб, механический метод, соли кальция и магния.

Введение. При реализации механического метода очистки внутренней поверхности труб нашли применение инструменты различного типа: скребки и различные вращающиеся насадки. Данный тип инструментов (рис. 1) преимущественно использует вращательный тип движения и совокупность с перемещением вдоль оси трубы, вследствие чего разрушаются образовавшиеся на ней карбонатные слои [1].

а) б)

Рис. 1. Устройство для отчистки теплообменных труб:
а – рабочий инструмент установки; *б* – расчетная схема

Однако в ходе работы насадки и щетки снимают не только известковые отложения, они могут повредить внутреннюю поверхность труб. Это может привести к выводу из строя теплообменного оборудования трубопроводов или коммуникаций. В связи с этим определение параметров работы оборудования, при которых не происходит повреждения внутренней поверхности трубы, является важной задачей. Так, например, основным параметром, определяющим динамические силовые характеристики процесса взаимодействия инструмента с материалом, является скорость удара зубцов шарошечного инструмента на внутреннюю поверхность трубы.

Максимальная нагрузка на участке зубцами шарошки на поверхность отложения можно найти из выражения [2]:

$$\sigma_{Д\,max} = \frac{E_{ш} \cdot F}{c \cdot S} \cdot V_0, \qquad (1)$$

где V_0 – скорость удара по поверхности, F – площадь поперечного сечения динамически возмущённого участка шарошечного элемента, c – скорость распространения звуковой волны в зубце, S – площадь поверхности трубы,
$E_{ш}$ – модуль Юнга материала шарошки.

Из анализа формулы (1) видно, что значение максимального динамического напряжения определяется скоростью удара зубцами шарошки, а также геометрическими характеристиками рабочего элемента.

Величина скорости удара может быть определена с учетом схемы, представленной на рис. 2, как

$$V_0 = \omega_{ш} \cdot t_{з} = \frac{\omega_{и} \cdot (D_{Вн} - D_{ш}) \cdot t_{з}}{D_{ш}}, \qquad (2)$$

где $\omega_{и}$ – частота вращения инструмента, $\omega_{ш}$ – частота вращения шарошки, $D_{Вн}$ – внутренний диаметр трубы, $D_{ш}$ – диаметр шарошки, $t_{з}$ – шаг зубцов.

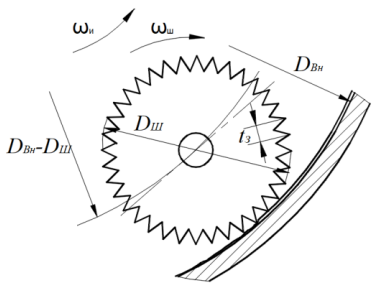


Рис. 2. Схема к определению частоты вращения инструмента

Отсутствие деформацией достигается при условии [3]:

$$\sigma_{Д\,max} \leq НД_Д, \quad (3)$$

где $\sigma_{Д\,max}$ – максимальное динамическое напряжение,

$НД_Д$ – динамическая твердость материала трубы.

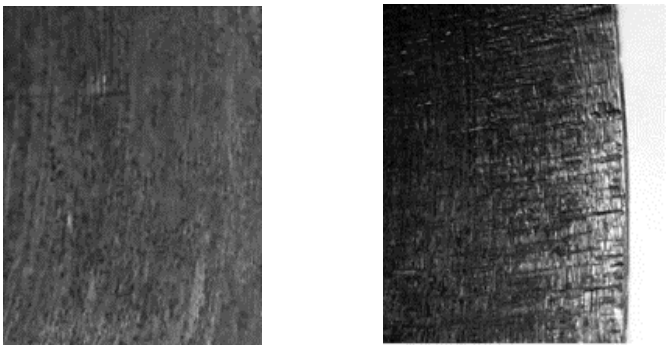
Подставив выражения (1) и (2) в условие (3), получим зависимость, определяющую максимальную частоту вращения механического инструмента:

$$\omega_{max} \leq \frac{НД_Д \cdot c \cdot D_Ш \cdot S}{E_Ш (D_{Вн} - D_Ш) \cdot t_з \cdot F}, \quad (4)$$

С помощью зависимости (4) можно определить максимальный предел частоты вращения, превышение которого недопустимо из-за возникновения местных деформаций и, как результат, нецелесообразного увеличения шероховатости поверхности.

Для материала трубы, изготовленной из стали 20, величина ω_{max} составила 2500 об/мин.

Метод исследования. Для подтверждения данной зависимости был проведен эксперимент по обработке внутренней поверхности трубы диаметром 89 мм при толщине карбонатного слоя 4 мм. Результаты показали, что при частоте вращения менее 2500 об/мин производится полное разрушение карбонатного слоя без повреждения внутренней поверхности трубы (рис. 3 *а*), а при увеличении частоты на 10 %, т. е. 2750 об/мин, происходит видимое визуально определимое повреждение внутренней поверхности трубы (рис. 3 *б*).



а б

Рис 3. Вид внутренней поверхности трубы: *а* – при частоте равной 2500 об/мин, *б* – при увеличении частоты на 10 %

Выводы. Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что зависимость (4) может быть использована для определения верхнего предела частоты вращения инструмента, в границах которой сохраняется целостность внутренней поверхности теплообменных труб.

Библиографический список

1. Методические указания по безреагентным способам очистки теплообменного оборудования от отложений : РД 153-34.1-37.410-00. М. : АООТ “ВТИ”, 2006. 23 с.

2. Балицкий П. В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. М. : Недра, 1975. 293 с.

3. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. М. : Машиностроение, 1986. 220 с.

Применение имитационного моделирования процесса резания при фрезеровании с помощью программного пакета Deform 3D

И. Р. Бондаренко [a], М. Ю. Пирназаров [b]
кандидат технических наук, доцент [a]
студент группы МТ-31 [b]
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
Белгород, Российская Федерация [a, b]
E-mail: ivanbond85@rambler.ru [a], m.pirnazarov@mail.ru [b]

Аннотация. В настоящее время снижение цен на детали и рабочие инструменты машиностроительного производства является актуальным экономическим вопросом. В статье приведен анализ применения имитационного моделирования процесса резания при фрезеровании с помощью программного пакета Deform 3D и сопоставление полученных данных с результатами, приведенными в источниках технической литературы. Целью работы является проверка возможности замены механических испытаний на их имитационный программный аналог. Применение данного подхода позволит снизить затраты на испытания заготовок и рабочих инструментов, а также исключить различные факторы, возникающие при закреплении, изготовлении и механической обработке деталей. В ходе выполнения работы было установлено, что программный пакет Deform 3D показывает приемлемую точность для данного вида имитационного моделирования. Представленный подход может быть использован на машиностроительных предприятиях с целью повышения эффективности процесса обработки.

Ключевые слова: моделирование, механическая обработка, фрезерование, программный комплекс.

Введение. В современном мире всё большее распространение получают различные программы и программные пакеты, находящие применение в различных областях деятельности человека [1]. Это связано с потребностью в облегчении, удешевлении и повышении эффективности различных процессов. Для машиностроительного производства данное направление является особенно актуальным и находит своё применение, в частности, при промышленных испытаниях оборудования, а также на различных этапах конструирования различных изделий и инструмента.

Использование современных технологий позволит исключить изготовление испытательных образцов и тем самым снизить расход материальных и энергетических ресурсов на проведение исследований. Вместе с тем применение IT-технологий позволяет изменять ряд начальных параметров при испытаниях, таких как геометрические параметры изделия и инструмента, прочностные свойства материалов, параметры режима обработки.

В данной статье рассматривается возможность использования программного пакета Deform 3D для проведения имитационного моделирования процесса резания при фрезеровании [2]. Предполагается, что данный подход позволит облегчить и удешевить производственные испытания, такие как испытание на определение силовых параметров резания, а также прочностных параметров при сжатии, растяжении, усталостную выносливость и прочие. Следует отметить, что данная программа позволяет моделировать различные процессы механической обработки в машиностроительном производстве. Вместе с тем несомненно, что важным вопросом является вопрос точности моделей процессов, реализуемых с помощью данного программного комплекса.

Методы исследования. При проведении исследования с помощью программного пакета Deform 3D в качестве входных параметров были выбраны данные, приведённые в соответствующей технической литературе. К таким параметрам относят скорость резания, величину подачи, глубину резания, форму и материал пластин, подачу СОЖ, коэффициент трения и прочие.

На начальном этапе в программе Deform 3D проектируется модель фрезы и обрабатываемая деталь, изготовленная из материала с определенными физико-механическими свойствами (например, стали 45). После задания необходимых параметров производится моделирование процесса резания фрезерованием.

На заключительном этапе производится вывод искомых исследуемых величин из программы. Полученные из программы данные сравниваются с общепринятыми известными данными из технических литературных источников.

После сравнения делается вывод о возможности применения данного программного пакета для имитации процесса резания при фрезеровании для различных испытаний деталей и инструмента.

Результаты исследований. В качестве основы для эксперимента была выбрана модель трехзубой концевой фрезы диаметром $d = 32$ мм (см. рис. 1).

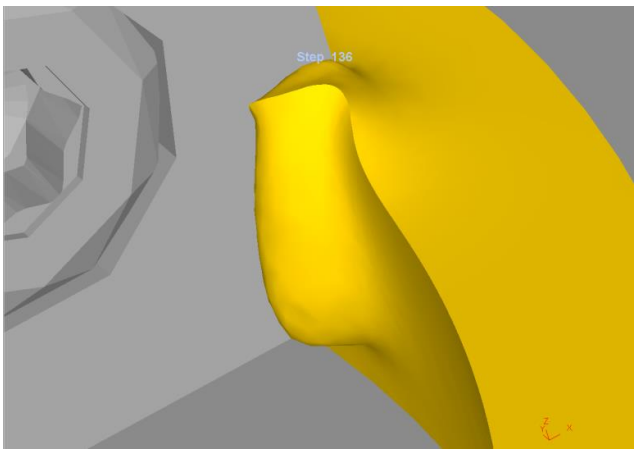


Рис. 1. Модель концевой фрезы в работе

В качестве основных параметров резания были выбраны:

– глубина резания $t = 2$ мм;

– величина подачи $f_z = 0{,}48$ мм/оборот;

– коэффициент трения $\mu = 0{,}45$ (для пары сухого трения «сталь-сталь»);

– обрабатываемый материал – сталь 45 с пределом текучести $\sigma_{0,2} = 360$ МПа.

Полученные результаты представлены на рис. 2.

В ходе эксперимента было получено значение для основной режущей силы 2330 Н.

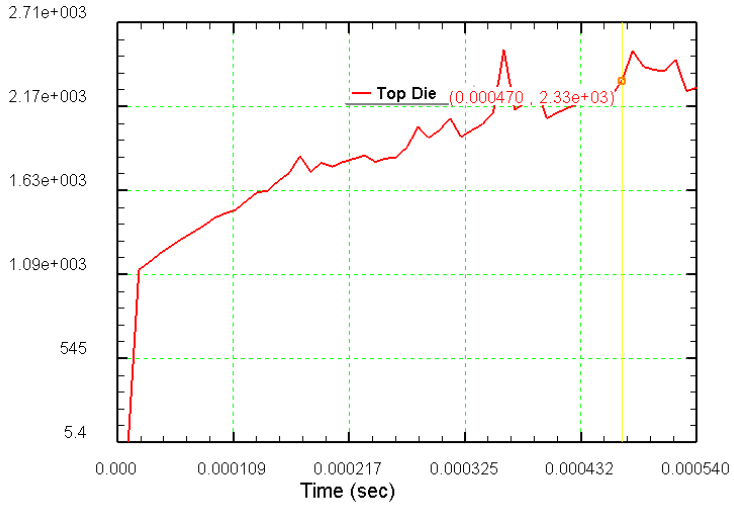


Рис. 2. Результаты имитационного эксперимента

Для представленных нами исходных данных находим в литературном источнике общепринятые известные результаты, необходимые нам для сравнения.

За нормированное значение принимаем значение из экспериментального исследования, представленное в работе Боброва (рис. 3, кривая *2*, для несвободного резания) [3].

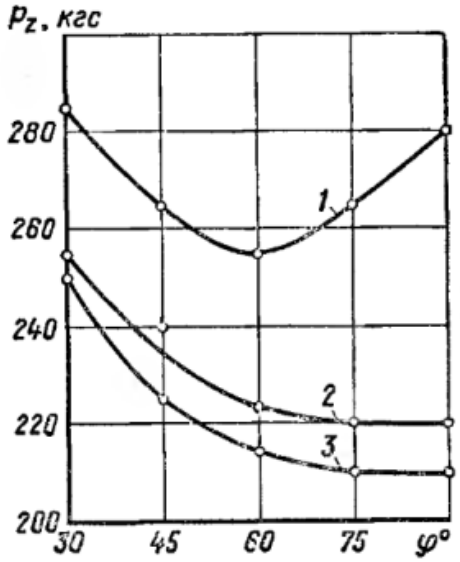


Рис. 3. График зависимости силы резания от главного угла в плане

Сила резания, с опорой на данные источника [3] для несвободного резания с углом в плане φ = 90 градусов, при геометрических параметрах срезаемой стружки, соответствующих принятым при моделировании, составляет около 2158 Н (рис. 3).

В результате сравнения полученных нами результатов с данными, представленными в [3], была получена погрешность, не превышающая 8 %. Такая погрешность является допустимой для данного вида исследования.

Вывод. Таким образом, можно сделать вывод, что программный пакет Deform 3D может быть использован для имитационного моделирования процесса резания при фрезеровании. Данный комплекс позволит заменить физические испытания деталей и инструмента на их имитационные аналоги, что позволит существенно снизить затраты на многие изделия, а также исключит многие погрешности, связанные с внешними факторами. Испытания станут более устойчивыми по отношению к действию посторонних факторов, что может благоприятно сказаться на машиностроительном производстве в целом.

Библиографический список

1. Особенности моделирования процессов механической обработки в CAE-системах / И. В. Горбунов, И. В. Ефременков, В. Л. Леонтьев, А. Р. Гисметулин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4(4). С. 846–853.

2. Применение современных средств математического моделирования в условиях опытно-промышленного производства. URL: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform_vaz_sgtu.pdf .

3. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М. : Машиностроение, 1975. 344 с.

Определение выбросов токсичных веществ дизелями сельскохозяйственных машин

Ш. В. Бузиков [a], С. А. Плотников [b], И. С. Козлов [c]
кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства [a]
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения [b]
аспирант группы ЭиТа-4801-04-20 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr10012@vyatsu.ru [a], sa_plotnikov@vyatsu.ru [b], stud091153@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Адекватно оценить получаемые данные экологических показателей и сопоставить их между собой в качестве сравнения для разных моделей дизельных двигателей сельскохозяйственных машин не представляется возможным ввиду отличия их конструктивно-технологических параметров и условий работы. В связи с этим определение данных показателей должно быть осуществлено при реализации испытательных циклов для измерения и оценки выбросов газообразных вредных веществ и частиц с отработавшими газами двигателей, работающих на нагрузочное устройство на установившихся режимах. В связи с этим разработка порядка определения выбросов токсичных веществ дизелями сельскохозяйственных машин является актуальной задачей. Для её решения необходимо определить соответствующий испытательный цикл, выбросы токсичных веществ и оценить полученные результаты. В результате проведены стендовые испытания дизеля Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 согласно соответствующему испытательному циклу на нагрузочном стенде RAPIDO с балансирной маятниковой машиной мощностью 250 кВт марки SAK N670. Анализ полученных результатов проведенных испытаний по циклу С1 на указанных режимах показал, что выбросы токсичных веществ на 8-м режиме, а также выбросы сажи *C* на 3-м и 4-м режимах не контролируются. А показатели диоксида углерода CO_2 не принимаются в качестве сопоставимых для сельскохозяйственных машин. Оценка полученных экспериментальных данных дизеля Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 показала, что не все экологические показатели подлежат контролю и нормировке. Анализ результатов стендовых испытаний показал, что исследуемый дизель соответствует требованиям международного стандарта и может быть сертифицирован. Результаты исследований могут быть применимы в области двигателестроения.

Ключевые слова: дизель, выбросы токсичных веществ, испытательный цикл, режимы испытания, экологические показатели.

Введение. Определением эмиссии токсичных веществ с отработавшими газами дизельных двигателей сельскохозяйственных машин занимается значительное количество исследователей как в нашей стране, так и за рубежом [1–4].

Основными компонентами отработавших газов являются: *C* – сажа (твёрдые частицы), NO_x – оксиды азота, C_xH_y – несгоревшие углеводороды, CO_2 – диоксид углерода, *CO* – монооксид углерода.

В большинстве своём исследователи производят оценку степени эмиссии токсичных веществ с отработавшими газами на основе непосредственных данных, получаемых от контрольно-измерительных приборов, т. е. определением экологических показателей дизелей [5]. Эти данные отображают содержание

того или иного компонента в процентах или миллионных долях от пробы отработавших газов на разных режимах работы дизеля в соответствии с действующим нормативно-правовым документом [6]. Однако данный документ относится к области определения эффективных показателей дизельных двигателей сельскохозяйственных машин при проведении стендовых испытаний в зависимости от вида (приемо-сдаточные, предъявительские, периодические кратковременные, периодические длительные, типовые) и не регламентирует определение и оценку экологических показателей.

Адекватно оценить получаемые таким путём данные экологических показателей и сопоставить их между собой в качестве сравнения для разных моделей дизельных двигателей не представляется возможным ввиду отличия их конструктивно-технологических параметров и условий работы.

В связи с этим определение экологических показателей дизелей сельскохозяйственных машин должно проводиться согласно другому нормативно-правовому документу. Данный документ напрямую применим «в отношении выбросов вредных газообразных веществ и дисперсных частиц двигателей с воспламенением от сжатия, используемых в технике, предназначенной и пригодной для передвижения или перемещения по грунту (дороге или бездорожью), с установленной полезной мощностью более 18 кВт, но не более 560 кВт, эксплуатируемой в разных скоростных режимах, включая следующие механизмы, но не ограничиваясь ими: самоходные сельскохозяйственные машины» [7]. Определение данных показателей должно быть осуществлено при реализации испытательных циклов для измерения и оценки выбросов газообразных вредных веществ и частиц с отработавшими газами двигателей, работающих на нагрузочное устройство на установившихся режимах.

В связи с этим разработка порядка определения выбросов токсичных веществ дизелями сельскохозяйственных машин является актуальной задачей.

Для её решения необходимо определить соответствующий испытательный цикл, выбросы токсичных веществ и оценить полученные результаты.

Методы исследования. В соответствии с требованиями [8], предъявляемыми для дизелей сельскохозяйственных машин, определение выбросов ток-

сичных веществ необходимо проводить, реализовав испытательный цикл «С1 “Дизельные двигатели для внедорожного транспорта и промышленного оборудования”», который применим к самоходным сельскохозяйственным машинам (включая тракторы). Режимы испытаний и весовые коэффициенты цикла С1 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Испытательные режимы цикла С1 и весовые коэффициенты

Номер режима	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота вращения, %	Объявленная частота вращения				Промежуточная частота вращения			Минимальная частота вращения холостого хода
Крутящий момент, %	100	75	50	10	100	75	50	0
Весовой коэффициент	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

Согласно [8], объявленная частота вращения – это частота вращения коленчатого вала дизеля при номинальной мощности n_{N_e}. Под промежуточной частотой вращения понимается частота вращения коленчатого вала дизеля, соответствующая максимальному крутящему моменту $n_{M_{\text{кр}}^{max}}$ [8]. Значение крутящего момента для испытательного цикла для каждого режима представляет собой отношение фактического крутящего момента к максимальному, а частоты вращения в процентах от номинальной частоты вращения коленчатого вала дизеля [8]. Зависимость относительных величин крутящего момента от частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя в процентах представлена на рис. 1.

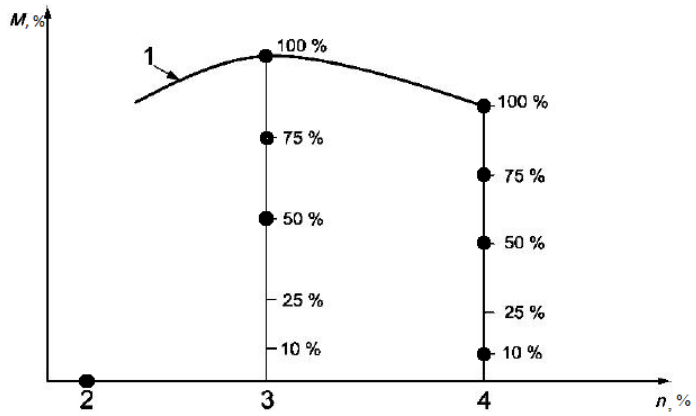


Рис. 1. Внешняя характеристика двигателя: 1 – внешняя характеристика при полной нагрузке; 2 – минимальная частота вращения холостого хода; 3 – промежуточная частота вращения; 4 – объявленная (номинальная) частота вращения

Область режимов, где контролируются выбросы токсичных веществ, определяется, как показано на рис. 2, следующим образом:

– диапазон частоты вращения коленчатого вала дизеля: от частоты вращения A до максимальной частоты вращения коленчатого вала дизеля;

– диапазон крутящего момента от 30 % до 100 %, где:

– частота вращения A = минимальная частота вращения + 15 % (максимальная частота вращения – минимальная частота вращения);

– частота вращения B = минимальная частота вращения + 50 % (максимальная частота вращения – минимальная частота вращения);

– частота вращения C = минимальная частота вращения + 75 % (максимальная частота вращения – минимальная частота вращения), где:

– минимальная частота вращения – это наименьшая частота вращения коленчатого вала дизеля в точке, где он развивает 50 % номинальной мощности;

– максимальная частота вращения – это наибольшая частота вращения коленчатого вала дизеля в точке, где он развивает 70 % номинальной мощности.

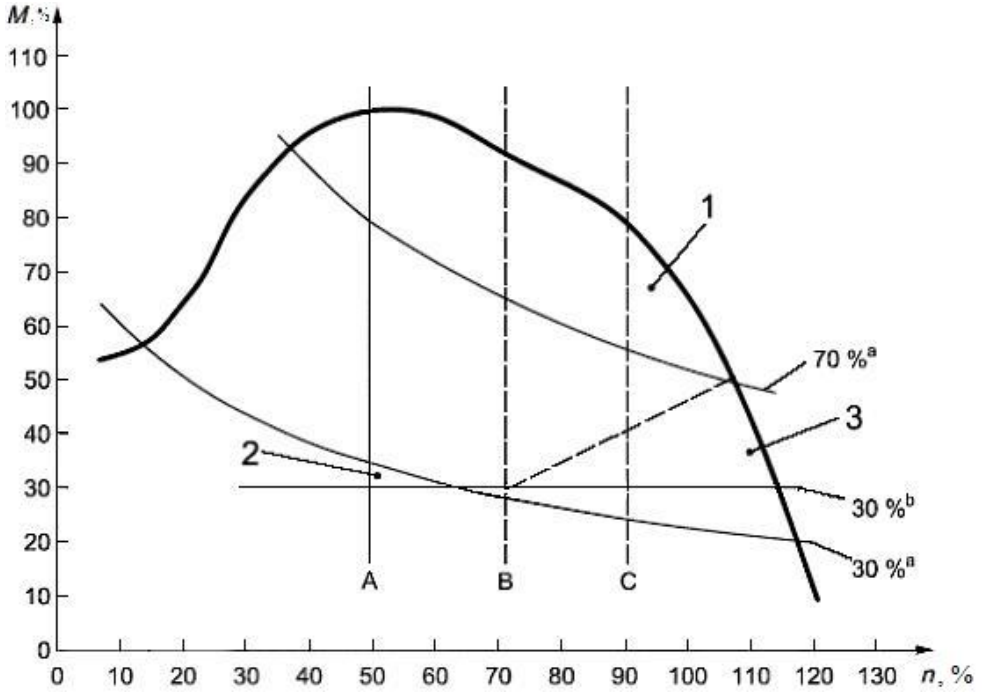


Рис. 2. Область контроля выбросов токсичных веществ при стендовых испытаниях дизелей сельскохозяйственных машин: 1 – область контроля выбросов; 2 – область, где никакие выбросы не контролируются; 3 – область, где не контролируется выброс частиц сажи; [a] – относительная величина мощности (в процентах от максимальной мощности); [b] – относительная величина крутящего момента (в процентах от максимального крутящего момента)

Стендовые испытания дизеля Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 согласно описанным выше методикам проведены на нагрузочном стенде RAPIDO с балансирной маятниковой машиной мощностью 250 кВт марки SAK N670, а также с помощью приборов, устройств и приспособлений для контроля эффективных и экологических показателей работы двигателя. Все приборы прошли государственную поверку. Данные испытания реализованы в рамках выполнения договора о научно-техническом сотрудничестве, заключенного между ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» и УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». Испытательная установка располагалась в аккредитованной научно-исследовательской лаборатории испытаний двигателей внутреннего сгорания УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

Результаты исследований, их обсуждение. В результате проведенных испытаний по циклу С1 на режимах, указанных в табл. 1, определили экологические показатели дизеля Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5, данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты стендовых испытаний

Номер режима	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота вращения, %	100				75			30
Крутящий момент, %	100	75	50	10	100	75	50	0
C, %	38,03	20,70	12,50	11,30	17,10	14,10	10,70	8,00
NO_x, ppm	2630,00	1523,00	571,00	356,00	2490,00	2291,00	1650,00	501
C_xH_y, ppm	13,00	8,00	4,00	3,00	14,00	13,00	11,00	5,00
CO_2, %	8,77	7,34	3,70	2,90	10,97	9,96	6,98	2,39
CO, %	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01

Анализ полученных данных, представленных в табл. 2 с учётом введенных ограничений на рис. 2, свидетельствует о том, что выбросы токсичных веществ на 8-м режиме, а также выбросы сажи *C* на 3-м и 4-м режимах не контролируются. А согласно нормативному документу [7] показатели диоксида углерода CO_2 не принимаются в качестве сопоставимых для сельскохозяйственных машин.

При получении и обработке результатов испытаний была использована методика, изложенная в нормативно-правовом документе [9]. В результате оценка точности (правильности и прецизионности) метода измерений составила 95 %. Стандартное отклонение повторяемости 2,8 %, а стандартное отклонение воспроизводимости 2,1 %.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что рассматриваемый дизель на соответствующих режимах стендовых испытаний соответствует требованиям нормативного документа и может быть сертифицирован на соответствие требованиям настоящего стандарта.

Выводы. В результате проведенных исследований было установлено, что для оценки выбросов токсичных веществ дизелями сельскохозяйственных машин необходимо проводить сравнительную оценку на основании соответствующего испытательного цикла и установленных режимов испытаний. Оценка полученных экспериментальных данных дизеля Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 показала, что не все экологические показатели подлежат контролю и нормировке. Анализ результатов стендовых испытаний показал, что исследуемый дизель соответствует требованиям международного стандарта и может быть сертифицирован. Результаты исследований могут быть применимы в области двигателестроения.

Библиографический список

1. Кульчицкий А. Р. Исследование процессов образования и разработка методов снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей внедорожных машин. Владимир : ВГУ, 2006. С. 337.

2. Парсаданов И. В. Нормирование выбросов вредных веществ дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин в Украине. 2002.

3. Снижение вредных выбросов и расхода топлива дизеля на режимах эксплуатации / А. Е. Свистула, Г. Д. Матиевский, М. Э. Брякотин // Состояние и перспективы развития социально-культурного и технического сервиса : материалы I Всероссийской научно-практической конференции 25–26 апреля 2013 года / под ред. д. т. н., профессора В. И. Беляева. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. С. 216.

4. Кухарёнок Г. М., Березун В. И. Улучшение экологических показателей дизеля. 2019.

5. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С. Определение регулировочных параметров системы топливоподачи тракторного дизеля при работе на топливных композициях с добавками рапсового масла // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 4 (40). С. 133–138.

6. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний (с Изменением № 1) : принят 24.03.1988; действ. с 01.01.1990. М., 1988. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200010002 (дата обращения 31.01.2021).

7. ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН N 96) Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями (Переиздание) : принят 13.12.2011; действ. с 01.01.2013. М., 2011. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200094453 (дата обращения 31.01.2021).

8. ГОСТ ISO 8178-4-2013 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах : принят 23.04.2014; действ. с 01.01.2015. М., 2013. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200110368 (дата обращения 31.01.2021).

9. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения : принят 23.04.2002; действ. с 01.11.2002. М., 2002. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200029975 (дата обращения 31.01.2021).

Конструктивные особенности кожухов-пылеуловителей для локализации пылевых выделений при работах на заточных станках

И. А. Бурьянов
аспирант группы АТТС-192
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация
E-mail: Buryanov.vanya@yandex.ru

Аннотация. Технологический процесс производства металлорежущего инструмента имеет достаточно богатую историю, которая исчисляется не одним десятком лет. С каждым годом вводятся все новые и новые нормативные документы, ужесточающие требования к качеству выпускаемой продукции, а также мероприятиям, целью которых является контроль вредностей, получаемых работниками на предприятии. Достаточно давно отмечена тенденция возникновения профессиональных заболеваний дыхательных путей, кожи и глаз на металлообрабатывающих предприятиях с высокой запыленностью воздуха в помещении цеха. Длительное дыхание запыленным воздухом приводит к развитию болезней бронхолегочного аппарата – хронического пылевого бронхита и пневмокониозов. Для локализации вредных пылевыделений при работах на заточных станках существуют различные кожухи-пылеуловители и их модификации, позволяющие с разной эффективностью бороться с вредными пылевыделениями. Конструкция кожухов-пылеуловителей может подразумевать подключение к системе аспирации, которая создает зону пониженного давления в корпусе кожуха и тем самым способствует локализации вредных пылевыделений при работах с выделением вредностей. В процессе анализа предложенных изобретений рассмотрены различные конструкции кожухов-пылеуловителей, их конструкция и принципы работы. Выделены наиболее эффективные и перспективные из них.

Ключевые слова: вытяжной кожух-пылеуловитель, местная вытяжная вентиляция, локализация вредных пылевыделений, аспирация, местный отсос, защитный кожух, кожух-пылесборник, устройство для улавливания пыли.

Введение. Во многих отраслях промышленности проведение различных технологических операций подразумевает под собой выделение пыли в рабочую зону. В данной работе проводится анализ некоторых изобретений, позволяющих локализовать вредные пылевыделения при выполнении работ на заточных станках. Цех, на базе которого производится анализ, включает в себя заточной участок, где одновременно работает несколько универсальных заточных станков. В зону дыхания работников данного заточного участка выделяется пыль, которую стоит отнести к металло-абразивной [1]. Отсутствие эффективной системы пылеудаления, бесспорно, создает предпосылки для развития профессиональных заболеваний рабочих. Регулярное раздражение органов дыхания частицами обрабатываемого металла и абразива может спровоцировать

различные заболевания пылевой этиологии [2]. Пылевой бронхит, астма, пневмокониоз – вот далеко не полный список возможных недугов. Именно поэтому очень важно предусмотреть работу систем, которые обеспечат эффективное улавливание и удаление частиц металло-абразивной пыли из зоны дыхания персонала.

Научный и практический интерес представляет разработка системы местной вытяжной вентиляции с полной рециркуляцией воздуха от универсальных заточных станков, сниженной энергоемкости, которая при использовании минимальных объемов аспирируемого воздуха могла бы обеспечить локальное удаление вредной пылегазовоздушной смеси, образующейся в процессе работ на универсальных заточных станках. Особое внимание в работе уделяется принципу работы и конструкции кожуха-пылеуловителя, именно он, по нашему мнению, играет особую роль в процессе локализации вредных пылевыделений.

Материалы и методы исследований. Пагубное влияние на организм человека пылевых частиц разного размера, которые выделяются при работах на станочном оборудовании, известно обществу достаточно давно. Для локализации вредных пылевыделений и сохранения допустимой запыленности воздуха в зоне оператора, при работах на различного рода станках с рабочим органом в виде диска (круга) принято использовать кожухи-пылеуловители всевозможных модификаций. Анализ существующих изобретений, относящихся к станкостроению, в частности к устройствам для обеспыливания зоны токаря-станочника, производящего работы на универсальных заточных, шлифовально-обдирочных станках, дает возможность выявить основные конструктивные особенности и требования, предъявляемые к защитным кожухам. Грамотный анализ конструкции кожуха-пылеуловителя позволяет остановить выбор на устройстве, которое в конечном итоге позволит уменьшить расход аспирируемого воздуха, с высоким качеством локального обеспыливания и аэродинамическое сопротивление в аспирационной сети.

Результаты и их обсуждение. При рассмотрении конструкций различных систем аспирации от заточных станков используется описательный метод.

Рассматриваются конструктивные особенности, эффективность улавливания, технология точения. Выявляются недостатки существующих систем аспирации, и формируется дальнейшее направление их совершенствования. Для научно обоснованного выбора необходима разработка математических моделей пылевоздушных течений вблизи всасывающих каналов местных вытяжных устройств. Необходим учет движения воздушного потока, возникающего при вращении заточного круга, а также начальной скорости вылета пылевых частиц. Для численного описания движения среды частиц предполагается использовать метод граничных интегральных уравнений [3], а также методы CFD. Кроме того, необходимы сведения о свойствах пылевых частиц и их дисперсном составе. Здесь необходимо использовать методы отбора проб, определения плотности пыли и гранулометрического анализа.

Согласно требованиям ГОСТ 12.2.009-99 на заточных станках должен быть предусмотрен отсос запыленного воздуха из зоны обработки. При наличии технической возможности станок необходимо оборудовать индивидуальным устройством для локализации вредных пылевыделений (например, пылестружкогазоприемники, местные отсосы различных модификаций).

На настоящий момент известны различные конструкции кожухов-пылеуловителей, позволяющие локализовать вредные пылевыделения при работах, связанных с обработкой металлических изделий [5–10]. Предложенные конструкции выделяются своей эффективностью работы, научной новизной, а также научным и практическим интересом.

В [5] представлен кожух-пылеуловитель (рис. 1), который состоит: из корпуса – 1, рабочего органа (абразивного круга) – 2, подвижной ограничительной заслонки – 3, верхнего пылеотсасывающего канала – 4, нижнего пылеотсасывающего канала – 5, перегородки – 6, поперечных щелевидных каналов – 7, 8, шарниров – 9, 10, дросселя-клапана – 11, канала для удаления воздуха – 12.

Часть подвижной перегородки канала дугообразной формы 4 выполнена длиной не менее четверти окружности рабочего органа 2. По мере изменения диаметра рабочего органа в процессе его износа подвижную ограничительную

заслонку 3 опускают при условии поддержания постоянного расстояния между рабочей поверхностью круга и нижней кромкой. Данная операция позволяет постоянно создавать наименьшее расстояние между кругом 2 и всасывающими щелевидными отверстиями канала 4, что способствует высокой эффективности отсоса пыли.

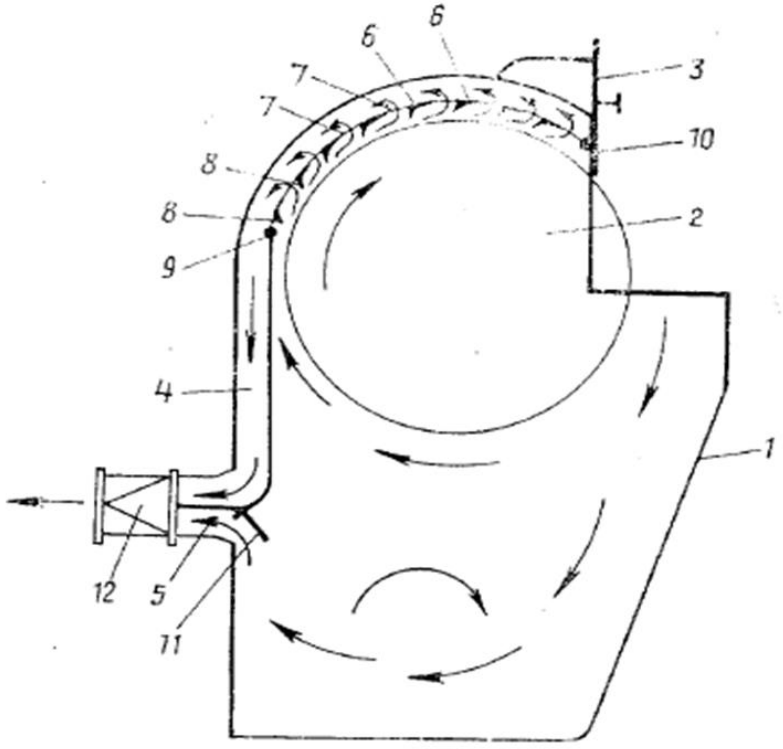


Рис. 1. Схема пылеулавливающего устройства для работ с абразивными кругами

Конструктивной новизной в данном кожухе-пылеуловителе является то, что с целью уменьшения объема аспирируемого воздуха перегородка шарнирно связана с заслонкой и имеет по профилю щелевидные отверстия, снабженные отсекателями, направленными навстречу воздушному потоку.

Изобретение [6] состоит из корпуса 1, отсасывающего патрубка 2, подвижной ограничительной заслонки 3 и перегородки 4, которая образует с верхней стенкой корпуса пылеотсасывающий канал 5 и имеет щелевидные отверстия 6, содержащие отсекатели 7. Отсекатели изогнуты по дуге так, что их кромки со стороны абразивного круга направлены навстречу воздушному потоку, создаваемому абразивным кругом, а со стороны стенки кожуха направлены

в сторону движения основного отсасываемого воздушного потока по направлению к отсасывающему патрубку 2 (рис. 2).

Конструкции [5, 6] схожи визуально. Разница [5] (рис. 1) от [6] (рис. 2) заключается в том, что для снижения аэродинамического сопротивления поперечные щелевидные каналы направлены в сторону движения основного отсасывающего потока[6].

В [7] представлен кожух-пылеуловитель (рис. 3а, б), содержащий корпус – 1, охватывающий абразивный инструмент (абразивный круг) – 2, в нижней части корпуса расположен пылесборник – 3,вытяжной патрубок – 4, перегородки – 5, пылеотсасывающие каналы – 6, всасывающие отверстия – 7, отсекатели – 8, уплотнительные пластины – 9. Принцип улавливания пыли заключается в том, что крупная пыль, образующаяся в зоне резания, оседает в пылесборнике, а более мелкая пыль увлекается воздушным потоком, создаваемым торцевой и периферийной частями абразивного круга. Большая часть мелкозернистой пыли увлекается благодаря потоку, создаваемому торцевыми поверхностями. Площадь торцевых поверхностей зачастую больше периферийных площадей в 30–40 раз.

Пылевоздушная смесь, перемещаясь, попадает в зону действия всасывающих факелов вытяжных отверстий, которые, в свою очередь, образовались благодаря статическому разряжению, стремится отклониться от торцевых и периферийных поверхностей заточного круга. Затем смесь поступает в пылеотсасывающие каналы и удаляется, проходя через вытяжной патрубок. Эффект отклонения пылегазовоздушных потоков увеличивается благодаря использованию отсекателей, которые снижают потерю скоростей смеси в спектрах всасывающих факелов. Корпус – 1, отсасывающий патрубок – 2, ограничительная заслонка – 3, перегородка – 4, пылеотсасывающий канал – 5, щелевидные отверстия – 6, изогнутые отсекатели – 7, шарниры – 8, 9, дроссель-клапан – 10.

Использование в конструкции кожуха отсекателей позволяет использовать эффект нагнетания потоков воздуха, которые увлекаются поверхностью абразивного круга. Эффективность [7] обеспечивается и повышается вне зависимости от изменения диаметра заточного круга при его работе.

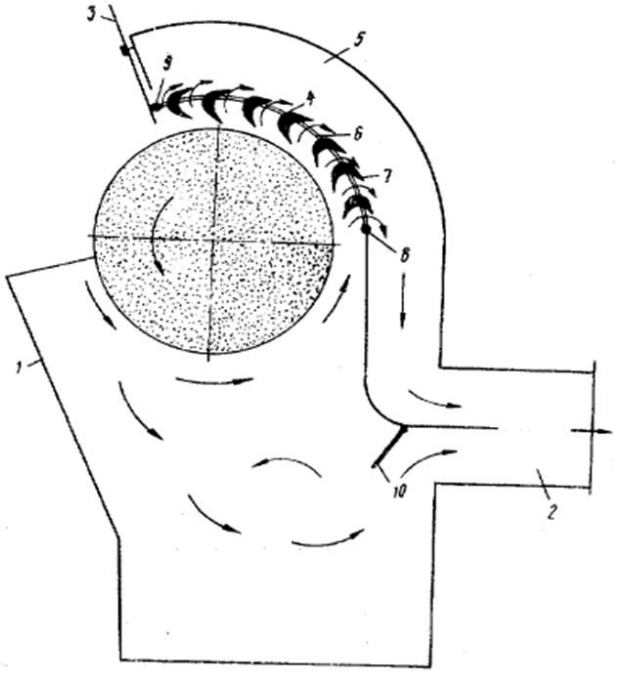


Рис. 2. Схема пылеулавливающего устройства для работ с абразивными кругами

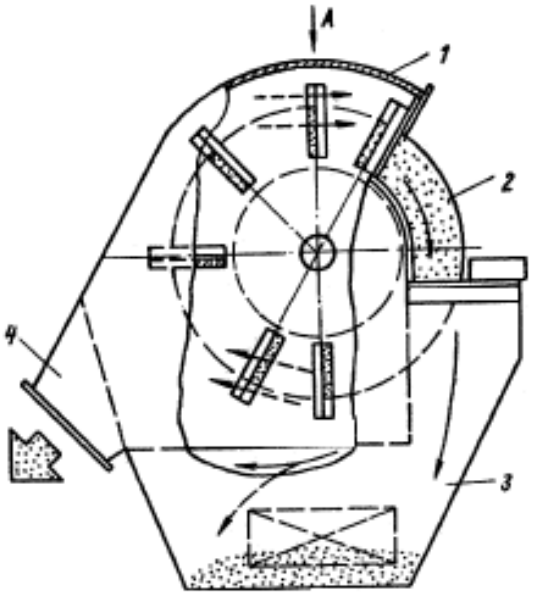


Рис. 3 (а). Кожух-пылеуловитель

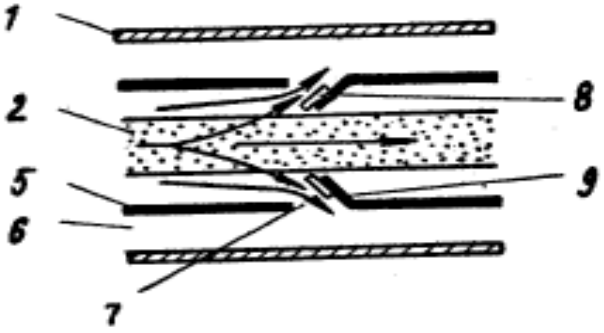


Рис. 3 (б). Кожух-пылеуловитель, вид А

На основе [7] был изобретен [8]. Кожух [8] (рис. 4а, б, в) состоит из корпуса 1, в котором установлен рабочий круг (абразивный круг) 2, пылесборника 3, вытяжного патрубка 4, подручника 5, подвижного щитка 6, перегородки (с минимальными зазорами у торцевых поверхностей круга) 7, дополнительной перегородки с замкнутым контуром) 8, торцевого отсасывающего канала 9, щелевых всасывающих отверстий 10, боковых окон 11, центрального окна 12, отсекателей 13, пластины 14, всасывающего проема 15, люка (для выгрузки уловленной пыли) 16. Основное отличие [7] от [8] заключается в том, что с целью повышения эффективности пылеудаления из рабочей зоны было принято решение о добавлении дополнительной перегородки, которая, в свою очередь, охватывает более половины абразивного круга, установленной в корпусе. Благодаря этому образуется две камеры – внутренняя и наружная, при этом камеры между собой соединены.

Также на основе [5] был предложен более эффективный вариант [9]. Основная задача [9] – обеспечение постоянного пылеулавливания, вне зависимости от изменения величины диаметра рабочего круга.

Достигается это за счет того, что конструкция отражателя пылевого потока выполнена в форме Г-образных пластин. Подвисная заслонка, а также пластины установлены на введенных в конструкцию кожуха шарнирах. Оси шарниров расположены на окружности, концентричной шлифовальному кругу, и между собой соединены рычажной системой. Приводное звено, выполненное в виде дугообразного рычага, связано с приводом перемещения подручника.

Выводы. Проведя анализ имеющихся модификаций кожухов-пылеуловителей, мы выявили основные принципы конструирования кожухов. Основным принципом конструирования кожухов-пылеуловителей является повышение пылеулавливающих свойств за счет введения в конструкцию кожуха дополнительных элементов (например, пластины и отсекатели). Зачастую введение дополнительных элементов в конструкцию кожухов-пылеуловителей ведет к увеличению аэродинамического сопротивления, что негативно сказывается на энергоемкости системы аспирации. Перспективным направлением исследова-

ния является компьютерное моделирование существующих типов кожухов-пылеуловителей для оценки эффективности введения в кожух дополнительных элементов.

Конструкция кожуха пылеуловителя должна соответствовать следующим требованиям:

- Локализация вредных пылевыделений местным отсосом должна производиться при минимальных объемах вытяжного воздуха.
- Неплотности в сечении при примыкании защитного устройства (кожуха) к рабочему органу (например, абразивный круг) должны быть минимизированы.
- Крепление кожуха-пылеуловителя должно надежно его удерживать в случае разрыва диска.
- Открывание кожуха-пылеуловителя, регулирование его по длине должны быть удобными и происходить без заеданий.
- Кожух-пылеуловитель не должен доставлять неудобств при работе.
- Конструкция кожуха должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.028-82.

Для получения максимального результата локализации вредных пылевыделений необходимо более подробно проанализировать зависимость качества пылеулавливания от расхода воздуха при изменении геометрических и конструктивных особенностей кожухов-пылеуловителей.

Библиографический список

1. Лузгин И. В. Пыль метало-абразивная: образование и опасность : сб. тр. III Всерос. молодежной науч.-практ. конф. / под ред. С. В. Костюк. М. : КГТУ (Кемерово), 2018. 4 с.

2. Аверков А. А., Аверкова О. А., Дорошенко Ю. А., Логачев К. И. Экологические проблемы производства прокатных валков // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2009. Вып. 3. С. 172–176.

3. Логачев И. Н., Логачев К. И. Аэродинамические основы аспирации : монография. СПб. ; М. : Химиздат, 2005. 659 с.

4. Малышев, В. И. Технология изготовления режущего инструмента : учеб. пособие. 2-е изд., стер. Тольятти ; М. : ТГУ, 2014. 368 с.

5. А. С. 434003 СССР, М. Кл. В 24b 55/06. Кожух-пылеуловитель. В. А. Курников (СССР). 2 с.

6. А. С. 663569 СССР, М. Кл. В 24b 55/06. Кожух-пылеуловитель. Г. Ю. Хватов (СССР). 2 с.

7. А. С. 931439 СССР, М. Кл. В 24В 55/06. Кожух-пылеуловитель. А. П. Белобров, Д. М. Дерюгин (СССР). 3 с.

8. А. С. 1066789 СССР, М. Кл. В 24В 55/06. Кожух-пылеуловитель. Д. М. Дерюгин, А. П. Белобров (СССР). 3 с.

9. А. С. 776904 СССР, М. Кл. В 24В 55/06. Кожух-пылеуловитель. Г. И. Нейжмаков, А. И. Рудаков, В. В. Лошановецкий, Ю. В. Кванин (СССР). 3 с.

10. А. С. 3235 RUU1, МПК B24Q 11/08. Устройство для очистки воздуха. А. Ф. Евсеев (Россия). 5 с.

Испытание нагрузкой до разрушения сталеполистиролбетонных конструкций

А. А. Варламов [a], Е. О. Гулькина [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий
и строительных конструкций [a]
студентка группы ССм-19-2 [b]
АО «Магнитогорский Гипромез» [a]
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
Магнитогорск, Российская Федерация [a, b]
E-mail: mgrp@mgn.ru [a], k-saltykova@inbox.ru [b]

Аннотация. Статья посвящена комплексному исследованию перекрытия из сталеполистирилбетона с целью изучения и анализа его прочностных и износостойких характеристик и дальнейшей возможности использования. В данной работе рассмотрены все этапы создания сталеполистиролбетонного перекрытия: проектирование модели, производство образцов для испытаний, проведение исследований и последующее устройство конструкций. По результатам испытаний образцов были вычислены максимальные растягивающие усилия и значения прогибов пластин, а также выявлена совместная работа полистиролбетона и тонкостенной металлической конструкции. Как следствие, напряжения в стальном элементе распределились более равномерно. Потеря устойчивости верхнего пояса металлического профиля между местами соединений привела к разрушению конструкции. Таким образом, плита из полистиролбетона подходит для использования в кровельных конструкциях жилых зданий.

Ключевые слова: сталеполистиролбетон, железобетонная плита, металлический профиль, несущая способность, напряжённо-деформированное состояние.

Введение. В настоящее время в строительстве очень распространено применение лёгких стальных конструкций из оцинкованных тонкостенных гнутых профилей. В наибольшей степени использование таких конструкций целесообразно при реконструкции зданий и сооружений, в малоэтажном строительстве и в сейсмических районах, что способствует уменьшению нагрузок, трудозатрат и продолжительности строительства и, следовательно, приводит к значительному снижению расходов [6].

Были применены три вида сечения профилей из рулонной оцинкованной стали [8] для создания каркасов: С-образные, Z-образные и швеллерные – со следующими исходными данными: высота H = 100–350 мм, толщина t = 0.7–2.0 мм, предел текучести σ_T = 250–350 МПа, относительное удлинение $\delta \geq 18$ %. Стенкам профилей придали ступенчатую форму и поместили в полистиролбетон для увеличения жёсткости.

Полистиролбетон – это композитный материал, состоящий из портландцемента, кремнеземистого заполнителя, лёгкого заполнителя (вспененный по-

листирол) и модифицирующих добавок. Полистиролбетон может служить в качестве конструкционного и теплоизоляционного материала вследствие широкого диапазона плотностей. Также к его достоинствам относится долговечность, прогнозируемая более 50 лет в условиях малого напряжения [5].

В роли несущей конструкции используется термопрофиль – балка с продольными сквозными отверстиями, расположенными в шахматном порядке. Так называемые «канавки» способствуют возрастанию звуко- и теплоизоляционных свойств, а также объединению работы бетона и термопрофиля. В результате проектирования модели С-образного профиля в программном комплексе ANSYS оказалось, что рабочая зона термопрофиля расположена вне пределов зоны перфорации.

Методы исследования. Сначала было проведено моделирование совместной работы термопрофиля и заполнителей с разным модулем упругости E_0. Во время испытаний между профилем и упругой средой был помещён связующий слой. В результате получили графики зависимостей перемещений и напряжений балки от модуля упругости E_0 (рис. 1, 2), которые можно разбить на три части (E_0: 0÷8000 кг/см^2 – зона полистиролбетона; E_0: 8000÷60000 кг/см^2 – зона лёгких бетонов; E_0: 60000÷160000 кг/см^2 – зона тяжёлых бетонов).

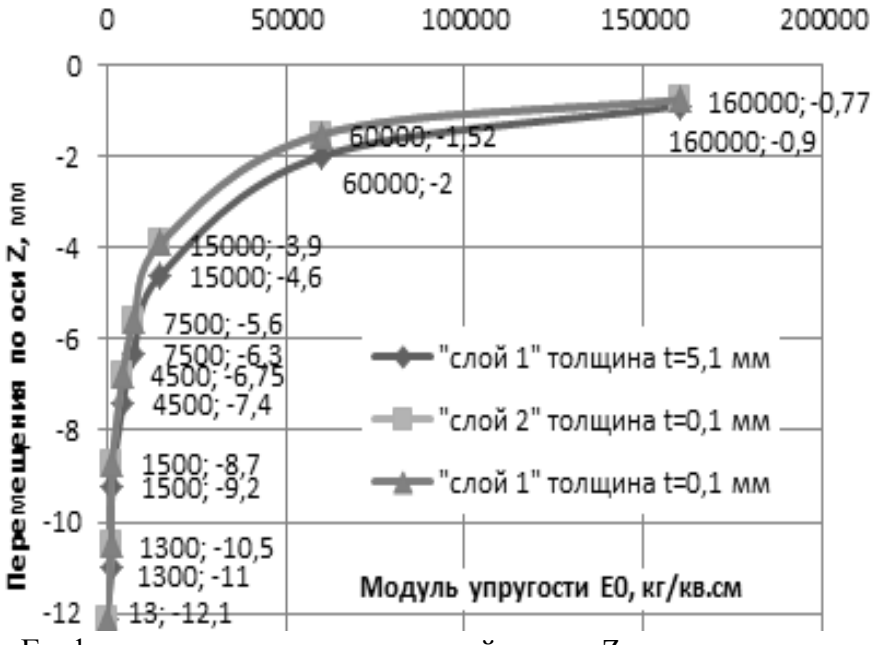


Рис. 1. График зависимости перемещений по оси Z от модуля упругости E_0

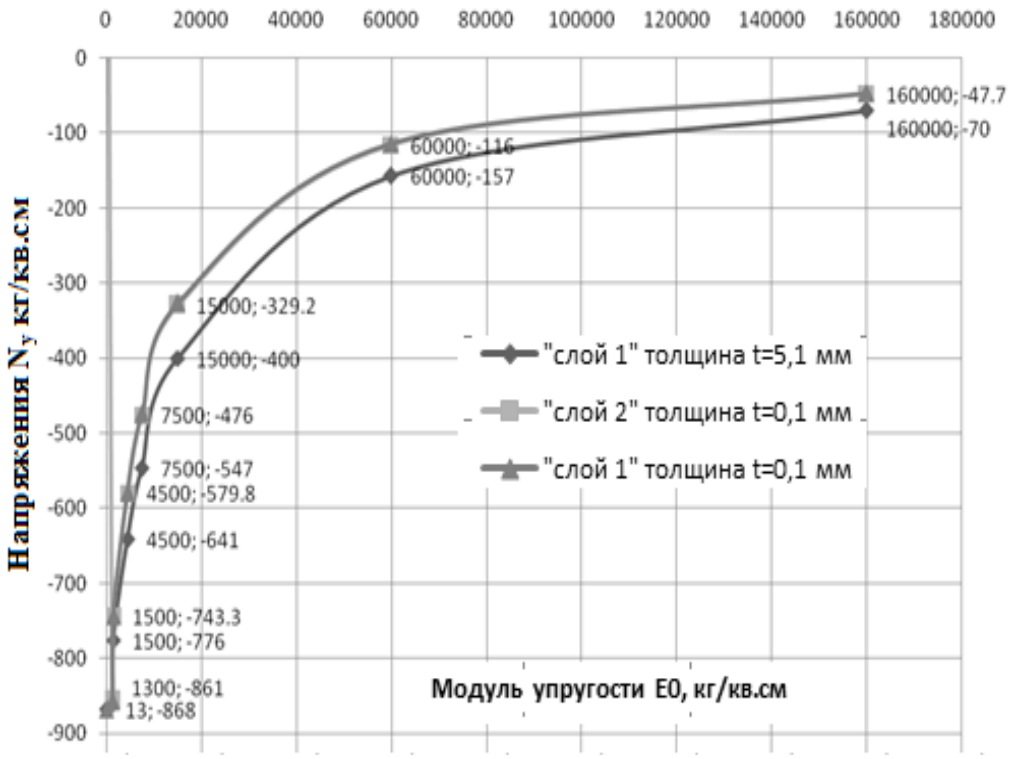


Рис. 2. График зависимости напряжений N_y от модуля упругости E_0.

Наибольшие изменения происходят в зоне при E_0= 0÷8000 кг/см^2, следовательно, в ней наблюдается наибольшая работа упругой среды.

Влияние этой зоны на напряжения можно выразить уравнением $\sigma_{S,B} = \sigma_S - \frac{E_0}{12800}$, где σ_S – напряжение в стальной балке без упругой среды.

На напряжения в оболочке профиля почти не повлияло увеличение модуля упругости E_0= 13÷1500 кг/см^2, однако к значительному увеличению напряжений привело изменение толщины связующего слоя t=0.1÷5.1 мм: при E_0=0÷8000 кг/см^2 – на 13 %; при E_0=8000÷60000 кг/см^2 – на 18 %; при E_0=60000÷160000 кг/см^2 – на 26 %. Также произошло увеличение перемещений: при E_0=0÷8000 кг/см^2 – на 11 %; при E_0=8000÷60000 кг/см^2 – на 15 %; при E_0=60000÷160000 кг/см^2 – на 14 %. В образце с E_0=1500 кг/см^2 напряжения увеличились на 18 % при возрастании длины смоделированной вертикальной трещины с момента зарождения до 100 мм.

Таким образом, применение полистиролбетона эффективно для увеличения устойчивости стенок профилей, что является перспективной и экономически обоснованной задачей [1–4]. Конструктивное армирование и перфорация профилей обеспечивают совместную работу термопрофиля и полистиролбето-

на, который, в свою очередь, обеспечивает звуко- и теплоизоляцию конструкции [7] и устойчивость стенки профиля. К преимуществам полученной плиты относятся малый вес, лёгкость изготовления, возможность производства непосредственно на месте в проектном положении.

Далее были изучены характеристики плиты: испытание балок размерами 6000×200×200 мм из двух несущих С-образных стальных тонкостенных гнутых профилей высотой 200 мм, шириной 50 мм и толщиной 0.8 мм. Было изготовлено два образца: без наполнителя и с наполнителем полистиролбетоном, характеристики которого приведены в таблице.

Характеристики полистиролбетона

Средняя плотность (кг/м^3)	Класс по прочности на сжатие	Средняя прочность на сжатие R (МПа)	Прочность на растяжение при изгибе (МПа)	Призменная прочность (МПа)
D500	B 2.0	2.9	0.6	1.8

Также была изготовлена плита из шести тонкостенных гнутых профилей с размерами 6000×1000×200 мм. По торцам плиты проведено закрепление балок профилями размером 1000×200 мм и деревянными пластинами 1000х150х15 мм, установленными через 1.5 м по верху и по низу плиты с помощью саморезов. Для лучшего сцепления бетона с металлом профили очистили и обезжирили.

Результаты расчёта моделирования балок на ЭВМ в программном комплексе «ЛИРА» получены в виде изополей перемещений и распределения напряжений (рис. 3 и 4).

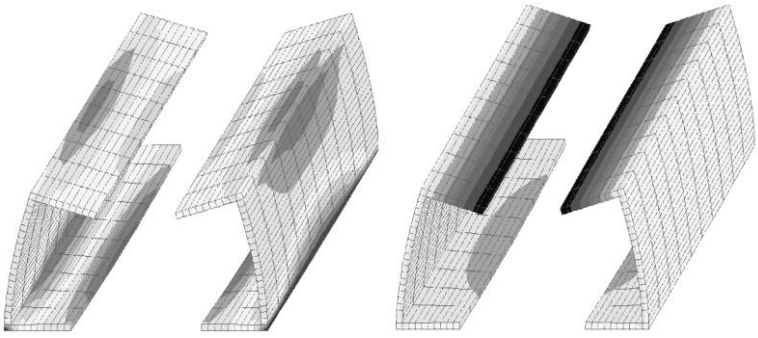


Рис. 3. Изополя распределения перемещений и напряжений в образцах без заполнителя

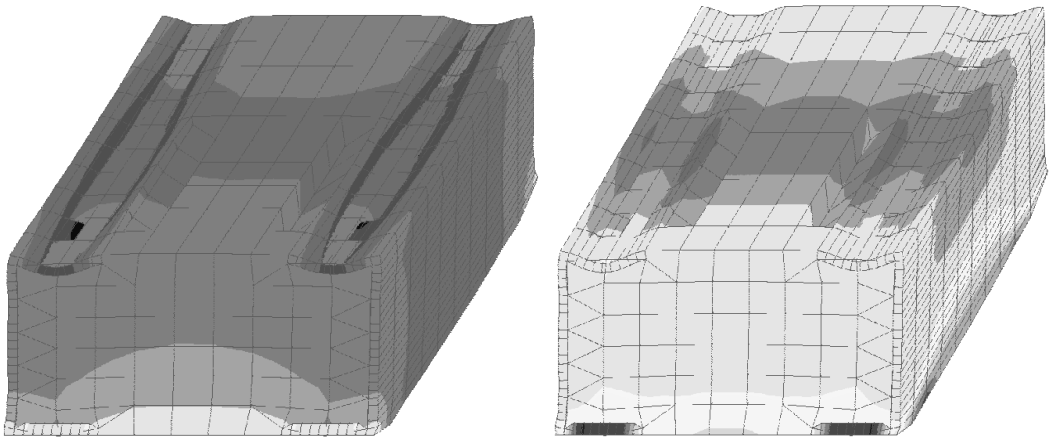


Рис. 4. Изополя перемещений и напряжений в образцах с заполнением бетоном

Очевидно, что схема деформации и распределения напряжений соответствует данным, полученным экспериментальным путём: основные деформации происходят на верхней полке, что приводит к потере устойчивости всего профиля. В дальнейшем, изменяя параметры заполнителя, можно с достаточной точностью использовать ПК «ЛИРА» для проектирования реальных конструкций с заполнителями из различных материалов.

Конструкции устанавливали на металлические рамы, их равномерное нагружение производили металлическими трубами, заполненными бетоном массой по 40 кг. Деформации профилей измеряли тензометрами и прогибомерами (рис. 5).

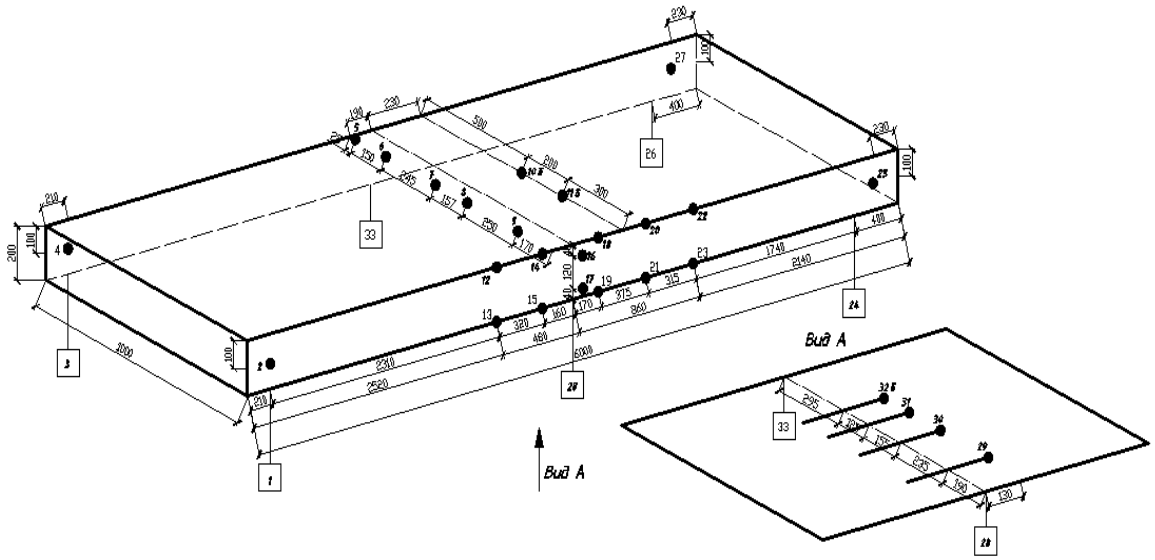


Рис. 5. Схема расположения тензоприборов и прогибомеров
на плите с пенобетоном

Загружение осуществляли ступенчато по 0.16 т с выдерживанием на каждой ступени загружения по 15 минут до появления явных признаков потери устойчивости профилей (потеря устойчивости полки либо выпучивание стенки). После каждого нагружения проводились замеры и анализ состояния конструкции.

Результаты исследований. Плита работала упруго до полезной нагрузки 506 кг/м^3. На следующей ступени боковые профили в плите начали отходить от бетона и терять устойчивость в сжатой зоне. При нагрузке 560 кг/м^3 произошло разрушение конструкции с одновременной потерей устойчивости сжатой зоны профилей и раздроблением бетона сжатой зоны. Прогибы балки (слева) результаты измерения по датчикам на плите (справа) представлены на рис. 6.

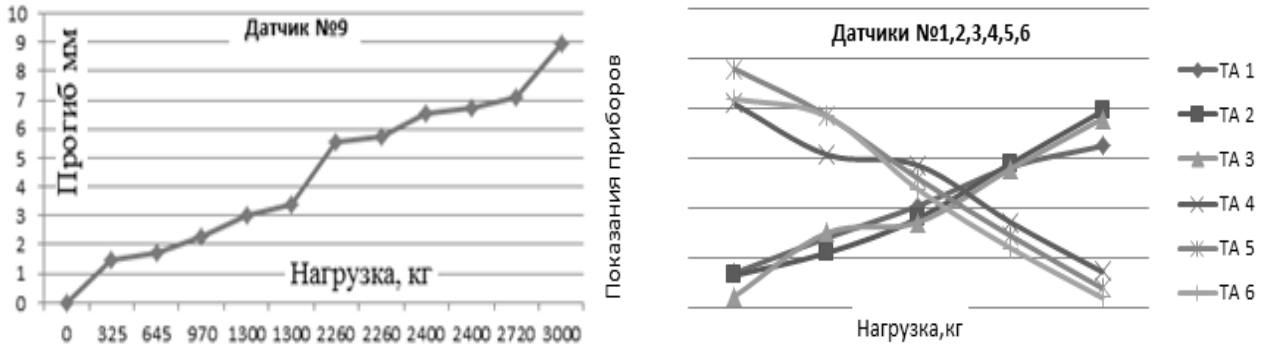


Рис. 6. Результаты измерений

Анализ результатов:

1) напряжения растут пропорционально нагрузке вплоть до предела текучести;

2) после достижения 40–60 % от разрушающего напряжения проявляются признаки потери устойчивости;

3) стенка профиля работает стабильно до момента потери устойчивости верхней сжатой полки, после чего напряжения в стенке резко возрастают и стенка теряет устойчивость;

4) заполнение плит полистиролбетоном приводит к равномерному распределению напряжений;

5) потеря устойчивости происходит в сжатой зоне из-за отсутствия заанкеривания профиля, что не обеспечивает их совместной работы.

Выводы:

1. Разрушение полистиролбетонной плиты с несущими стальными тонкостенными профилями произошло вследствие потери устойчивости верхней полки профиля из-за отсутствия его заанкеривания в бетоне, стенка и нижняя полка профиля вплоть до разрушения работали стабильно, с небольшими напряжениями.

2. Потеря устойчивости верхней полки происходила на расстоянии около 1/3 от края полки.

3. Улучшение работы сжатой зоны конструкции достигается дополнительным заанкериванием профиля саморезами или выполнением в сжатой зоне тонкостенной стяжки из прочного бетона.

4. Устойчивость гнутого профиля (местная устойчивость верхнего пояса) обеспечивается при заполнении полистиролбетоном.

Библиографический список

1. Варламов А. А., Римшин В. И. Поведение бетона. Общая теория дергадации. М. : ИНФРА-М, 2019. 436 с.

2. Варламов А. А., Римшин В. И. Упругие деформации двухфакторной модели бетонного композита // BST. 2019. Вып. 6. С. 19–21.

3. Варламов А. А., Римшин В. И., Тверской С. Ю. Модуль упругости в теории деградации // Материалы конф. IOP материаловедение и инженерия. 2018. Т. 463. Ч. 1. С. 1–6.

4. Варламов А. А., Римшин В. И., Тверской С. Ю. Общая теория деградации // Материалы конф. Материаловедение и инженерия. 2018. Т. 463. Ч 1. С. 1–6.

5. Мамонтов А. А. Ярцев В. П. Физико-технические основы работоспособности экструзивного пенополистирола «Пеноплекс» // Технология текстильной промышленности. 2017. 1(367). С. 104–109.

6. Пристройка здания с использованием энергоэффективных лёгких строительных стен : строительный журнал / В. В. Сергеев, М. Р. Петриченко, Д. В. Немова и др. 2018.С. 67–74.

7. Строительная модель поведения бетона под нагрузкой // Материалы конф. Материаловедение и инженерия / В. И. Римшин, А. И. Норец, А. Ф. Варламов, А. М. Давыдова, 2019. 61 с.

8. Шаповалов Э. Л., Нищета С. Н. Строительная сталь и температура // Архитектура. Строительство. Образование. 2016. № 2 (8). С. 74–79.

Экспериментальные исследования податливых опор при кратковременном динамическом нагружении

З. Р. Галяутдинов [a], Д. Р. Галяутдинов [b]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции» [a]
аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» [b]
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Российская Федерация [a, b]
E-mail: gazr@yandex.ru [a], daudg@yandex.ru [b]

Аннотация. В последние годы, в связи с развитием техники и технологий, возрастает вероятность возникновения кратковременных динамических воздействий. Указанные нагрузки обладают малым временем действия и высокой интенсивностью, вследствие чего приводят к значительным разрушениям несущих конструкций зданий и сооружений. В настоящее время железобетонные несущие конструкции проектируются исходя из полного восприятия динамической нагрузки, что приводит к значительным материальным затратам и повышению трудоемкости работ. Одновременно с этим все большее применение находят активные способы защиты сооружений при кратковременных динамических воздействиях. Данные способы позволяют снизить интенсивность динамического воздействия. Одним из вариантов активных способов защиты является применение податливых опор. В работе представлены результаты исследований податливых опор в виде сминаемых вставок кольцевого сечения. Рассмотрено влияние жесткости и стадии деформирования опор на их реакцию.

Ключевые слова: кратковременная динамическая нагрузка, податливая опора, экспериментальные исследования, реакция опоры, упругая стадия, упругопластическая стадия, стадия отвердения.

Введение. Воздействие однократных динамических нагрузок аварийного характера на здания и сооружения предъявляет особые требования к обеспечению устойчивости отдельных конструкций и сооружения в целом [1]. Экспериментально-теоретические исследования железобетонных конструкций отечественных [2–5] и зарубежных [6–9] ученых показывают, что одним из эффективных способов повышения их сопротивления указанным выше воздействиям является применение податливых опор. При этом степень снижения динамической реакции определяется стадией деформирования податливой опоры и соотношением жесткостей опоры и конструкции. Для оценки характеристик податливых опор в виде сминаемых вставок кольцевого сечения при кратковременном динамическом нагружении проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены в статье.

Программа экспериментальных исследований податливых опор включала динамические испытания металлических вставок кольцевого профиля. Для ис-

пытаний приняты образцы внутренним диаметром 25.4 мм и толщиной стенки 3.2 мм. Длина опытных образцов принята 20, 40, 60, 80, 100 мм и определена из условия их деформирования в упругопластической стадии и стадии отвердения. Общее количество образцов – 25: 5 серий по 5 образцов в каждой серии.

Методы исследования. Испытания податливых опор производились на разработанном стенде в два этапа (рис. 1). На первом этапе определялась реакция системы при жестких опорах, на втором – изменение во времени реакции податливых опор.

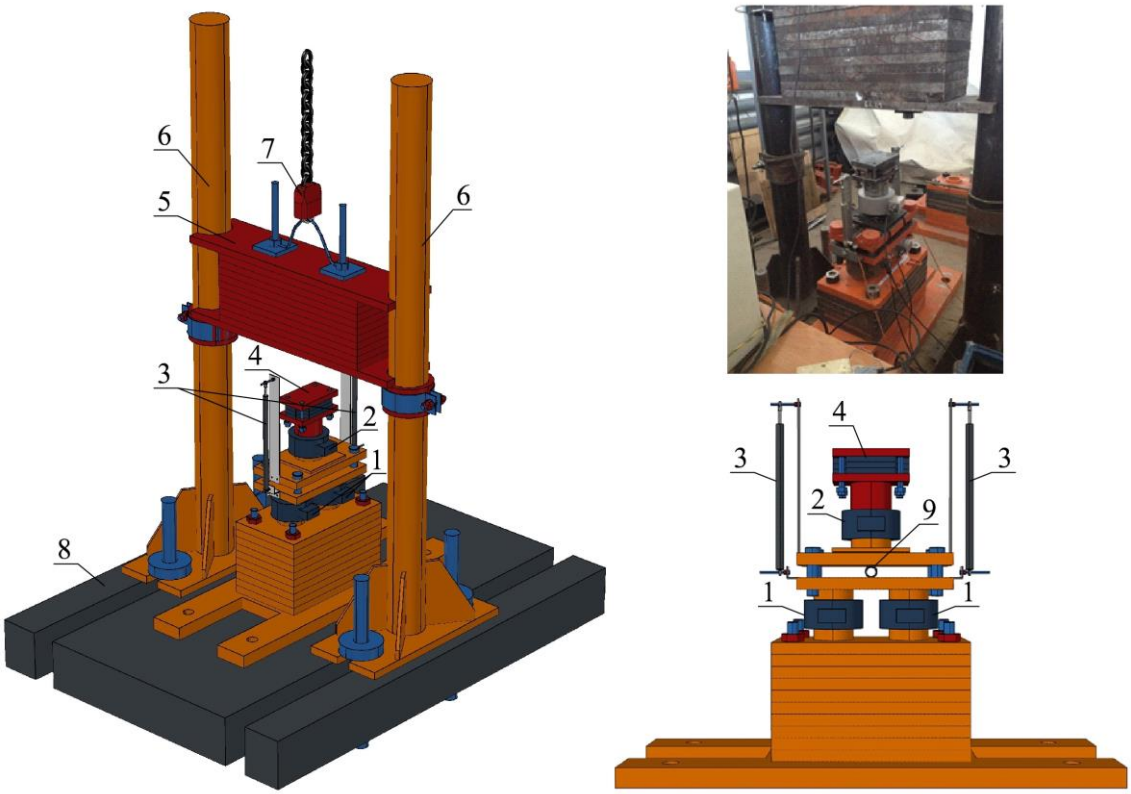


Рис. 1. Стенд для испытания податливых опор при кратковременном динамическом нагружении: 1 – датчики опорных реакций (силоизмерительный датчик ДСТ 4126); 2 – датчик динамического воздействия (силоизмерительный датчик ДСТ4126); 3 – датчики перемещений; 4 – демпфирующий резинометаллический блок; 5 – сбрасываемый груз; 6 – направляющие; 7 – сбрасывающее устройство; 8 – силовой пол; 9 – испытываемый образец

В процессе испытаний производилось измерение и анализ показаний силоизмерительных датчиков тензорезисторного типа ДСТ4126 и датчиков для регистрации перемещений марки RL150-G-SR. Показания приборов фиксировали изменение величины динамического воздействия, опорной реакции и пе-

ремещений. Показания датчиков регистрировались и обрабатывались при помощи электронно-вычислительных комплексов MIC-300M и MIC-036R.

Высота падения груза составляла 150 мм. Масса сбрасываемого груза – 450 кг. Высота падения и масса груза определялись исходя из обеспечения деформирования податливых опор различной длины в упругопластической стадии и стадии отвердения.

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам проведенных испытаний получены схемы деформирования опор при динамическом воздействии (рис. 2). Анализ схем деформирования показывает, что опоры первой и второй серии (длиной 20 и 40 мм) при действии динамической нагрузки перешли в стадию отвердения. Деформации опор третьей серии (длиной 60 мм) свидетельствуют о полном исчерпании пластической стадии деформирования и начале перехода в стадию отвердения. Деформирование опор четвертой и пятой серии (длиной 80 и 100 мм) остановилось в пластической стадии без перехода в стадию отвердения.

Рис. 2. Схемы динамического деформирования опытных образцов

Анализируя диаграмму динамического деформирования податливой опоры (рис. 3), можно выделить упругую, пластическую стадии и стадию отвердения. Переход из упругой в пластическую стадию и достижение реакцией величины, соответствующей пластической стадии, происходит постепенно, при этом перемещения опоры достигают 5…10 мм в зависимости от длины податливой опоры. Рассматривая податливые опоры длиной 20 и 40 мм (поз. 2, рис. 3), можно отметить, что при переходе в стадию отвердения максимальная реакция опоры ниже, чем для жесткой опоры (поз. 1, рис. 3), что обусловлено

рассеянием части энергии динамического воздействия при деформировании опоры в упругой и пластической стадиях. Для других рассмотренных в исследовании опор переход в стадию отвердения не происходит. Величина реакции снижается с увеличением длины опоры, т. е. энергоемкость опор в упругой и пластической стадиях увеличивается с ростом их длины, и внешнего динамического воздействия недостаточно для перевода опоры в стадию отвердения.

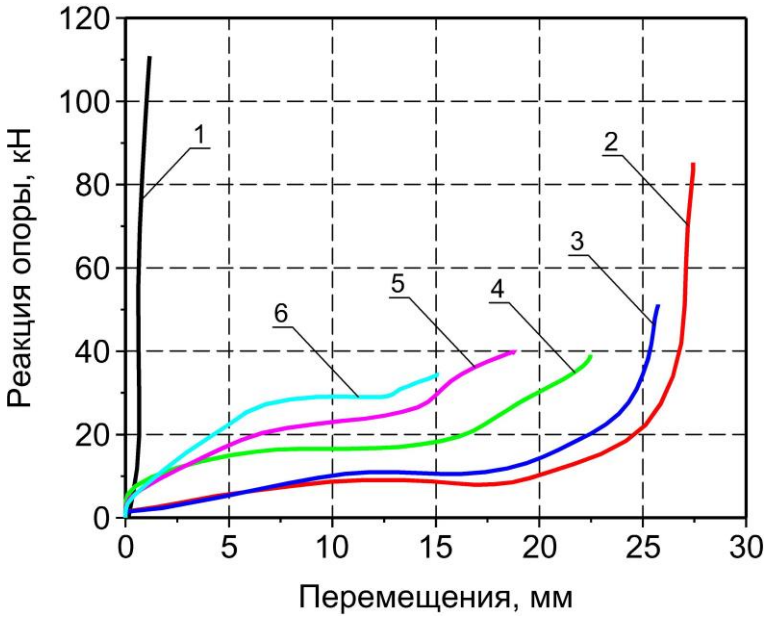


Рис. 3. Реакции опор при динамическом деформировании: 1 – жесткая опора; 2 – податливая опора длиной 20 мм; 3 – податливая опора длиной 40 мм; 4 – податливая опора длиной 60 мм; 5 – податливая опора длиной 80 мм; 6 – податливая опора длиной 100 мм

Переход податливых опор в стадию отвердения происходит не мгновенно, существует некоторая переходная стадия, обеспечивающая постепенный переход из пластической стадии в стадию отвердения. Наличие переходной стадии можно объяснить, разобрав подробно механизм деформирования податливых опор в процессе приложения нагрузки. Процесс деформирования опоры в упругопластической стадии сопровождается появлением и последующим увеличением числа шарниров пластичности (см. рис. 4). Наибольшая энергоемкость податливых опор реализуется в упругопластической стадии деформирования, что обусловлено геометрическими особенностями профиля кольцевого сечения. После образования первых 4 пластических шарниров (см. рис. 4*б*) опора превращается в механизм с максимальным потенциалом деформирования

при незначительном уровне нагружения. Переход опор в стадию отвердения начинается с момента соприкосновения шарниров пластичности, расположенных на вертикальной оси опоры (рис. 4*в*). При дальнейшем деформировании увеличивается количество пластических шарниров, вновь образовавшиеся шарниры смыкаются, что сопровождается ростом жесткости опоры, и происходит их окончательный переход в стадию «отвердения» (рис. 4*в*).

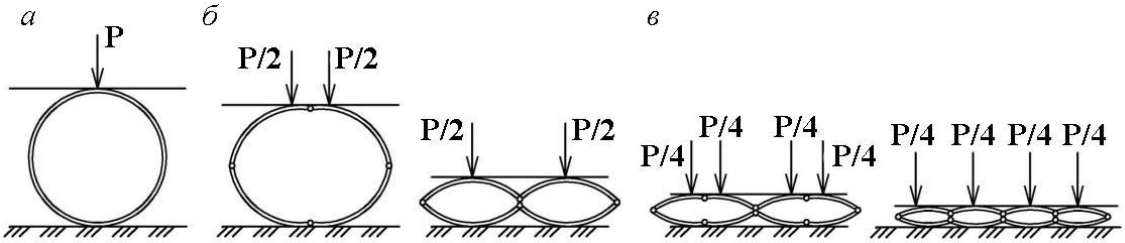


Рис. 4. Механизм деформирования сминаемой вставки кольцевого сечения в упругой (а) и упругопластической (б) стадиях и в стадии отвердения (в): ◦ – пластический шарнир

По результатам экспериментальных исследований видно, что переход опоры в стадию отвердения сопровождается резким ростом реакции опоры (рис. 5). Наибольший всплеск опорной реакции наблюдается для опор длиной 20 мм (поз. 2 на рис. 5). В данном случае произошел полный переход податливой опоры в стадию отвердения, произошло полное смятие сминаемой вставки (см. верхний ряд опор на рис. 5). По мере увеличения длины и, соответственно, жесткости податливых опор величина роста опорной реакции падает. Для опор длиной 40 и 60 мм (поз. 3 и 4, рис. 5) реакция значительно ниже, по сравнению с опорами длиной 20 мм, что обусловлено остановкой податливой опоры в переходной стадии, при смыкании первых пластических шарниров (см. второй и третий сверху ряды опор на рис. 2). В опорах длиной 80 и 100 мм перехода в стадию отвердения не произошло (см. первый и второй снизу ряды опор на рис. 2), в результате чего для указанных опор наблюдается максимальное снижение реакции опоры. Переход опоры в стадию отвердения приводит к увеличению времени деформирования, которое, независимо от стадии деформирования опоры, в 2…2,4 раза выше, чем для жестких опор.

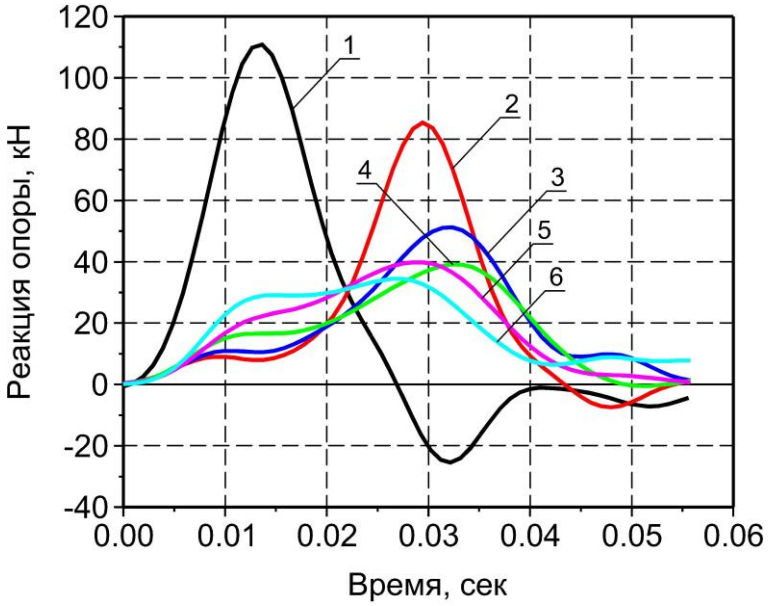


Рис. 5. Реакции опор при динамическом деформировании: 1 – жесткая опора; 2 – податливая опора длиной 20 мм; 3 – податливая опора длиной 40 мм; 4 – податливая опора длиной 60 мм; 5 – податливая опора длиной 80 мм; 6 – податливая опора длиной 100 мм

Максимальное снижение пика динамической реакции (68,95 %) зафиксировано для сминаемых вставок длиной 100 мм (поз. 6, рис. 5). Данные вставки деформировались в пределах упругопластической области. Можно сделать предположение, что деформирование податливых опор в пределах упругопластической стадии является наиболее оптимальным решением для максимальной сохранности конструкций при интенсивном динамическом воздействии. Для сравнения: сминаемые вставки, жесткость которых была значительно ниже (поз. 2 и 3, рис. 5), показали снижение пика динамического воздействия на 23,01 % и 53,79 % соответственно. Наибольшее снижение динамической реакции у опор, деформированных в стадии «отвердения», наблюдается в образцах длиной 60 мм (поз. 4, рис. 5) и составляет 64.71 %.

Полученные результаты объясняются тем, что податливые опоры длиной 100 мм обладают наибольшей энергоемкостью при деформировании их в упругой и упругопластической стадиях (рис. 5). По мере уменьшения жесткости сминаемых вставок в упругой стадии снижается их энергоемкость. Энергия внешнего воздействия во всех случаях одинакова, поскольку масса падающего груза и высота его падения остается постоянной. Таким образом, энергоемкость опор длиной 100 мм достаточна для восприятия энергии внешнего воздействия

в полном объеме без перехода опоры в стадию отвердения. В податливых опорах меньшей жесткости энергоемкости в упругой и упругопластической стадиях недостаточно для восприятия энергии внешнего воздействия, в результате чего происходит выключение податливых опор из работы и их переход в стадию отвердения, который сопровождается резким ростом опорной реакции (поз. 2, 3 и 4, рис. 5). При этом с уменьшением жесткости опор снижается время перехода опор в стадию отвердения, а величина приращения реакции опор при переходе в стадию отвердения увеличивается. Это связано с тем, что у опор меньшей длины энергоемкость в упругой и упругопластической стадиях мала, и следовательно, ее исчерпание происходит за более короткий промежуток времени, при этом больший объем энергии внешнего воздействия приходится на стадию отвердения.

Выводы. По результатам выполненных экспериментальных исследований изучено влияние податливых опор и их эффективность относительно жестких опор при действии кратковременной динамической нагрузки. При использовании податливых опор в виде сминаемых вставок кольцевого сечения показано и проанализировано снижение динамической реакции, которое происходит за счет энергопоглощения опор. Рассмотрено влияние жесткости опор и стадии их деформирования. Наиболее оптимальным решением для максимальной сохранности конструкций при интенсивном динамическом воздействии является деформирование податливых опор в пределах упругопластической стадии без перехода в стадию отвердения.

Библиографический список

1. Саркисов Д. Ю. Прочность и деформативность железобетонных элементов при косом внецентренном кратковременном динамическом сжатии, растяжении и изгибе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 134–143.

2. Кумпяк О. Г., Галяутдинов З. Р., Кокорин Д. Н. Прочность и деформативность железобетонных конструкций на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2016. 270 с.

3. Кумпяк О. Г., Мещеулов Н. В., Люлевич Я. С. Динамическая прочность и деформативность наклонных сечений сжато-изгибаемых железобетонных конструкций на податливых опорах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 6. С. 150–159.

4. Kumpyak O. G., Galyautdinov Z. R., Galyautdinov D. R. Experimental study of beams on yielding supports with thrust // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 143. DOI: 10.1051/1.4973016.

5. Experimental analysis and modeling of two-way reinforced concrete slabs over different kinds of yielding supports under short-term dynamic loading / B. Chiaia, O. Kumpyak, L. Placidi, V. Maksimov // Engineering Structures. 2015. № 96. P. 88–99.

6. Elfetori F. A. Experimental Testing of Composite Tubes with Different Corrugation Profile Subjected to Lateral Compression Load // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering. 2013. Vol. 7. № 2. P. 88–99.

7. Fan Z., Shen J., Lu G. Investigation of Lateral Crushing of Sandwich Tubes // The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. P. 442–449.

8. Impact Energy Absorption of Concentric Circular Tubes / K.H. Lion, R.A.G. Amir, E. Prasetyo, Y. Khairi // Wseas transactions on applied and theoretical mechanics. 2009. Vol. 4. № 3. P. 88–99.

9. Lipa S., Kotełko M. Lateral impact of tubular structure – theoretical and experimental analysis. Part 1 – Investigation of single tube // Journal of theoretical and applied machanics. 2013. Vol. 51. № 4. P. 873–882.

Значения основных параметров синхронных коммутационных аппаратов низкого напряжения

В. А. Головёнкин [a], Е. А. Климов [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
студент группы ЭиЭм-2802-02-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00091@vyatsu.ru [a], stud114509@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Коммутационная износостойкость синхронных коммутационных аппаратов (далее – СКА) низкого напряжения на порядок больше, чем у обычных контактных коммутационных аппаратов. Поэтому исследование, разработка и создание промышленных образцов СКА актуальны. Цель статьи – исследование оптимальных значений основных параметров СКА низкого напряжения (до 1000 В) из условия минимального износа контактов и надёжного отключения цепи с заданным напряжением. Ведущий подход – теоретические исследования с экспериментальной проверкой полученных результатов. При реализации определенных оптимальных значений контактного зазора в ноль тока, времени упреждения нуля тока, материалах контактов, скорости размыкания контактов и допустимом напряжении на контактах разрабатываемый СКА будет успешно коммутировать цепь низкого напряжения с минимальным износом контактов, то есть с высокой коммутационной износостойкостью. Полученные результаты предназначены для разработчиков СКА низкого напряжения.

Ключевые слова: синхронный коммутационный аппарат, время упреждения момента размыкания контактов, контактный зазор, скорость размыкания контактов, допустимое напряжение.

Введение. Контактные коммутационные аппараты средней и высокой мощности остаются основными, несмотря на бурное развитие полупроводниковой техники. Это объясняется их основными преимуществами перед полупроводниковыми аппаратами:

– низкое сопротивление во включенном состоянии ($R_{\text{вкл}} < 0{,}1$ мОм), что позволяет пропускать большой ток при малых потерях мощности;

– высокое сопротивление в выключенном состоянии ($R_{\text{выкл}} > 0{,}1^{12}$ Ом), что позволяет осуществлять глубокую гальваническую развязку коммутируемой цепи.

Основным недостатком контактных аппаратов является их низкая коммутационная износостойкость $N_{\text{ком}}$.

Основной причиной низкой коммутационной износостойкости электрических аппаратов (далее – ЭА) является дуговой разряд с его мощным тепловым воздействием на контакты. Традиционные способы снижения дуговой эрозии (применение более дугостойких материалов, увеличение эффективности дугогасительных устройств и т. д.) исчерпали свои возможности. Кардинальным направлением повышения коммутационной износостойкости является создание бездуговых или с резко ограниченным дугообразованием ЭА.

Создать такие ЭА переменного тока возможно, используя принцип синхронного отключения цепи. С приближением момента размыкания контактов к моменту перехода тока через нулевое значение уменьшается мгновенное значение отключаемого тока и время горения дуги. В результате уменьшается количество энергии, выделяемой дугой. Электрическая эрозия контактов при синхронном отключении цепи уменьшается в 15 раз [1]. Коммутационная износостойкость СКА высокая, что оправдывает их разработку.

Постановка задачи. Определение оптимальных значений СКА низкого напряжения из условия минимального электрического износа контактов, при которых аппараты будут высокоэффективными.

Решение поставленной задачи. Для достижения поставленной цели необходимо определить оптимальные условия, при которых обеспечивается опережающий рост восстанавливающейся прочности контактного промежутка относительно восстанавливающегося на контактах напряжения:

$$U_{вп}(t) > U_{вн}(t). \quad (1)$$

Предельным случаем отключения цепи переменного тока является касание кривых $U_{вп}(t)$ к $U_{вн}(t)$ при периодическом процессе восстановления напряжения на контактах (наиболее тяжелый случай):

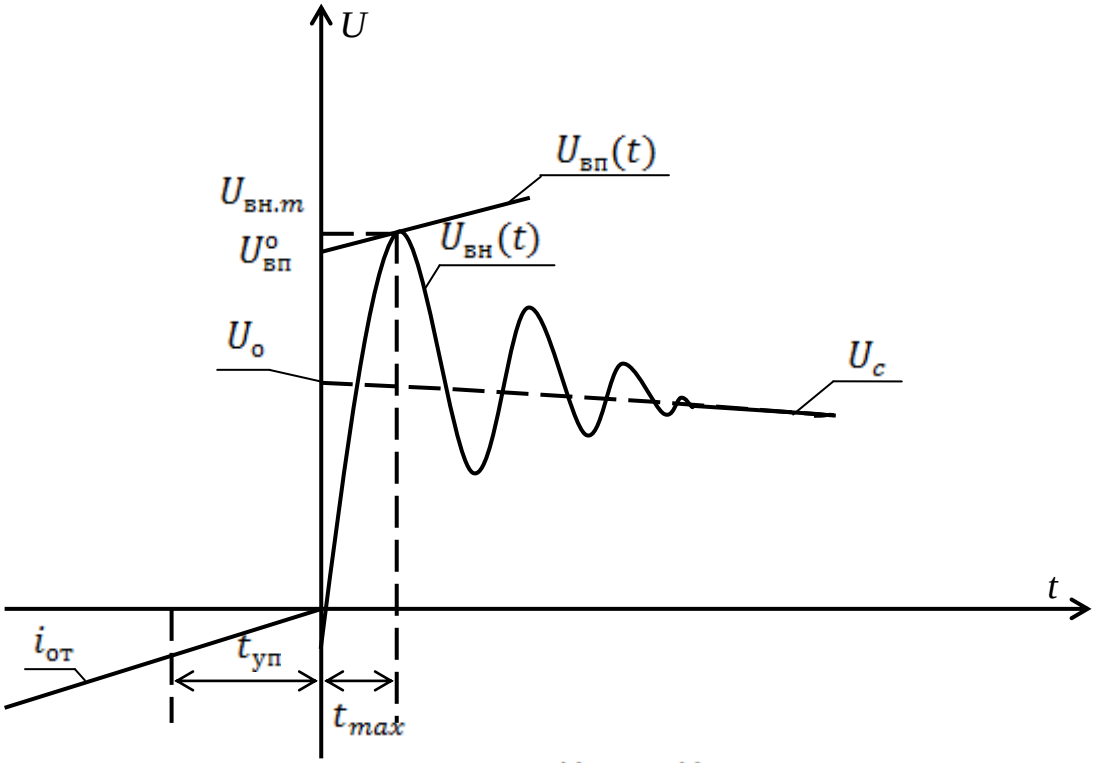


Рис. 1. Временная диаграмма $U_{вп}(t)$ к $U_{вн}(t)$ в предельном случае отключения цепи переменного тока

Восстанавливающееся напряжение на контактах коммутационного аппарата при отключении наиболее типичного для аппаратов низкого напряжения одночастотного колебательного контура нарастает по закону [2].

$$U_{\text{вн}} = U_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t} \cdot \cos \omega_0 \cdot t), \quad (2)$$

где U_0 – мгновенное напряжение источника питания в момент гашения дуги в ноль тока, называемое мгновенным возвращающимся напряжением;

$\omega_0 = 2\pi f_0$ – собственная круговая частота отключаемой цепи, приблизительно равная

$$\omega_0 \approx \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad (3)$$

где L – индуктивность отключаемой цепи;

C – ёмкость обмоток источника и приёмника энергии, соединительных проводов и самих контактов;

α – коэффициент затухания колебаний $U_{\text{вн}}$, равный

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad (4)$$

где R – активное сопротивление отключаемой цепи.

Восстанавливающееся напряжение достигает максимального значения $U_{\text{вн.}m}$ с момента гашения дуги в ноль тока за время (рис. 1):

$$t_{max} = \frac{1}{2f_0}, \quad (5)$$

Собственная частота низковольтных цепей лежит в диапазоне от 20 до 100 кГц. Отсюда при $f_0 = 50$ кГц $U_{\text{вн}}$ достигнет своего максимального значения за время $t_{max} = 0.01$ мс. При большей частоте это время будет ещё меньше. В этот момент времени будет наибольшая опасность пробоя контактного промежутка.

Таким образом, электромагнитный переходный процесс в колебательном контуре отключаемой цепи даёт механическому контакту незначительное время для образования контактного промежутка с достаточной электрической прочностью. При размыкании контактов в момент перехода тока через нулевое значение с целью уменьшения времени горения дуги контактный промежуток за

время t_{max} не успеет восстановить необходимую электрическую прочность. В результате он будет пробит с возникновением электрической дуги, которая будет гореть следующий за нулём тока полупериод. Выход один – размыкать контакты с определённым временем упреждения $t_{\text{уп}}$, не меньшим минимально допустимого значения $t_{\text{уп.}min}$. Тогда в момент перехода тока через ноль уже будет необходимый контактный зазор $\delta_{\text{ко}}$, который при синхронном отключении ионизирован незначительно и сможет выдержать $U_{\text{вн}}$.

Время упреждения $t_{\text{уп.}min}$ зависит от $U_{\text{вп}}(t)$, которая в первые 200…300 мкс после нуля тока нарастает по закону [3]:

$$U_{\text{вп}} = U^{\text{o}}_{\text{вп}} + \text{к}t, \tag{6}$$

где $U^{\text{o}}_{\text{вп}}$ – начальная восстанавливающаяся прочность;

к – скорость роста прочности.

$U^{\text{o}}_{\text{вп}}$ при синхронном отключении зависит в основном от контактного зазора $\delta_{\text{ко}}$ в ноль тока, материала контактов и значения отключаемого тока.

Экспериментальное исследование синхронного отключения показало: $U^{\text{o}}_{\text{вп}}$ максимальна при контактных зазорах в ноль тока $\delta_{\text{ко}} = 0{,}4 \ldots 1{,}5$ мм [4].

Оптимальное значение контактного зазора в ноль тока из условия минимального времени горения дуги и, следовательно, износа контактов следует принять равным $(\delta_{\text{ко}})_{\text{оп}} = 0{,}4 \ldots 0{,}6$ мм. Отсюда оптимальное время упреждения при скорости размыкания 0,5 м/с контактов равно $(t_{\text{уп}})_{\text{оп}} = 0{,}8 \ldots 1{,}2$ мс. Максимально допустимое значение времени упреждения $(t_{\text{уп}})_{max} = 3{,}0$ мс. При больших значениях времени упреждения в контактном зазоре выделяется значительная мощность, что приведёт к снижению начальной прочности и увеличению вероятности пробоя промежутка. Минимально допустимое время упреждения $(t_{\text{уп}})_{min} = 0{,}8$ мс, которому соответствует контактный зазор $(\delta_{\text{ко}})_{min} = 0{,}4$ мм. При меньшем контактном зазоре он останется практически «холодным» неионизированным, но его значение слишком мало, чтобы выдержать существенное восстанавливающееся напряжение. Таким образом, синхронное отключение цепи требует высокой точности размыкания контактов перед нулевым значением отключаемого тока.

Восстанавливающаяся прочность существенно зависит от материала контактов. Экспериментальные исследования наиболее распространённых контактных материалов показали, что наиболее высокое значение $U_{вп}$ имеют промежутки между контактами из серебра и металлокерамики серебро-оксид кадмия (КМК-А10) [5]. Это объясняется тем, что серебро и металлокерамика КМК-А10 имеют самую низкую из всех изученных материалов температуру кипения, а следовательно, и наименьшую термоэмиссию, снижающую прочность контактного промежутка.

Таким образом, с целью достижения максимальной $U_{вп}$ целесообразно в СКА в качестве контактного материала применять металлокерамику КМК-А10. Кроме того, этот материал обладает повышенной износостойкостью.

С увеличением отключаемого тока температура контактов и столба дуги возрастает. В результате растёт термоэмиссия контактов и термическая ионизация газа контактного промежутка. Поэтому с ростом тока $U_{вп}$ снижается. Однако при синхронном отключении цепи эта зависимость ослабевает. При времени упреждения $t_{уп}$ менее 0,3 мс $U^{o}_{вп}$ практически совпадает при изменении тока $I_{от}$ в широком диапазоне.

Коэффициент К в формуле (6) зависит в основном от скорости размыкания контактов. Чем больше скорость, тем больше коэффициент К и, следовательно, крутизна $U_{вп}(t)$, тем надёжнее выполнение неравенства (1).

Экспериментальные исследования показали, что $U_{вп} = f(t)$ при синхронном отключении цепи с током 150 А контактами из металлокерамики серебро-оксид кадмия, скорости размыкания контактов 0,4 м/с и оптимальном зазоре контактов в ноль тока $(\delta_{ко})_{оп} = 0{,}4 \ldots 0{,}6$ мм описывается уравнением:

$$U_{вп} = 232 + 2{,}76 \cdot 10^{6} t, \qquad (7)$$

где $U_{вп}$ – в В. t – в с.

Таким образом, процесс восстановления напряжения на контактах СКА идёт при малых контактных зазорах $(\delta_{к} = 0{,}4 \ldots 1{,}5$ мм).

Какое напряжение может коммутировать СКА при столь малых контактных зазорах? Ответ на этот вопрос даёт выражение для допустимого действующего значения напряжения $U_{д}$ на один зазор контактной системы СКА:

$$U_{д} = \frac{U_{о.доп}}{\sqrt{2}\sin\varphi}, \quad (8)$$

где $U_{о.доп}$ – допустимое возвращающееся напряжение;

φ – угол отставания отключаемого тока от напряжения сети в момент гашения дуги.

Значение $U_{о.доп}$ рассчитывается из системы уравнений для предельного случая отключения цепи, когда кривые $U_{вп}(t)$ к $U_{вн}(t)$ касаются в одной точке (рис. 1):

$$U_{вп} = U_{вн}; \frac{dU_{вп}}{dt} = \frac{dU_{вн}}{dt}, \quad (9)$$

Решая данную систему уравнений с учётом (2) и (7), получены значения допустимого возвращающегося напряжения $U_{о.доп}$ для конкретных условий синхронного отключения цепи [4].

На рис. 2 приведена зависимость $U_{о.доп}$ от собственной частоты сети, полученная при отключении тока 150А, контактами из КМК-А10, при скорости их размыкания 0,4 м/с и времени упреждения $t_{уп} = 1 \ldots 1{,}5$ мс ($\delta_{ко} = 0{,}4 \ldots 0{,}6$ мм).

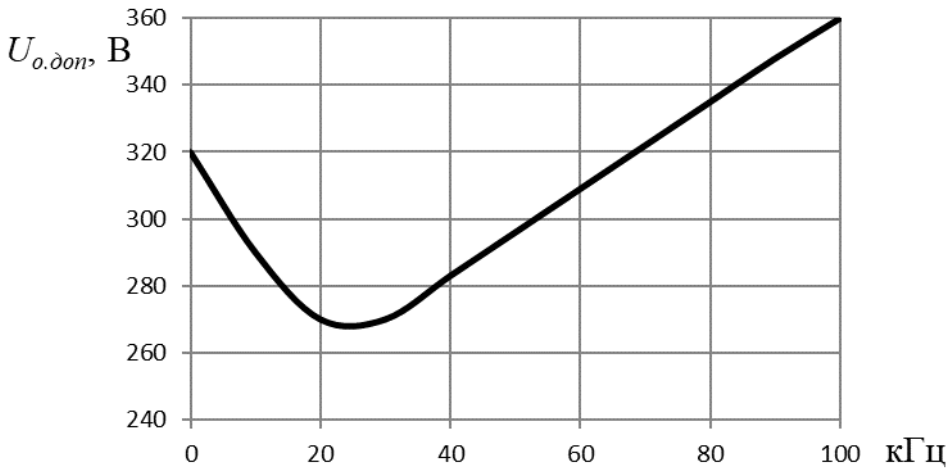


Рис. 2. Зависимость $U_{о.доп}$ от собственной частоты сети при $I_{от} = 150$ А

Для данного конкретного случая допустимое возвращающееся напряжение $U_{о.доп}$ не менее 270 В. Отсюда при коммутации нагрузки с $\cos\varphi = 0{,}35 (\varphi = 70^{\circ})$ допустимое действующее напряжение на один контактный зазор $U_{д} = 204$ В. Следовательно, СКА с одним разрывом на полюс может

надёжно коммутировать сеть с напряжением 127 В. Для надёжной работы в сети 380 В необходимо два разрыва на полюс, что обеспечивают мостиковые контакты. Для коммутации цепей с более высоким напряжением необходимо переходить от воздушного дугогашения к элегазовому или вакуумному.

Основные результаты:

– получены оптимальные значения контактного зазора в момент перехода отключаемого тока через нулевое значение и времени упреждения момента размыкания контактов момента перехода тока через ноль из условия минимального износа контактов;

– определён наилучший материал контактов из условия максимальной восстанавливающейся прочности контактного зазора;

– скорость размыкания контактов СКА, в отличие от обычного коммутационного аппарата переменного тока, должна быть наибольшей с целью уменьшения износа контактов;

– получено соотношение для максимально допустимого напряжения сети из условия надёжного её отключения СКА.

Вывод. При реализации указанных оптимальных значений контактного зазора в ноль тока, времени упреждения нуля тока, материалах контактов, скорости размыкания контактов и допустимом напряжении на контактах разрабатываемый СКА будет успешно коммутировать цепь низкого напряжения с минимальным износом контактов, то есть с высокой коммутационной износостойкостью.

Библиографический список

1. Акимов Е. Г. Исследование и разработка электромагнитных синхронных аппаратов низкого напряжения : дис. канд. техн. наук: (05.10.01). М. : Моск. энерг. институт, 1977. 20 с.

2. Таев И. С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения. М. : Энергия, 1973. 423 с.

3. Кузнецов В. Н., Головенкин В. А. Определение допустимого возвращающегося напряжения аппаратов управления // Электротехника. 1986. № 8. С. 38–40.

4. Таев И. С., Кузнецов В. Н. Восстанавливающаяся прочность в аппаратах управления переменного тока при синхронном размыкании контактов // Известия высших заведений. Электромеханика. 1976. № 10. С. 1114–1118.

5. Кузнецов В. Н., Головенкин В. А. Влияние материала контактов на допустимое возвращающееся напряжение аппаратов управления. Киров : КирПИ Деп. в Информэлектро, 1985. С. 11.

Методика расчёта магнитных потоков поляризованной магнитной системы с балансированным якорем

В. А. Головенкин [a], А. А. Фоминых [b], В. В. Фадеев [c], А. М. Бушуев [d]

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
кандидат технических наук, и. о. декана электротехнического факультета [b]
студент группы ЭиЭм-1802-02-00 [c]
студент группы ЭиЭб-4805-07-00 [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c ,d]
E-mail: usr00091@vyatsu.ru [a], aa_fominyh@vyatsu.ru [b], stud123965@vyatsu.ru [c], stud097359@vyatsu.ru [d]

Аннотация. На современных самолётах, ракетах, космических кораблях возникают силы инерции, которые могут в сотни раз превышать вес подвижных частей электрических аппаратов (ЭА). Эти силы могут замкнуть или разомкнуть контакты ЭА, вызвав ложные срабатывания. Одним из основных направлений увеличения динамической стойкости ЭА является применение в качестве их привода электромагнитов с балансированным относительно оси вращения якорем. Поэтому разработка и расчёт таких электромагнитных актуальны.

Цель статьи – разработка методики расчёта поляризованной магнитной системы для электромагнитов с уравновешенным якорем.

Ведущий подход – разработка методики теоретического расчёта с проверкой результатов путём компьютерного моделирования магнитного поля поляризованного электромагнита.

Разработка методики расчёта поляризованной магнитной системы даёт достаточную для инженерных расчётов точность. Относительная ошибка расчёта не превышает 7 %.

Предложенная методика расчёта поляризованной магнитной системы предназначена для разработчиков ЭА с высокой динамической стойкостью.

Ключевые слова: поляризованная магнитная система, коммутационный электрический аппарат, постоянный магнит, динамическая стойкость.

Введение. Обзор и анализ технической литературы и патентный поиск показали, что основным способом повышения динамической стойкости ЭА к удару, ускорениям, вибрации является применение поляризованного электромагнита с уравновешенным относительно оси вращения якорем. Сбалансированный якорь позволяет увеличить динамическую стойкость ЭА, а постоянный магнит (ПМ) – исключить возвратную пружину, улучшить массогабаритные показатели ЭА и повысить его чувствительность.

На рис. 1 приведена запатентованная поляризованная магнитная система (МС) с балансированным якорем, применение которой перспективно в контактных коммутационных ЭА с повышенной динамической стойкостью [1, 2].

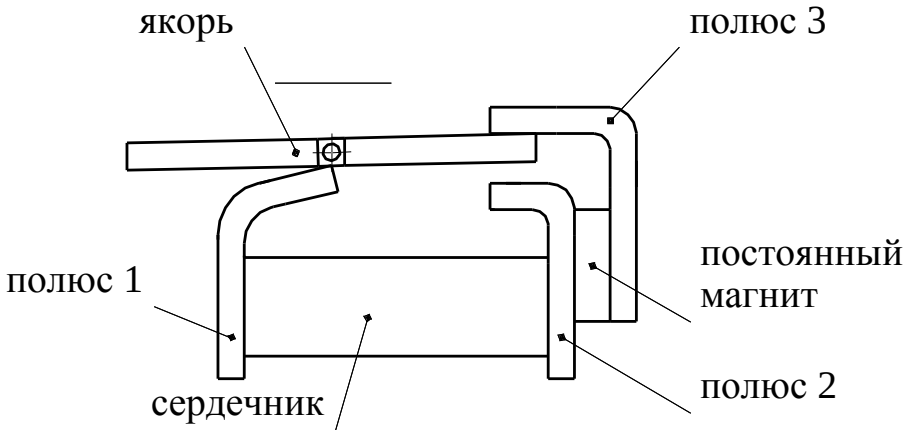


Рис. 1. Эскиз магнитной системы с балансированным якорем при начальном его положении

Методика расчёта магнитной системы

1. Выбор ПМ

От выбора материала ПМ зависят массогабаритные показатели магнитной системы. В настоящее время лучшими материалами ПМ для коммутационных ЭА являются сплавы металлов группы железа с редкоземельными элементами, в первую очередь соединениями кобальта с самарием. Они характеризуются высокой энергоёмкостью, очень большой коэрцитивной силой H_c, способностью работать в больших размагничивающих полях, статической и динамической стойкостью к механическим нагрузкам.

Такие характеристики имеет постоянный магнит КС25ДС по ТУ 48-4/0531-6-92. Основные параметры этого ПМ второй группы: H_c = 617 кА/м; B_r = 0,92 Тл; $(B \cdot H)_{max}$ = 160 кА/м^3. Кривая размагничивания (КР) практически линейная (рис. 3) [3].

2. Методика расчёта магнитных потоков воздушных зазоров, создаваемых постоянными магнитами

2.1. Схема замещения магнитной цепи и расчёт магнитной проводимости воздушных зазоров

Магнитными проводимостями стали магнитопровода и паразитными зазорами между сердечником и полюсами и между ПМ и полюсами пренебрегаем ввиду их больших значений. Тогда схемы замещения магнитной цепи будут иметь вид, представленный на рис. 2.

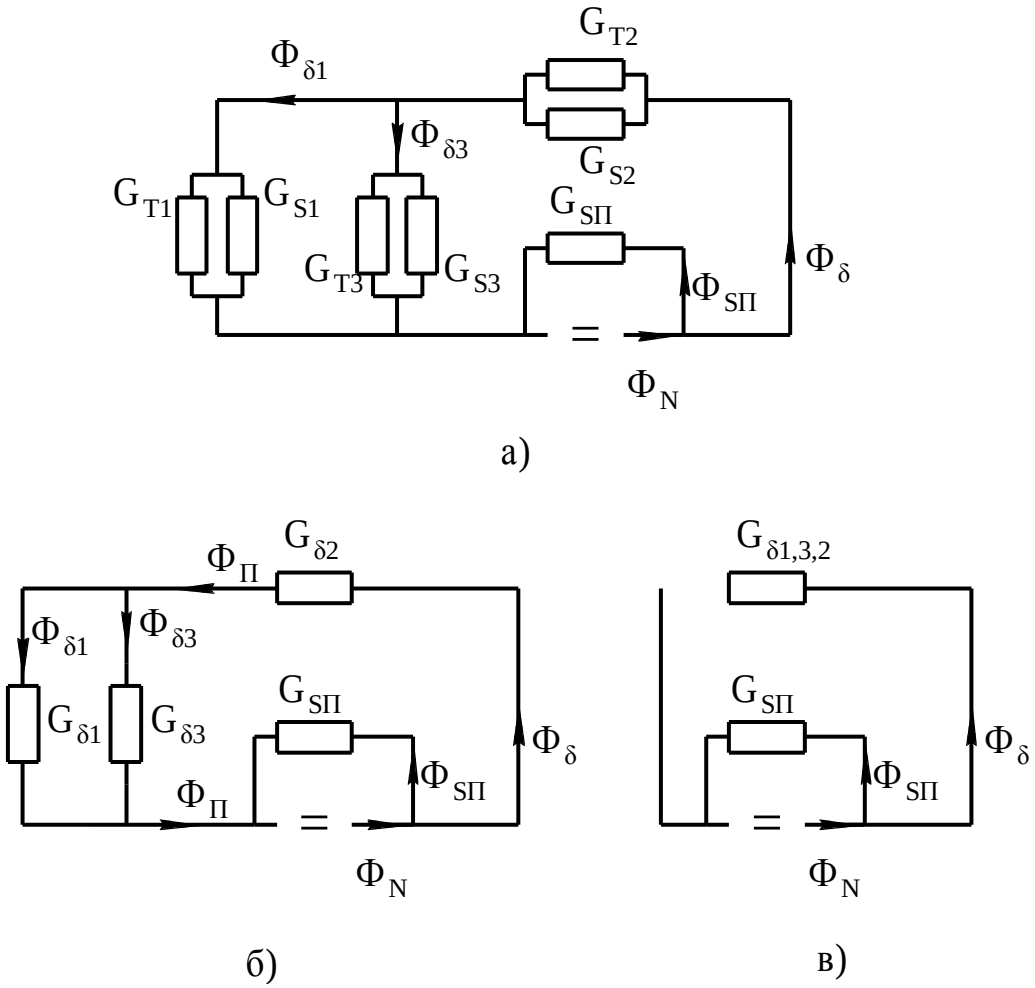


Рис. 2. Схемы замещения магнитной цепи: а – начальная; б – промежуточная; в – конечная, приведённая к одному зазору

Здесь G_{T1}, G_{S1} – проводимость с торца и проводимость рассеяния воздушного зазора δ_1 между якорем и полюсом 1;

G_{T2}, G_{S2} – проводимость с торца и проводимость рассеяния зазора δ_2 между якорем и полюсом 3;

G_{T3}, G_{S3} – проводимость с торца и проводимость рассеяния рабочего зазора δ_3 между якорем и полюсом 2;

$G_{SП}$ – проводимость рассеяния ПМ;

Φ_N – магнитный поток в нейтральном сечении ПМ;

$\Phi_{SП}$ – поток рассеяния ПМ;

Φ_δ, $\Phi_{\delta 2}$, $\Phi_{\delta 3}$ – магнитные потоки зазоров δ_1, δ_2, δ_3.

Таким образом, рассчитываемую поляризованную МС с тремя воздушными зазорами привели к эквивалентной схеме замещения с одним воздушным зазором. Это существенно упрощает расчёт магнитного потока ПМ.

Расчёт проводимости рассеяния $G_{S\delta}$ воздушных зазоров трудоёмок и не даёт удовлетворительной точности [2]. Практически целесообразно учитывать поток рассеяния рабочих зазоров экспериментальным коэффициентом $\chi = \frac{\Phi_{\Sigma\delta}}{\Phi_{T\delta}}$, где $\Phi_{\Sigma\delta}$ – суммарный магнитный поток зазора, $\Phi_{T\delta}$ – магнитный поток с торцевой поверхности полюса. В результате суммарная проводимость воздушного зазора с учётом потока рассеяния вблизи него равна

$$G_{\Sigma\delta} = G_{T\delta} + G_{S\delta} = \chi \cdot G_{T\delta}, \quad (1)$$

где $\chi = 1{,}1 \ldots 1{,}5$ [2], при этом, как показывают экспериментальные исследования, относительная ошибка не превышает ±15 %.

Магнитная проводимость с торцевой поверхности полюсов зазора δ_1 рассчитывается по формуле [5]:

$$G_{T1} = \mu_0 \frac{b}{\varphi} l_{\text{п}} \frac{R_2}{R_1}, \quad (2)$$

где b – ширина полюса;

φ – угол между полюсом и якорем в радианах;

R_1, R_2 – расстояния от оси вращения якоря до ближней и дальней граней полюса.

Суммарная проводимость зазора δ_1, Гн:

$$G_{\delta 1} = \chi_1 \cdot G_{T1}, \quad (3)$$

где χ_1 принимаем равным 1,1.

Магнитная проводимость зазора δ_2 с торцевых поверхностей:

$$G_{T2} = \mu_0 \frac{S_2}{\delta_2}, \quad (4)$$

где δ_2 примем равным 0,5 мм.

Суммарная проводимость зазора δ_2:

$$G_{\delta 2} = \chi_2 \cdot G_{T2}. \quad (5)$$

где χ_2 принимаем равным 1,05.

Магнитная проводимость рабочего зазора δ_3 с торцевых поверхностей при начальном положении якоря:

$$G_{T3} = \mu_0 \frac{S_3}{\delta_3}. \quad (6)$$

Суммарная проводимость рабочего зазора при начальном положении якоря:

$$G_{\delta 3} = \chi_3 \cdot G_{T3}, \quad (7)$$

где χ_3 принимаем равным 1,25.

Значения коэффициентов χ, χ_2, χ_3 уточняются при полевом моделировании магнитной системы.

Суммарная проводимость двух параллельных зазоров δ_1 и δ_3:

$$G_{\delta 1,3} = G_{\delta 1} + G_{\delta 3}. \quad (8)$$

Суммарная проводимость зазоров δ_1, δ_3 и δ_2:

$$G_{\delta 1,3,2} = \frac{G_{\delta 1,3} \cdot G_{\delta 2}}{G_{\delta 1,3} + G_{\delta 2}}. \quad (9)$$

Проводимость рассеяния ПМ в сборке с МС будет определяться проводимостью магнитных трубок с его горизонтальных и вертикальных боковых поверхностей, которые определяются соотношением [4]:

$$G_{S\Pi a} = \mu_0 \cdot 0{,}26 \cdot a; \quad (10)$$

$$G_{S\Pi b} = \mu_0 \cdot 0{,}26 \cdot b, \quad (11)$$

где a, b – длины горизонтальной и вертикальной граней ПМ.

Кроме того, полюса 2 и 3 существенно увеличивают проводимость рассеяния ПМ. Расчёт проводимости рассеяния с полюсов трудоёмок. Поэтому учтём эту проводимость экспериментальным коэффициентом $K_{S\Pi}$, значение которого определяется компьютерным моделированием магнитного поля ПМ.

Результирующая проводимость рассеяния ПМ:

$$G_{S\Pi} = K_{S\Pi} \cdot (2 \cdot G_{S\Pi a} + 2 \cdot G_{S\Pi b}). \quad (12)$$

2.2. Расчёт индукций и магнитных потоков МС

Отношение индукции к напряжённости поля в нейтральном сечении ПМ равняется

$$\frac{B_N}{H_N} = G_\Pi \cdot \frac{l_\Pi}{S_\Pi} = (G_\delta + G_{S\delta} + G_{S\Pi}) \cdot \frac{l_\Pi}{S_\Pi}, \quad (13)$$

где l_Π, S_Π – длина и площадь сечения ПМ.

Одновременно B_N и H_N связаны между собой кривой размагничивания или линией возврата в зависимости от того, где находится рабочая точка ПМ.

В результате справедлива следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{B_N}{H_N} = \dfrac{l_П}{S_П} \cdot (G_\delta + G_{S\delta} + G_{SП}), \\ B_N = f(H_N). \end{cases} \tag{14}$$

Решение данной системы уравнений проведём графическим методом. Так как ПМ намагничивается отдельно (без МС), то после сборки МС его проводимость возрастёт. При этом его рабочая точка переместится с КР на линию возврата, которая проходит из точки отхода под углом β:

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\mu_д\right), \tag{15}$$

где $\mu_д = \dfrac{\Delta B}{\Delta H}$ – коэффициент возврата.

КР материала выбранного ПМ линейная, соединяющая точки с координатами $(B_r;0)$ и $(0;H_c)$. Поэтому линия возврата совпадает с кривой размагничивания. В результате при постановке ПМ в МС рабочая точка переместится по КР вверх. Следовательно, в решаемой системе уравнений второе уравнение – КР материала ПМ.

Первое уравнение графически изображается лучом, идущим из начала координат под углом

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left[\frac{l_П}{S_П} \cdot (G_\delta + G_{S\delta} + G_{SП})\right] = \operatorname{arctg}\left(\frac{l_П}{S_П} \cdot G_П\right), \tag{16}$$

где $\dfrac{l_П}{S_П} \cdot G_П$ – полная приведённая магнитная проводимость ПМ.

Решением данной системы уравнений является точка пересечения K_1 луча полной проводимости ПМ с кривой размагничивания (рис. 3).

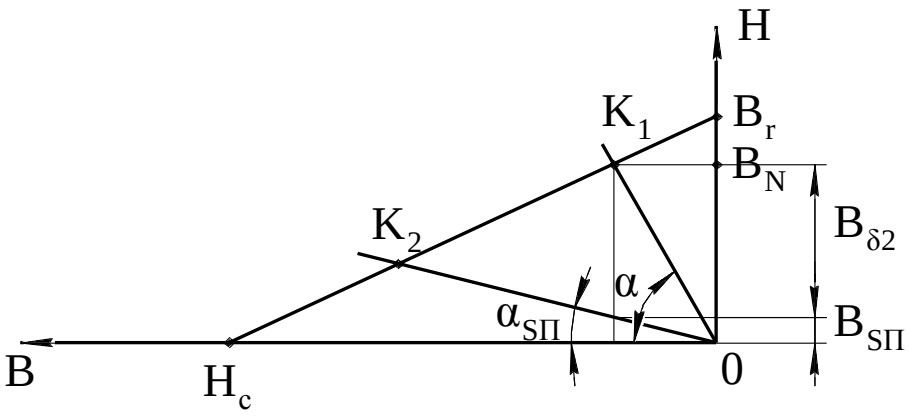


Рис. 3. Графическое решение системы уравнений (13)

Точка K_1 определяет индукцию B_N в нейтральном сечении ПМ. Для определения индукции $B_{SП}$ потока рассеяния $Ф_{SП}$ ПМ и индукции $B_{δ2}$ потока $Ф_{δ2}$ через рабочий воздушный зазор $δ_2$ следует провести луч OK_2 проводимости рассеяния $G_{SП}$ под углом $α_{SП}$

$$\alpha_{SП} = \operatorname{arctg}\left(G_П \cdot \frac{l_П}{S_П}\right). \quad (17)$$

Индукция $B_{δ2}$ и поток $Ф_{δ2}$:

$$B_{δ2} = B_N - B_{SП}; \quad (18)$$

$$Ф_{δ2} = B_{δ2} \cdot S_{П3}, \quad (19)$$

где $S_{П3}$ – площадь сечения полюса 3.

Рабочий магнитный поток зазора $δ_2$ можно найти по формуле, которая исключает погрешности графического решения [5]:

$$Ф_{δ2} = \frac{G_{δП3}}{G_П} B_N S_П, \quad (20)$$

где $S_П$ – площадь сечения ПМ.

Магнитный поток с торцевой поверхности и поток рассеяния зазора $δ_2$:

$$Ф_{δ2T} = Ф_{δ2} \frac{G_{δ2T}}{G_{δ2}}; \quad (21)$$

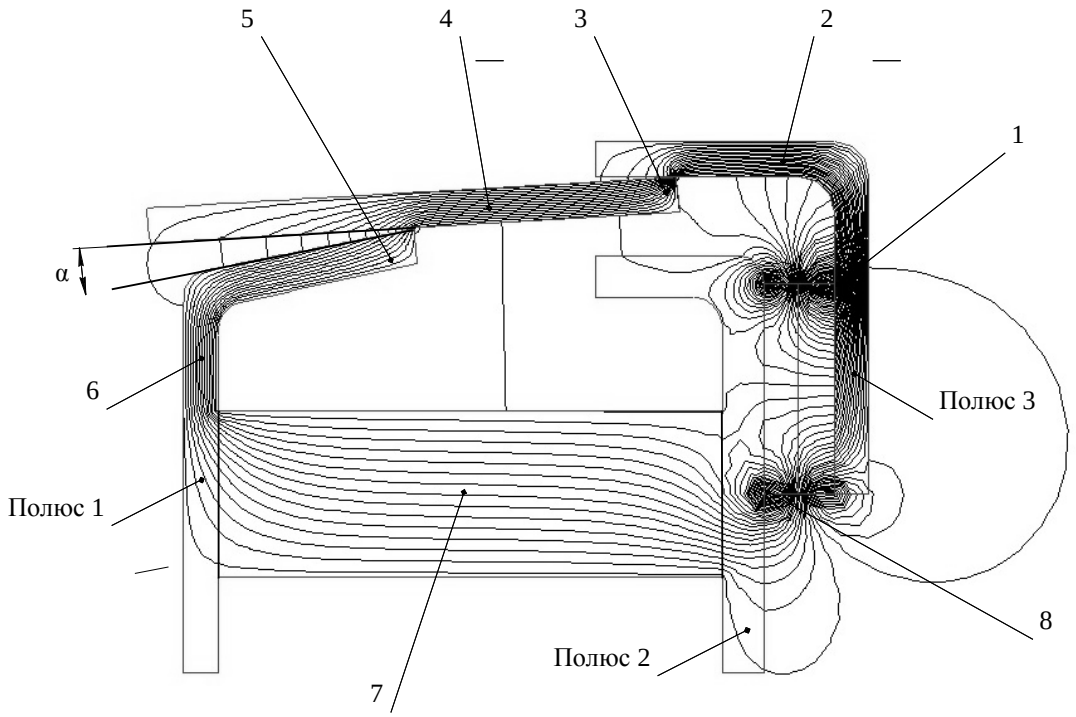
$$Ф_{δ2S} = Ф_{δ2} - Ф_{δ2T}. \quad (22)$$

Магнитные потоки зазоров $δ_1$ и $δ_3$:

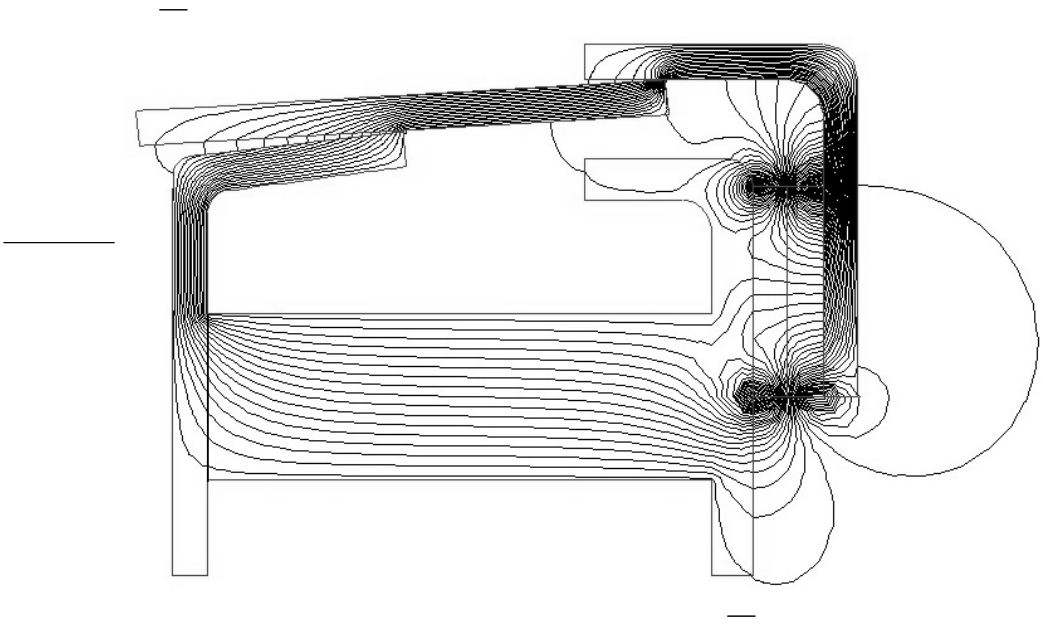
$$Ф_{δ1} = Ф_{δ2} \frac{G_{δ1}}{G_{δ1} + G_{δ3}}; \quad (23)$$

$$Ф_{δ3} = Ф_{δ2} \frac{G_{δ3}}{G_{δ1} + G_{δ3}}. \quad (24)$$

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть правильность теоретического расчёта, в соответствии с заданными размерами МС был проведён расчёт полевой задачи в магнитостатике для магнита КС25ДЦ с габаритными размерами 15*5*40. Результат расчёта приведён на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Картина магнитного поля магнитной системы:
а – угол α = 8°; б – угол α = 4°

Значения индукции в стали, полученные в результате расчёта полевой задачи

Угол α, °	1	2	3	4	5	6	7	8
8	0,8	0,28	0,56	0,21	0,43	0,21	0,044	0,37
4	0,7	0,28	0,58	0,19	0,25	0,20	0,045	0,39

Анализ картины магнитного поля позволяет сделать следующие выводы:

– наибольшая плотность потока вверху ПМ (B = 0,8 Тл). Она в два раза больше, чем внизу (B = 0,37 Тл). Это объясняется существенным увеличением проводимости рассеяния ПМ полюсами 2 и 3 магнитной системы;

– поток в рабочем зазоре δ_2 очень неравномерен, что объясняется неравномерным зазором (якорь расположен к полюсу 3 под углом). Наибольшая плотность потока – в конце якоря (B = 0,56 Тл), где зазор равен нулю. Поток рассеяния зазора близок к нулю;

– поток зазора δ_1 также неравномерный, достигая максимального значения в конце полюса (B = 0,43 Тл). Поток рассеяния зазора небольшой;

– поток в полюсе 1 и сердечнике одинаков, однако плотность потока в сердечнике снизилась пропорционально увеличению его площади;

– уменьшение угла зазора δ_1 в два раза несущественно изменило магнитный поток. Это объясняется тем, что поток ПМ определяется в основном проводимостью рассеяния ПМ и проводимостью рабочего зазора δ_2, которые остались прежними. Максимальная плотность в зазоре δ_1 уменьшилась, что объясняется более равномерным распределением потока в нём;

– поток в рабочем воздушном зазоре δ_2 равен $0{,}28 \cdot 10^{-4}$ Вб. Аналитический расчёт, проведённый по изложенной выше методике, даёт поток $0{,}3 \cdot 10^{-4}$ Вб. Расхождение составляет 7 %, что приемлемо для инженерных расчётов.

Вывод. Разработанная методика позволяет с достаточной точностью провести графоаналитический расчёт поляризованной магнитной системы для коммутационных аппаратов с высокой динамической стойкостью.

Библиографический список

1. Патент US3317871A. Магнитно-управляемый привод: заявл. 20.09.1965, запатентовано 02.05.1967 / Э. О. Адамс. 2 с.

2. Патент US3484729A. Якорь и контактный нож в сборе для электрического реле: заявл. 24.04.1967, запатентовано 16.12.1969 / Э. О. Адамс, М. Г. Нельсон, Д. Д. Тэпп, Д. К. Шюслер. 2 с.

3. ТУ 48-4/0531-6-92. Магниты постоянные на основе сплава КС 25 ДЦ. Технические условия.

4. Основы теории электрических аппаратов / под ред. Г. В. Буткевича. М. : Высш. шк., 1970. 600 с.

5. Постоянные магниты : справ. / под ред. Ю. М. Пятика. М. :«Энергия, 1971. 376 с.

Исследование работы железобетонных балок, усиленных обоймами

О. А. Дубровина [a], Д. Ю. Саркисов [b]
студент группы 1017/5 [a]
кандидат технических наук, доцент [b]
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Российская Федерация [a, b]
E-mail: nikolavnatomsk@gmail.com [a], milandd@yandex.ru [b]

Аннотация. Поведение железобетонных конструкций при действии кратковременных динамических нагрузок до сих пор недостаточно изучено. Данные о исследованиях, посвященных работе железобетонных конструкций, усиленных обоймами при таких нагрузках, в литературных источниках практически отсутствуют. Тем не менее вероятность возникновения и воздействия на строительные конструкции такого рода нагрузок с каждым годом возрастает. Целью работы являются численно-экспериментальные исследования таких конструкций. Для численных исследований применялся метод конечных элементов в среде расчетного комплекса Ansys. Экспериментальные исследования проводились на копровой установке в Томском государственном архитектурно-строительном университете. Результаты численных и экспериментальных исследований показали удовлетворительную сходимость. Представленные подходы могут быть использованы для дальнейшего изучения поведения железобетонных конструкций при действии кратковременных динамических нагрузок.

Ключевые слова: железобетонные балки, обойма, кратковременная динамическая нагрузка, численные исследования, эксперимент.

Введение. На технически сложных объектах промышленного комплекса всегда существует повышенная вероятность возникновения кратковременных динамических нагрузок аварийного характера. При этом в железобетонных строительных конструкциях протекают достаточно сложные процессы [1–3]. При аварийных воздействиях основным требованием для железобетонных конструкций является сохранение несущей способности, при этом деформативные параметры в общем случае не нормируются, а следовательно, в целях экономии при проектировании можно учитывать все ресурсы пластической работы материала. После таких воздействий конструкции часто требуют усилений, после которых они должны дальше выполнять свои функции.

Теоретическая сложность таких исследований обусловлена тем, что точно неизвестны схемы приложения нагрузки и ее параметры, а также вероятностью возникновения сложного напряженно-деформированного состояния, характеризующегося одновременным действием продольных и поперечных сил, крутящих и изгибающих моментов [4–6].

При этом сложность процессов, протекающих в железобетоне при динамическом нагружении в пластической стадии работы, приводит к наиболее рациональному в этом случае численно-экспериментальному подходу.

В качестве объекта исследования были выбраны изгибаемые железобетонные балки (обычная и усиленная железобетонной обоймой).

Целью работы являлась оценка возможности моделирования работы указанных конструкций при кратковременном динамическом воздействии в среде расчетного комплекса Ansys. В связи с указанной целью были поставлены задачи провести экспериментальные исследования железобетонных балок, выполнить их численный расчет и сопоставить полученные результаты.

Методы исследования. Для спланированных испытаний были сконструированы балки со следующими параметрами: размеры 90*180*2000 мм, расчетный пролет 1800 мм, армирование выполнено пространственными вязанными каркасами с рабочей арматурой из четырех стержней диметром 10 мм класса А400, поперечное армирование – арматурная проволока диаметром 3 мм класса В500 с шагом 100 мм в опорной зоне и шагом 150 мм в пролете, класс бетона – В25.

После проведения испытаний данных балок на действие кратковременной динамической нагрузки проводилось их усиление железобетонной обоймой толщиной 30 мм. Усиленная обоймой балка имела размеры 240×150×2000 мм. Армирование обоймы было выполнено аналогично армированию самой балки. Класс бетона обоймы – В25.

На основе копровой установки и имеющегося опыта [7–10] был собран специальный стенд. Испытание образцов проводилось путем падения груза массой 350 кг с высоты 0,5 м. При испытании использовались приборы и датчики: силоизмеритель ДСТ-4126, четыре силоизмерительных датчика аналогичного типа для записи опонных реакций, пять прогибомеров WayCon RL150-G-SR, пять акселерометров ARF-10000A, тензорезисторы на арматуре и бетоне, регистрирующие показания системы MIC-300m и MIC-036r.

Численные расчеты проводились в комплексе Ansys. Для построения сетки конечных элементов тела балки и обоймы, выполненных из бетона, приме-

нялись шестигранные восьмиузловые объемные элементы (hexahedral elements). Средний размер стороны элементов равен 30 мм. Для построения сетки конечных элементов армирования применялись линейные двухузловые балочные элементы (linear 2 noded beam elements). Длина каждого конечного элемента продольного и поперечного армирования составила 30 мм.

Расчетная модель железобетонной балки содержала 1206 шестигранных восьмиузловых объемных элементов, а также 502 линейных двухузловых балочных элемента. Общее число узлов в расчетной модели составляло 2980 шт. Расчетная модель усиленной железобетонной обоймой балки содержала 2680 шт. шестигранных восьмиузловых объемных элементов, а также 1206 линейных двухузловых балочных элементов. Общее число узлов в расчетной модели равно 7464 шт.

Для контакта арматуры и бетона железобетонной балки и железобетонной обоймы был установлен тип взаимодействия «армирование» (reinforcement type). При инициализации решателя все элементы линейных тел, ограниченные объектом, преобразовывались в дискретное армирование.

Для контакта бетонных тел железобетонной балки и обоймы был установлен тип взаимодействия «связывающий» (bonded type). При данном взаимодействии внешние узлы тел, включенных в связывающее взаимодействие, будут привязаны к граням других тел.

Для моделирования бетона применялся материал CONC-35MPA, а для тел армирования – материал Structural Steel.

Для создания опирания балок были построены тела опор на расстоянии 100 мм от края балки с обеих сторон. Для тел опор было задано свойство абсолютно жесткого тела (Rigid).

Для задания кратковременного динамического нагружения были созданы тела кубы (2 шт.) со стороной 100 мм. Для данных кубических тел задано свойство абсолютно жесткого тела (rigid), масса каждого составляла 160 кг. С помощью функции «тест на падение» (drop test) для этих тел были заданы условия падения на образец. Высота падения (drop height) задавалась равной 0,5 м, откуда скорость удара (impact velocity) тела составила 3,15 м/с.

После окончания моделирования и установки необходимых настроек решателя аналитической системы «Явная динамика» (explicit dynamics) был произведен расчет на кратковременное динамическое воздействие.

Результаты исследований, их обсуждение. Для сопоставления результатов численных исследований и данных, полученных при эксперименте, были выбраны развития физических величин прогибов и ускорений во времени.

Сравнение прогибов образцов осуществлялось по их максимальным значениям. Сравнение значений развития ускорений во времени осуществлялось по периоду первого колебания сигнала (см. таблицу).

Таблица 1

Сравнительный анализ данных, полученных в результате численного исследования в “ANSYS” и эксперимента

Образец балки	Данные с «ANSYS»	Экспериментальные данные	Отклонения, %
Максимальное значение прогиба			
Обычная	36,8 мм	37,31 мм	1,37 %
Усиленная	10,47 мм	12,29 мм	14,81 %
Период первого колебания сигнала ускорения, Т			
Обычная	28,56 мс	36,74 мс	22,26 %
Усиленная	9,80 мс	14,82 мс	33,87 %

Также было выполнено сравнение по времени развития прогиба, от начала его проявления до максимальной величины. Для обычного образца время развития прогиба до максимального значения по результатам численного исследования составило 18,20 мс, а по результатам экспериментальных исследований 23,85 мс, таким образом, отклонение составило 23,69 %. Для усиленного образца время развития прогиба до максимального значения по результатам численного исследования составило 6,16 мс, а по результатам эксперимента 7,73 мс, таким образом, отклонение составило 20,31 %.

Выводы. Проведены физические и численные исследования работы железобетонных изгибаемых элементов при кратковременном динамическом нагружении. Установлено, что разброс отклонений значений составил от 1,37 % до 33,87 %. Учитывая сложность процессов и то, что на данную тему исследований проведено крайне мало, такие отклонения можно считать удовлетвори-

тельными. Полученные результаты подтверждают достаточную корректность работы численной модели и достоверность полученных результатов.

Библиографический список

1. Определение параметров живучести защищенных ответственных строительных конструкций при ударно-волновом нагружении / Г. И. Однокопылов, О. Г. Кумпяк, З. Р. Галяутдинов, Д. Р. Галяутдинов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 4. С. 110–125.

2. Плевков В. С., Саркисов Д. Ю., Балдин С. В. Анализ параметров колебательных процессов несущего каркаса производственного здания // Строительство и реконструкция. 2017. № 4 (72). С. 47–56.

3. Galyautdinov Z. R. Deformation of reinforced concrete slabs on yielding supports under short-time dynamic loading // AIP Conference Proc. Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects. Tomsk, 2017. P. 40–44.

4. Саркисов Д. Ю. Прочность и деформативность железобетонных элементов при косом внецентренном кратковременном динамическом сжатии, растяжении и изгибе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 134–143.

5. Estimation of operated ferro-concrete structures strength of usual and prestressed reinforcing under longitudinal forces, bending and twisting moments / V. S. Plevkov, A. I. Malganov, I. V. Baldin, etc // 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology – Proceedings: KORUS 2004. Tomsk, 2004. P. 342–344.

6. Strength and deformability of reinforced concrete elements under oblique eccentric short-term dynamic compression, tension and bending / D. Sarkisov, N. Gorlenko, Y. Sarkisov, etc // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019.164, 14008. 2020. P. 1–11.

7. Пат. 2645039. РФ, МПК G01M 7/08. Способ испытания строительной конструкции при сверхнормативном ударном воздействии: № 2017100659: заявл. 10.01.2017: опубл. 15.02.2018 / Г. И. Однокопылов, Д. Ю. Саркисов, Н. В. Мещеулов; патентообладатель ТГАСУ. Бюл. № 5. 5 с.

8. Пат. 48225. РФ, МПК G01N 3/00, 3/08, 3/30. Стенд для испытания железобетонных элементов на кратковременное динамическое растяжение: № 2005112503/22: заявл. 25.04.2005: опубл. 27.09.2005 / В. С. Плевков, Д. Ю. Саркисов; патентообладатель ТГАСУ. Бюл. № 27. 5 с.

9. Пат. 76117. РФ, МПК G01B 7/016. Тензометрическое устройство для измерения деформаций арматуры железобетонных конструкций: № 2008113329/22: заявл. 07.04.2008: опубл. 10.09.2008 / В. С. Плевков, Г. И. Однокопылов, Д. Ю. Саркисов, О. Ю. Тигай, Г. М. Исмаилов; патентообладатель ТГАСУ. Бюл. № 25. 5 с.

10. Пат. 66534. РФ, МПК G01N 3/00. Установка для экспериментальных исследований строительных конструкций: № 2007110136/22: заявл. 19.03.2007: опубл. 10.09.2007 / В. С. Плевков, Г. И. Однокопылов, Д. Ю. Саркисов, О. Ю. Тигай, О. А. Однокопылова; патентообладатель ТГАСУ. Бюл. № 25. 5 с.

Особенности изготовления столешницы из древесины дуба с использованием эпоксидной смолы в условиях индивидуального производства

А. А. Егоян [a], О. А. Рублева [b]
студент группы ТДм-2801-01-00 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a]
E-mail: stud105295@vyatsu.ru [a], olga_ru@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Гибридная мебель из древесины и эпоксидной смолы относится к индивидуальным изделиям мебели премиум-класса. Основной проблемой для изготовителя таких изделий является отсутствие четких технологических рекомендаций по приемам обработки комбинированных поверхностей смола-древесина и связанные с этим технологические риски при достаточно высокой стоимости исходных материалов. Целью данного исследования является разработка технологического процесса изготовления такой столешницы в условиях индивидуального производства с учетом оптимизации расходов на изготовление изделия. В работе использован экспериментальный метод исследования, в ходе которого определена себестоимость изготовления столешницы в условиях индивидуального производства. Выявлено, что изготовление столешницы в условиях индивидуального производства – это трудоемкий процесс, который требует внимательности, наличия достаточного количества времени и узкопрофильных знаний в данной области, однако при соблюдении ряда правил процесс экономически оправдан. Результаты исследования могут послужить инструментом для объективной оценки реальной стоимости изделия для потребителей и основой для разработки руководства по поэтапному изготовлению изделий из древесины и эпоксидной смолы типа столешниц.

Ключевые слова: эпоксидная смола, древесина, столешница, технология изготовления.

Введение. Стол из эпоксидной смолы – это гибридная мебель. В последние годы такие конструкции столешниц набирают оправданную популярность, так как они необычные, но в то же время чрезвычайно благородные и качественные, они притягивают взгляд и олицетворяют экзотическую красоту. Спрос на них очень высокий, соответственно, высока и цена на данный товар. Такие столешницы можно отнести к премиум-сегменту по стоимости, поэтому не каждый может позволить себе стать обладателем столь необычного элемента декора.

Возникает вопрос: насколько оправданна высокая стоимость и есть ли возможность оптимизации расходов на изготовление? Для ответа на данный вопрос в настоящей работе принято решение изготовить данное изделие в условиях индивидуального производства, используя рекомендации по изготовлению столешницы из опубликованной ранее авторами статьи [1]. При этом учитывались также рекомендации, подготовленные сотрудниками и сту-

дентами ВятГУ Н. А. Тарбеевой и Е. С. Рублевой в статье «Основные дефекты и способы их предотвращения в изделиях на основе древесины и эпоксидной смолы» [2].

Объектом исследования является процесс изготовления столешницы из древесины дуба с использованием эпоксидной смолы в условиях индивидуального производства, а предметом исследования – себестоимость изготовления изделия.

Целью исследования является разработка технологического процесса изготовления такой столешницы в условиях индивидуального производства для оптимизации расходов.

Для достижения данной цели необходимо выполнить ряд задач:

1) изучить этапы технологического процесса создания изделия;
2) изучить основные дефекты и способы их устранения;
3) приобрести необходимые материалы для изготовления столешницы в условиях индивидуального производства;
4) применить полученные знания на практике;
5) рассчитать себестоимость изготовленного изделия.

Методы исследования. Для данного исследования был выбран экспериментальный способ, так как было важно самостоятельно изучить технологический процесс для составления объективной оценки и расчета себестоимости изделия.

Результаты исследований, их обсуждение. Авторами ранее [1] уже были рассмотрены этапы технологического процесса создания изделия, поэтому результаты предыдущего исследования легли в основу проведения данного эксперимента.

Для изготовления столешницы были выбраны материалы и инструменты, представленные в табл. 1, в частности, для изготовления основы был выбран готовый слеб дуба, что позволило сэкономить ресурсы на сушку.

Таблица 1

Список необходимых материалов и инструментов для изготовления столешницы

Материалы и инструменты	Стоимость, руб.
Слеб дуба	2500
Эпоксидная смола Artline MONOLITH Epoxy 2-компонентная	11000
Паста пигментная для эпоксидной смолы Artline Pigment Paste (зеленая)	240
Флуоресцентный пигмент порошковый (желтый)	260
Палочка для смешивания	В наборе
Обрезная доска	500
Пленка	230
Разделительная смазка-спрей Artline	340
Продувочный пневмопистолет FURAG DGL 170/4 110122	320
Шкурка шлифовальная, водостойкая, на тканевой основе, 14а, 4Н (Р320)	40
Профессиональная монтажная пена Makroflex ПРО ФР 77	789
Фен PHILIPS BHD002/00	В наличии
Молоток с гвоздодером Stanley Blue Strike	В наличии
Эксцентриковая шлифмашина PATRIOT OS 125	2790
Круговой шлифматериал	120
Диск из жесткого и упругого поролона	40
Паста ГОИ (зеленая)	139
Лак для столешниц двухкомпонентный с аддитивом глянец бесцветный V33	230
Подстолье для рабочей поверхности регулируемое Лофт 710 мм, цвет чёрный	2194

Основной сложностью в данном процессе является риск возникновения дефектов, из-за которых могли появиться неоправданные затраты. Основными дефектами, которые могли возникнуть, были образование пузырьков, образование липкого слоя, коробление. Для предотвращения появления этих дефектов необходимо было соблюдать четкие пропорции при смешивании эпоксидной смолы и отвердителя, использовать фен для устранения пузырей и жёсткую форму для отлива. Выбор был сделан в пользу двухкомпонентной эпоксидной смолы Artline MONOLITH Epoxy, так как в набор входит точная пропорция обоих компонентов, что позволяет смешать их в строгом соответствии с требованиями.

Для расчета нормы расхода смолы и отвердителя использовался калькулятор, представленный на сайте магазина, в котором приобретались компоненты [3], с учетом площади изделия. Для заливки столешницы размерами 147×47×4,5 см понадобился один набор рабочей смеси.

Для обеспечения полной герметичности и предотвращения вытекания состава из формы было принято решение использовать монтажную пену, что позволило избежать незапланированных расходов.

Стоит отметить, что материалы для проведения данного эксперимента были выбраны высокого качества, т. е. себестоимость рассчитана по максимальным показателям и может быть снижена в зависимости от затрат на инструменты и от вида применяемой смолы. Габариты изделия также играют важную роль в определении количества затрат; для данного изделия были выбраны средние габариты, чтобы рассчитать средние показатели. Столешницы с идентичными параметрами в Интернете предоставлены в ценовом диапазоне от 30 до 50 тыс. руб. в зависимости от сложности отлива.

Следует обратить внимание на то, что сложность отлива у экспериментального изделия достаточно высокая. Это обусловлено тем, что помимо одной основной дорожки отливалась еще треугольная дорожка с изгибом во внутренней части древесины, а также два отверстия с фигурными пнями, которые находились под углом (рис. 1, 2). Данные факторы усложняли процесс отлива, так как элементы требовали дополнительной обработки в связи с большим количеством труднодоступных углов [4].

Рис. 1. Эталон-образец

Рис. 2. Исходный образец

Самостоятельное изготовление столешницы – это очень трудоемкий процесс, который требует внимательности, терпеливости и ответственности, также значительных денежных затрат. Однако данные затраты существенно меньше тех, которые предлагаются в магазинах. Общая сумма расходов составила 21,552 тыс. руб. с учетом высокой степени сложности изготовления столешницы, дорогих компонентов для заливки и средних параметров.

Для наглядного сопоставления себестоимости было проведено сравнение характеристик самостоятельно изготовленного изделия (рис. 2) с изделием схожих параметров (рис. 1).

Таблица 2

Характеристики столешниц

Параметры	Эталон-образец	Исходный образец
Размеры	40x800x1200 мм	45x470x1470 мм
Материал	Дуб, металл	Дуб, металл
Уровень сложности	Высокий	Высокий
Вид эпоксидной смолы	Не указано	Artline MONOLITH Epoxy
Цвет (тип) краски	Зеленая	Зеленая и флуоресцентная
Цена (себестоимость)	44790 руб.	21552 руб.

Таким образом, изготовление столешницы в условиях индивидуального производства – это бюджетный вариант производства, однако требует узкопрофильных знаний, четкого соблюдения инструкций и времени. У данного варианта есть сложности в применении, так как всего лишь одно неправильное решение – и изделие может быть испорчено на любом этапе производства. Для экономии времени и во избежание образования каких-либо дефектов можно приобрести желаемый вариант стола в магазинах или в Интернете. Однако стоит отметить, что изделие, изготовленное самостоятельно, позволяет избежать использования дешевых материалов и заменителей, а также позволит выбрать и воплотить в реальность любой декор. Данные особенности являются преимуществом, так как стоимость стола с индивидуальным дизайном существенно выше типовых моделей.

Выводы. В ходе данного исследования изучены и реализованы на практике этапы технологического процесса создания изделия, исследованы основные дефекты и способы их устранения, что помогло предотвратить появление многих дефектов в изготавливаемом изделии. На основании сведений о затратах на материалы и инструменты определена ориентировочная себестоимость изделия и проведен сравнительный анализ характеристик изготовленной столешницы с готовым аналогом. Себестоимость изготовленной столешницы в два раза ниже цен на имеющиеся в продаже аналоги. На основе результатов данно-

го исследования планируется разработка подробного технологического процесса изготовления столешниц из древесины с использованием эпоксидной смолы, который может служить руководством для использования в условиях индивидуального производства.

Библиографический список

1. Егоян А. А., Рублева О. А. Этапы технологического процесса изготовления декоративных изделий из некондиционной древесины на основе эпоксидной смолы / ВятГУ, КирПИ, ФТИД, каф. МТД // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : сб. ст. : XIX Всерос. науч.-практ. конф., 1–26 апр. 2019 г. / ВятГУ. Киров, 2019. Т. 2: Технические и физико-математические науки. С. 110–116.

2. Тарбеева Н. А., Рублева Е. С. Основные дефекты и способы их предотвращения в изделиях на основе древесины и эпоксидной смолы / ВятГУ, КирПИ, ФТИД, каф. МТД // Общество. Наука. Инновации (НПК-2020) : сб. ст. : XIX Всерос. науч.-практ. конф., 17 фев–26 апр. 2010 г. / ВятГУ. Киров, 2020. Т. 2: Химико-биологические и технические науки. С. 361–368.

3. Калькулятор расчета нормы расхода эпоксидной смолы. URL: https://artline-shop.ru/epoksidnaya-smola-dlya-zalivki-stola-monolith/ (дата обращения 05.02.21).

4. Стол из эпоксидной смолы: виды, МК по изготовлению с видео. URL: https://design-homes.ru/idei-dlya-doma/stol-iz-epoksidnoj-smoly (дата обращения 05.02.21).

Методика обнаружения вредоносных действий злоумышленника на основе классификации журналов событий при расследовании компьютерных инцидентов

М. А. Еремеев [a], И. Е. Горбачев [b], С. И. Смирнов [c], И. Т. Латыпов [d]
доктор технических наук, профессор [a]
кандидат технических наук, доцент [b]
аспирант группы БМАО-01-18 [c, d]
Российский технологический университет – МИРЭА, Москва, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: eremeev_m@mirea.ru [a], gorbachev_i@mirea.ru [b],
smirnov_si@mirea.ru [c], latypov@mirea.ru [d]

Аннотация. Киберпреступность наносит огромный материальный и репутационный ущерб компаниям вне зависимости от их сферы деятельности и величины. Анализ проведенных ранее исследований о последствиях кибератак показал, что актуальной проблемой на сегодняшний день является процесс оперативного сбора артефактов об инциденте из компьютерной сети. Причиненный материальный ущерб компании напрямую зависит от оперативности выявления вредоносных действий злоумышленников.

Целью статьи является разработка новой методики обнаружения вредоносных действий злоумышленника, полученных из журналов событий доменных машин локальной сети. Ведущий подход исследования основан на процессе классификации журналов событий с применением словарей тональности текстовых данных, а также свойства «странности» слов.

Результатом применения данной методики является информация технического характера о выявленных вредоносных действиях внутри корпоративной сети с привязкой по времени. Данная методика позволит сократить время при расследовании компьютерных инцидентов.

Ключевые слова: компьютерный инцидент, методы классификации текстовых данных, журналы событий информационной безопасности, целевые атаки.

Введение. Целевые таргетированные атаки на сегодняшний день представляют большую угрозу для организаций средних и крупных размеров в особенности с применением вирусов-шифровальщиков. Расследование компьютерных инцидентов показывает, что нарушители могут находиться в корпоративной сети на протяжении весьма продолжительного времени (до одного года) и при этом оставаться незамеченными [1].

В дальнейшем при расследовании компьютерных инцидентов для специалистов информационной безопасности актуальной задачей становится сбор и анализ большого количества разнородных источников доказательств (снятие дампов оперативной памяти, копий жестких дисков, журналов событий сетевого оборудования и т. д.) в кратчайшие сроки. Зачастую компании не обладают дорогостоящими программно-аппаратными комплексами (например, Belkasoft), с помощью которых можно собственными силами оперативно проводить расследование.

В настоящей статье предложена новая методика обнаружения вредоносных действий злоумышленника на основе классификации данных из журналов событий windows-машин. В методике будут рассмотрены основные признаки классификации текстовых данных на основе различных команд для разведки сетевого периметра организации, а также выявление вредоносных powershell-скриптов, применяемых злоумышленниками.

Объектом исследования являются журналы событий доменных машин корпоративной сети.

Предметом исследования являются методы обнаружения вредоносных действий на основе классификации журналов событий при расследовании компьютерных инцидентов.

Оценим уровень разработанности исследуемого вопроса. Авторы статьи [2] предлагают использовать при расследовании инцидентов метод на основе профилей поведения сетевых объектов, но с выполнением условия раннего мониторинга событий в сети. Авторы статьи [3] предлагают обнаруживать аномальные состояния компьютерных систем средствами машинного обучения на основе системных журналов. Но в случае малого количества полученных данных невозможно провести их качественное обучение.

Проблематика исследования заключается в специфичности обрабатываемых данных: команд и различных скриптов, используемых атакующим, а именно в их классификации.

Целью исследования является разработка методики обнаружения вредоносных действий злоумышленника на основе классификации журналов событий при расследовании киберинцидентов.

К задачам исследования относятся: выбор математического аппарата исследования, разработка словарей тональности на основе двух словарей с искусственно сгенерированными отрицательными и положительными событиями ИБ, классификация исходных данных на основе «странности» слов, выявление вредоносных действий злоумышленника на основе полученных данных разработанной методики.

Ведущий подход к построению методики классификации вредоносных воздействий злоумышленника. Для анализа тональности текстовых данных в настоящее время существует два подхода. Первый подход основан на методах машинного обучения: наивном методе Байеса, методе решающего дерева, методе случайного леса, методе опорных векторов, модели мешка слов. В данном подходе задача анализа тональности сводится к задаче классификации текстов путем обучения классификатора.

Второй подход основан на использовании словаря тональности лексики, а именно на анализе тональности отдельных термов (слов) в тексте. В данном словаре каждому слову выставляется определенная величина («вес» слова), которая на вход принимает количество вхождений в текст каждого слова и вычисляет величину тональности всего текста [4].

Для решения данной задачи более подходящим является второй подход, так как для процесса обучения выборка данных мала.

Опишем требования, предъявляемые к разработанному методу классификации. Во-первых, функционирование производится в реальном режиме времени (например, в специализированных программно-аппаратных средствах). Во-вторых, показатели полноты и точности искусственно сгенерированных вредоносных действий злоумышленника должны поддерживаться в актуальном состоянии на основе техник матрицы MITRE ATT&CK [4]. В-третьих, это простота его реализации.

Методика обнаружения вредоносных воздействий злоумышленника на основе классификации журналов событий при расследовании компьютерных инцидентов состоит из пяти этапов, которые представлены на рис. 1.

Описание этапов разработанной методики

Этап 1. Автоматизированный сбор журналов событий с доменных машин пользователей и серверов (например, программы Graylog, rsyslog или syslog-ng).

Этап 2. Предобработка полученных данных (очистка от знаков препинания, удаление стоп-слов английского языка, лемматизация (библиотека

nltk.lemmatize) и токенизация текста (библиотека nltk.word_tokenize)). На этапе предобработки данных необходимо удалять не все знаки препинания, как в обычных текстах. Например, в командах злоумышленника при запуске вредоносных скриптов часто используется знак «тире»;

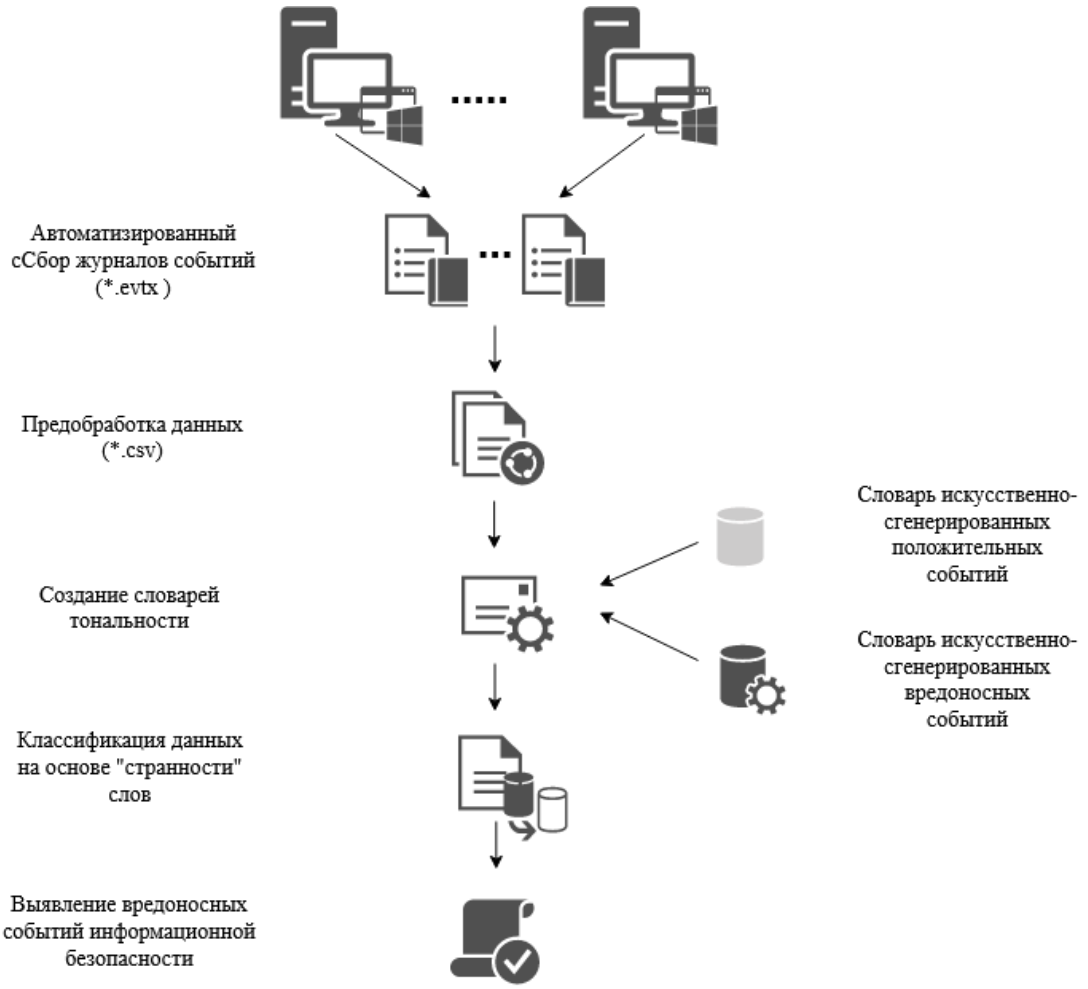


Рис. 1. Этапы методики обнаружения вредоносных воздействий злоумышленника на основе классификации журналов событий

Этап 3. Создание словарей тональности

Для возможности классификации данных из журналов событий необходимо создать словарь тональности. Для этого используются два корпуса текстов с противоположными тональностями (положительными и отрицательными, т. е. вредоносными):.

В основе предложенного алгоритма находится понятие «странность» слова, для вычисления которой необходимо два корпуса текстов с противоположными тональностями.

Описание этапов алгоритма расчета величины «странности» слова представлено ниже.

1. Расчет вероятности появления слова в первом исследуемом тексте:

$$P_1(w) = N_1(w)/N_1,$$

где $N_1(w)$ – общее количество w слов в первом исследуемом тексте; N_1 – суммарное количество слов в первом исследуемом тексте.

2. Расчет вероятности появления слова во втором исследуемом тексте:

$$P_2(w) = N_2(w)/N_2,$$

где $N_2(w)$ – общее количество w слов во втором исследуемом тексте; N_2 – суммарное количество слов во втором исследуемом тексте.

3. Расчет величины «странности» *weirdness* для слова *w:*

$$weirdness(w) = P_1(w)/P_2(w)$$

Опишем ограничения, накладываемые на величину «странности»:

1. $P_2(w_i) > 0$.

2. $P_1(w_i) \geq 0$.

3. Интервал значений признака тональности: $y(w_i) = \{-1, 0, 1\}$.

4. Ранжирование полученных значений по величине $W(w_i)$. Слова, которые имеют величину «странности» равную нулю, не интересны, так как выявлены только в одном тексте из двух.

В результате работы алгоритма создаются словари, в которых каждому слову соответствуют разные величины. Например, частоты появления данных слов в двух корпусах текстов, мера «странности» слова и ее тональности $y(w_i)$.

$$w_i \rightarrow [P_1(w_i), P_2(w_i), weirdness(w_i), y(w_i)]$$

Этап 4. Классификация данных на основе «странности» слов

Классификация данных на первом шаге начинается с расчета сентимента значения текста, то есть рассчитывается сумма всех слов (каждый член данной суммы – это произведение сентимента значения слова, которое умножается на значение тональности слова).

$$W_j = \sum y(w_i) * weirdness(w_i),$$

где W_j – сентимент величины текста j; $weirdness(w_i)$ – значение «странности» слова i; $y(w_i)$ – значение тональности слова; $y(w_i) = \{-1, 0, 1\}$.

На втором шаге определяется цена деления шкалы ранжирования данных по определенным классам (например, данные по столбцам событий информационной безопасности (ИБ)). Для повышения точности системы подсчета W^* ниже представлена формула ее расчета.

$$W^* = (Max(W_j) - Min(W_j)) / |C|,$$

где W^* – сумма значений длины отрезка на W (шкале распределения), на ней находятся значения одного класса, $|C|$ – общее количество классов.

На третьем шаге соотношение данных необходимо представить по определенным классам (k) и по условию: $W_j \in ck \Leftrightarrow (k-1) * W^* < Wj < k * W^*$. В результате данные будут распределены по шкале W по классам.

Этап 5. Выявление вредоносных событий ИБ

На этом этапе происходит выявление вредоносных событий на основе классификации данных по признаку «странности» слов, т. е. обнаружение вредоносных команд злоумышленника и используемых им powershell-скриптов с привязкой к ip-адресам, портам, именам пользователей рабочих станций домена.

Результаты исследований, их обсуждение. Прототип методики обнаружения вредоносных воздействий злоумышленника на основе классификации журналов событий реализован на языке Python 3 с применением библиотеки sklearn. Он включает в себя все этапы, описанные в теоретической части статьи.

На этапе создания словарей в качестве словаря отрицательной тональности лексики используется набор предобработанных искусственно сгенерированных вредоносных событий (этапа «Lateral Movement» матрицы MITRE ATT&CK), содержащий 1274 строки.

Словарь событий содержит следующие основные названия столбцов:

– время создания события (TimeCreated);

– идентификатор события (EventId);

– идентификатор процесса (ProcessId)

– имя компьютера (Computer);

– имя и id пользователя (UserName, UserId);

– описание техник (MapDescription);

– ip-адрес хоста и используемый порт (RemoteHost);

– полезные нагрузки, исполняемые команды (PayloadData1-6, ExecutableInfo).

На рис. 2 представлен пример вредоносного события (номер 1122) из словаря.

```
RecordNumber                                                    6
EventRecordId                                                9809
TimeCreated                          2019-04-30 20:26:52.3560890
EventId                                                         1
Level                                                        Info
Provider                                    Microsoft-Windows-Sysmon
Channel                        Microsoft-Windows-Sysmon/Operational
ProcessId                                                    1964
ThreadId                                                     1664
Computer                                                  IEWIN7
UserId                                                  S-1-5-18
MapDescription                                    Process creation
ChunkNumber                                                     0
UserName                                       NT AUTHORITY\SYSTEM
RemoteHost                                                    NaN
PayloadData1       ProcessID: 2484, ProcessGUID: 365abb72-af8c-5c...
PayloadData2                                              RuleName:
PayloadData3       SHA1=04C5D2B4DA9A0F3FA8A45702D4256CEE42D8C48D,...
PayloadData4       ParentProcess: C:\Windows\System32\WindowsPowe...
PayloadData5       ParentProcessID: 3872, ParentProcessGUID: 365a...
PayloadData6       ParentCommandLine: powershell.exe  -nop -w hid...
ExecutableInfo     "powershell.exe" -noni -nop -w hidden -c &amp;amp;...
HiddenRecord                                                  False
SourceFile         C:\Users\Jager\Desktop\EVTX-ATTACK-SAMPLES-mas...
Payload            {"EventData":{"Data":[{"@Name":"RuleName"},{"@...
Keywords                                                    Classic
ExtraDataOffset                                                 0
Name: 1122, dtype: object
```

Рис. 2. Пример вредоносного события из словаря

В качестве словаря положительной тональности лексики был использован набор предобработанных искусственно сгенерированных событий ИБ, в которых отсутствует использование техник злоумышленника на этапе горизонтального перемещения по сети.

На основе алгоритма создания словарей тональности (этап № 3) в табл. 1 приведем пример расчета данных некой выборки с привязкой к определенному столбцу примера события.

Таблица 1

Некая выборка из словаря тональности данных

Название столбца события	Номер слова w_i	Значение $P_1(w_i)$,	Значение $P_2(w_i)$,	Значение $W(w_i)$	Значение $y(w_i)$
PayloadData6	w_1	0,83	0,85	0,97	1
PayloadData6	w_2	0,09	0,81	0,11	0
PayloadData6	w_3	0,13	0,91	0,14	0
PayloadData6	w_4	0,75	0,91	0,82	1
PayloadData6	w_5	0,81	0,89	0,91	1
PayloadData6	w_6	0,13	0,74	0,17	0

На этапе классификации проведено ранжирование данных по определенным классам (например, данные по столбцам событий ИБ) и посчитана вероятность появления данных событий. Приведем статистику по классам топ-10 событий в табл. 2.

Таблица 2

Статистика по классам событий, используемых злоумышленником при горизонтальном перемещении в сети

Класс, *k*	Название класса события	Кол-во/вероятность встречаемости класса события
1.	Доступ к объектам общего сетевого ресурса	928 / 0,8
2.	Создание нового процесса	57 / 0,05
3.	Сетевое подключение	39 / 0,03
4.	Создание и удаление объекта (RegistryEvent)	37 / 0,03
5.	Неудачная попытка входа в систему	31 / 0,02
6.	Аутентификация администратора домена	22 / 0,018
7.	Успешный вход в систему	19 / 0,016
8.	Аутентификация WinRM	10 / 0,009
9.	Удаление запланированной задачи	10 / 0,009
10.	Запрос аутентификации NTLM	7 / 0,006

На этапе выявления вредоносных событий ИБ из журналов событий была обнаружена вредоносная активность в пяти, а также получены используемые команды атакующего, ip-адреса и имена машин-жертв, время событий, а также учетные записи пользователей, которыми воспользовался злоумышленник.

Данные технического характера о выявленных событиях с привязкой по времени представлены в табл. 3.

Таблица 3

Данные технического характера о выявленных вредоносных событиях

Время события	Ip-адрес машины	Имя конечной машины	Учетная запись	Выявленные вредоносные команды
2020-11-12 01:47:07	10.10.1.6	pc_6@mirea.ru	User6	whoami /all, nmap -sS -p 445 10.10.1.0/24
2020-11-12 02:13:21	10.10.1.6	pc_6@mirea.ru	User6	powershell.exe -nop -w hidden -noni -c {…}
2020-11-12 05:32:41	10.10.1.13	pc_13@mirea.ru	User13	sharpRDP.exe computername=10.10.1.13 command="C:\Temp\file.exe" username=mirea.ru\User13 password=qwerty1505
2020-11-12 07:33:40	10.10.1.18	pc_18@mirea.ru	User18	xfreerdp-sec-nla/v:10.10.1.18/u:User18/d:mirea.ru
2020-11-12 08:45:23	10.10.1.18	pc_18@mirea.ru	User18	powershell.exe -nop -w hidden -noni -c {…}

Достоверность полученных результатов обосновывается экспериментальными данными: разработанная методика показала результаты в реальном режиме времени. Выявлен диапазон времени (2020-11-12 01:47:07 до 2020-11-12 08:45:23), в течение которого атакующий выполнял определенные команды и скрипты. Злоумышленник получил доступ к трем конечным станциям в корпоративной сети (10.10.1.6, 10.10.1.13, 10.10.1.18). Время обработки исходной информации из журналов событий до получения результата о действиях злоумышленника составило 13 минут.

Выводы. В ходе апробации полученных результатов на основе применения разработанной методики была получена информация технического характера о выявленных вредоносных действиях внутри корпоративной сети с привязкой по времени. Были решены задачи исследования, а именно: описан математический аппарат для разработки словарей тональности, проведена классификация исходных данных на основе «странности» слов, выявлены вредоносные действия злоумышленника. Данная методика позволила сократить время при расследовании компьютерных инцидентов. В качестве продолжения исследований по данной тематике возможно увеличить словарь вредоносных событий на основе матрицы MITRE ATT&CK.

Библиографический список

1. Анализ техник и инструментов, используемых злоумышленником при горизонтальном перемещении в корпоративной сети / С. И. Смирнов, М. А. Еремеев, И. Е. Горбачев и др. // Защита информации. Инсайд. 2021. № 1 (97). С. 58–61.

2. Метод расследования инцидентов безопасности на основе профилей поведения сетевых объектов / А. Г. Ломако, В. А. Овчаров, С. А. Петренко // Дистанционные образовательные технологии : сб. ст. по материалам III Всероссийской научно-практической конференции. Ялта, 2018. С. 366–373.

3. Шелухин О. И., Рябинин В. С., Фармаковский М. А. Обнаружение аномальных состояний компьютерных систем средствами интеллектуального анализа данных системных журналов // Вопросы кибербезопасности. 2018. № 2(26). С. 33–43.

4. Чусовлянов Д. С. Машинное обучение для определения тональности и классификации тексов на несколько классов // Выпускная квалификационная работа бакалавра. URL: https://www.hse.ru/data/2014/06/06/1323486344/ (дата обращения 15.01.2021).

Выбор архитектуры рекомендательной системы для сервиса агрегатора фитнес-клубов

Н. С. Жолобов [a], Л. Л. Булычев [b]
студент группы ИТм-1301 [a, b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud123729@vyatsu.ru [a], ll_bulychev@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Постоянно активно растущие объемы информации в интернете усложняют поиск наиболее интересных материалов. Появление сайтов-агрегаторов позволило упростить поиск и доступ к данным, однако постоянно растущие объемы информации все больше затрудняют поиск. Актуальной стала задача приоритизации данных в системах. Решением данной проблемы явились рекомендательные системы, задачей которых оказалось определение тех предметов в системе, которые могут быть интересны пользователю, и отсечение неинтересной информации. В работе проводится поиск подходящей архитектуры рекомендательной системы для сервиса поиска фитнес-клубов. Представлен обзор существующих подходов, таких как коллаборативная фильтрация, контент-ориентированные системы, гибридные системы. Результаты данного исследования могут быть полезны для определения архитектуры рекомендательных систем для построения различных сервисов.

Ключевые слова: рекомендательная система, коллаборативная фильтрация, контент-ориентированная система.

Введение. В современном мире сложно не заметить стремительно растущий объем информации. Сейчас уже недостаточно просто отфильтровать информацию на основе поискового запроса, так как даже в такой ситуации объемы информации могут быть очень большими. Например, по запросу «рекомендательная система» Google выдает около пяти миллионов ссылок. Перебрать такие объемы информации вручную невозможно.

Для того чтобы упростить жизнь пользователя, необходим некоторый механизм приоритизации получаемой информации, чтобы более актуальная информация быстрее попала к пользователю, чем менее актуальная.

Чтобы решить данный вопрос, появились специальные модели, получившие название «рекомендательные системы». Такие системы позволяют фильтровать и приоритизировать информацию на основе предпочтений пользователя. Сами предпочтения при этом могут определяться различными методами, в зависимости от выбранной модели.

Использование рекомендательных систем позволяет сократить время поиска интересных для них продуктов. Такие системы используются во множестве современных сервисов, таких как Youtube, Netflix, Ozon и прочие.

Целью данного исследования является определение архитектуры рекомендательной системы, подходящей для разрабатываемого агрегатора фитнес-клубов.

Обзор существующих подходов к построению рекомендательных систем

В настоящее время наиболее распространенными являются три подхода к построению рекомендательных систем:

– коллаборативная фильтрация;

– контент-ориентированные системы;

– гибридные системы.

Рассмотрим принципы работы каждой из них.

Коллаборативная фильтрация представляет собой процесс отбора контента, использующий накопленные мнения других людей [1]. Такие системы являются довольно простыми и хорошо изученными [2], что делает их применение довольно распространенным. На данный момент использование коллаборативной фильтрации является простым способом предоставления рекомендаций для пользователей. Применение подобных систем можно встретить, например, в интернет-магазинах, стриминговых сервисах.

Работа коллаборативной фильтрации основана на так называемой «матрице оценок». Используя статистические методы [2], можно выделить близких по интересам пользователей и на основе их интересов предсказать оценку некоторого предмета целевым пользователем.

При этом системы коллаборативной фильтрации можно разделить на ориентированные на пользователя и на предметы. В первом случае определяется схожесть между пользователями, и рекомендации строятся на основе предпочтений «соседей». Во втором случае определяется схожесть между предметами, а затем определяется рейтинг целевого предмета для пользователя.

Иным подходом к построению рекомендательных систем являются контент-ориентированные системы [3]. В их основе заложена не ориентация не оценки других пользователей, а учет интересов одного пользователя. Для реализации рекомендаций в таких системах выполняется выделение ключевых атрибутов объектов, что позволяет в дальнейшем выполнять их сравнение [4].

Важной задачей в построении контент-ориентированных систем является определение атрибутов. Чем лучше будут определены атрибуты, тем точнее можно будет разделить предметы, и рекомендации будут точнее. Для решения задачи выделения ключевых атрибутов применяются различные способы:

– привлечение экспертов. Узкая группа лиц, разбирающихся в предметной области, может грамотно выделить ключевые атрибуты сущностей в системе, однако данная процедура может оказаться достаточно затратной;

– делегировать задачу пользователям. Количество пользователей часто значительно больше, чем количество экспертов, доступных для привлечения. Применение такого подхода позволяет быстро выполнить выделение атрибутов сущностей, однако точность такой системы будет значительно ниже из-за отсутствия стандартов;

– попытаться автоматизировать процесс выделения атрибутов. Например, такой подход можно использовать в системе подбора интересных научных статей [5], так как публикации часто имеют определенную структуру.

Гибридные системы появились как результат попыток решения проблем, свойственных системам, описанных ранее. Сами по себе гибридные системы не привносят ничего нового в процесс построения рекомендаций, но предлагают различные способы их комбинирования [6]. Примером гибридной системы может быть объединение коллаборативной фильтрации и контент-ориентированной системы. При этом существуют следующие способы гибридизации:

– взвешенная комбинация. В таком случае результат работы двух систем получается путем линейной комбинации их результатов;

– переключение. В зависимости от обстоятельств происходит выбор одной из систем. Например, такой подход может решить проблему «холодного старта»;

– смешивание. Из результатов обоих систем удаляются дубликаты, после чего формируется общий список;

– конвейер. В таком случае используется последовательная комбинация методов. Например, один может отсеять наиболее нерелевантные, а второй – скорректировать оценки;

– комбинирование признаков. Комбинирование ключевых атрибутов и матрицы оценок позволяет расширить множество атрибутов сущностей, по которому формируются рекомендации;

– усиление признаков. В таком случае выделяется основная и дополнительная системы. Например, можно использовать контент-ориентированную систему для вычисления предсказаний, после чего использовать их для расширения матрицы оценок.

Проблемы и варианты их решения

Существующие рекомендательные системы не лишены недостатков. Ниже перечислены некоторые из них [3]:

– проблема «холодного старта». Данная проблема проявляется, когда в системе появляется новый предмет либо новый пользователь. В начале жизни новой сущности данных о ней мало, что не позволяет определить соотношение с другими сущностями. Проблема более характерна для систем коллаборативной фильтрации, так как те сильно зависят от выставляемых оценок. Решением данной проблемы является либо выключение доступа к рекомендациям для пользователя и предоставление альтернативного доступа к новым предметам, либо использование гибридного подхода;

– масштабируемость. При увеличении количества пользователей и предметов в системе все сложнее становится определять рекомендации, так как требуется все больше ресурсов. Данная проблема особо характерна для систем коллаборативной фильтрации. Решением данной проблемы в рамках коллаборативной фильтрации является кластеризация с последующим сравнением групп, а не отдельных сущностей. Точность системы станет хуже, но позволит определять рекомендации за разумное время;

– разреженность данных. Данная проблема также характерна для коллаборативной фильтрации и заключается в том, что количество оценок, выставляемых пользователем, значительно меньше количества предметов в системе. Решением данной проблемы может стать использование гибридного подхода, когда матрица оценок дополняется рекомендациями другой системы;

– излишняя специализация. Данная проблема более характерна для контент-ориентированных систем, и случается, когда вкусы пользователя «слишком хорошо известны». В этот момент рекомендации становятся однообразными и в них попадает все больше знакомых пользователю предметов. Такое поведение мешает человеку открывать для себя что-то новое, а похожие вещи он порой в состоянии найти сам. Результатом такой проблемы является потеря интереса к рекомендациям и необходимость самостоятельно разрешать эту проблему. Решением может стать использование коллаборативной фильтрации, где при определении соседей добавляем некоторую случайность либо можно попытаться внести случайность в предсказания контент-ориентированной системы.

Выбор архитектуры рекомендательной системы для разрабатываемого сервиса

Анализ существующих подходов к построению рекомендательных систем показал, что на данный момент не существует какого-то одного метода, которому необходимо следовать. Коллаборативная фильтрация полезна, когда в системе имеются средства для выставления оценок, и является простым средством, позволяющим быстро внедрить рекомендации в свой продукт. На данный момент существует множество программных реализаций коллаборативной фильтрации, достаточно простых для внедрения. Однако использование такой системы требует наличия большого количества оценок для более точной работы модели.

Контент-ориентированная система полезна, когда у существующих сущностей можно выделить ключевые атрибуты, позволяющие сравнивать их друг с другом. Внедрение подобных систем сложнее, однако позволяет решить проблему «холодного старта» и не зависеть от оценок.

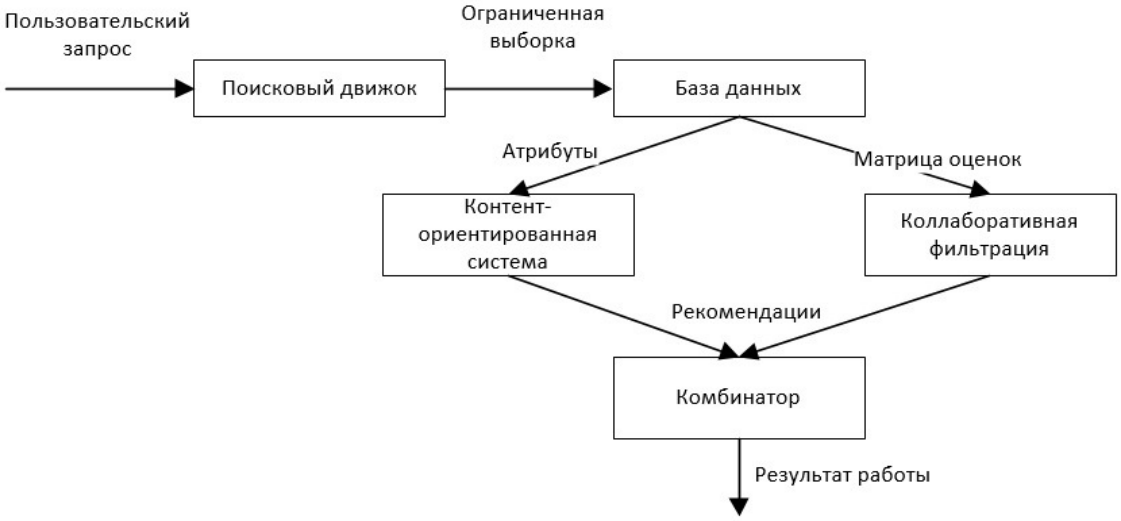
Гибридная система является на данный момент наиболее точным инструментом для определения рекомендаций. В зависимости от выбранного способа объединения можно получить результат, различный по качеству.

После выполнения анализа было принято решение, что для разрабатываемого сервиса подходящим вариантом может оказаться гибридная система, так

как в сервисе существует система отзывов с выставлением оценок пользователями, а профили пользователей и фитнес-клубов позволяют выделить ключевые атрибуты. Задачу определения атрибутов было решено решать через выявление значений атрибутов экспертами, а выставление атрибутов конкретным объектам делегировать самим пользователям.

Имеющаяся информация о географическом положении пользователей, их возрасте позволяет выполнять кластеризацию, что позволит упростить работу коллаборативной фильтрации.

Для определения подходящего варианта комбинирования систем еще потребуется выполнить тесты, но наиболее вероятными кандидатами на данный момент являются усиление признаков, взвешенная комбинация и смешивание. Дополнительным ограничивающим фактором в определении рекомендаций является поисковый движок, который позволит значительно уменьшить объем данных, обрабатываемый рекомендательной системой. Предполагаемый вариант архитектуры рекомендательной системы, использующей взвешенную комбинацию либо смешивание, представлен на рисунке. При использовании усиления признаков отдельные рекомендательные системы будут работать поочередно, сначала контент-ориентированная, а затем коллаборативная фильтрация с расширенной матрицей оценок.



Вариант архитектуры рекомендательной системы

Выводы. В ходе исследования были рассмотрены основные подходы к построению рекомендательных систем. Были рассмотрены существующие проблемы рекомендательных систем и их возможные решения.

После выполнения анализа возможных способов построения рекомендательных систем была выбрана гибридная архитектура для реализации системы рекомендаций в разрабатываемом сервисе. Проблемой при выборе гибридного варианта может оказаться невозможность применения одной из систем для их комбинации, однако в данном случае существует как система отзывов, позволяющая составить матрицу интересов, так и профили фитнес-клубов, что позволяет выделить их атрибуты. Также данный вариант является более предпочтительным, так как позволит уменьшить влияние таких проблем, как холодный старт и проблема излишней специализации, особо характерных для систем по отдельности.

Хотя гибридный вариант и был выбран как предпочтительный, в дальнейшем предстоит выполнить сравнение различных способов гибридизации для определения наиболее подходящего.

Библиографический список

1. Mohamed M. H., Khafagy M. H., Ibrahim M. H. Recommender Systems Challenges and Solutions Survey // IEEE. 2019. P. 149–155.

2. Yunkyoung L. Recommendadion system using collaborative filtering, 2015. 49 p.

3. Jain S., Grover A., Thakur P. S., Choudhary S. K. Trends, problems and solutions of recommender system // IEEE. 2015. P. 955–958.

4. Ma K. Content-based Recommender System for Movie Website. Stockholm, Sverige, 2016. 50 p.

5. Achakulvisut T., Acuna D. E., Ruangrong T., Kording K. Science Concierge: A fast content-based recommendation system for scientific publications // Plos One. 2016. P. 1–11.

6. Князева А. А., Колобов О. С., Турчановский И. Ю. Способы построения гибридной рекомендательной системы на основа данных о заказах библиотеки // Труды XVII Международной конференции DICR-2019, 2019. С. 96–101.

Результаты вычислительного эксперимента по применению матричного подхода в стохастических сетях Петри

Д. С. Звягин
преподаватель кафедры информационной безопасности Воронежский институт МВД России
E-mail: danil_exp@mail.ru

Аннотация. В данной статье подробно рассматривается пример применения матричного подхода в стохастической сети Петри с четырьмя позициями и переходами. В ходе подробных вычислительных действий определяется вектор запуска переходов, значения которого позволят определить, какие переходы должны сработать для достижимости рассматриваемой стохастической сети Петри. Для точности эксперимента проводятся десятки вычислений данного вектора, значения которого сводятся в таблицу. Описанный в данной статье пример использования матричного подхода позволяет проанализировать стохастическую сеть, не рассматривая нарисованный граф, и решить проблему достижимости посредством определения необходимых переходов. Применив данный метод анализа к рассматриваемой стохастической сети, предлагается в дальнейшем использование матричной теории сетей Петри и при рассмотрении процесса производства почерковедческой экспертизы.

Ключевые слова: стохастическая сеть Петри, матричный подход, достижимость.

Введение. Сеть Петри – математический объект, позволяющий структурировать динамический процесс в виде двудольного ориентированного графа, состоящий из позиций и переходов, соединенных между собой дугами. Стохастическая сеть Петри – это форма сетей Петри, при которой в позициях фишки располагаются с какой-то вероятностью [1–3].

В связи с тем что наличие фишек в позициях рассматривается в виде каких-то вероятностей, в сумме равной 1, то и выбор срабатывающих переходов носит вероятностный характер.

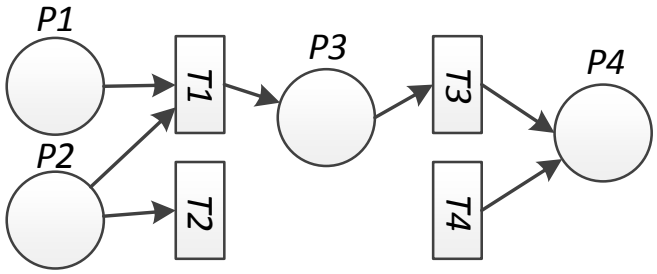
Значение вероятности нахождения фишки в выходной позиции вычисляется при помощи вектора диагональной свертки.

В ходе детального изучения процессов, рассмотренных при помощи языка сетей Петри, необходим анализ, который позволит решить ряд проблем, связанный с достижимостью, безопасностью, а также последовательностью срабатывания переходов. Дерево достижимости и матричный подход – основные методы анализа динамических процессов, смоделированных при помощи аппарата сетей Петри [4].

Постановка задачи. Имея начальную и конечную маркировки стохастической сети Петри, необходимо определить активные переходы. Иными слова-

ми, решить задачу достижимости стохастической сети Петри. В данном случае необходимо воспользоваться матричным подходом.

Решение. Рассмотрим стохастическую сеть Петри $M_s = \{C, \mu^s\}$, где C = {P, T, I, O}, $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$, $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ (см. рисунок).



Пример стохастической сети Петри

Начальная маркировка сети: $\mu^s = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,2 & 1 & 1 \\ 0,8 & 0,8 & 0 & 0 \end{pmatrix}$.

Конечная маркировка сети определяется путем вычисления вектора диагональной свертки матрицы Грама:

Переход t_1 разрешен, так как $\mu_1^s(p_1) \wedge \mu_1^s(p_2) > 0$.

После срабатывания данного перехода получаем следующую маркировку входных позиций:

$$\bar{\mu}^s(p_1) = \sum_{\alpha=0}^{1} \mu_\alpha^s(p_1) = 1,$$

$$\bar{\mu}^s(p_2) = \sum_{\alpha=0}^{1} \mu_\alpha^s(p_2) = 1.$$

Маркировка выходной позиции $\bar{\mu}^s(p_3)$ перехода t_1 равна вектору диагональной свертки вектора $\bar{\mu}^s(p_3)$ и вектора

$$r^T = \| r_0 \quad r_1 \quad \dots \quad r_k \|,$$

где

$$k = \#(p_3, O(t_1)) = 1;$$

$$r_k = r_1 = \left[\sum_{\alpha=1}^{1} \mu_\alpha^s(p_1)\right] \times \left[\sum_{\alpha=1}^{1} \mu_\alpha^s(p_2)\right] = 0,8 \times 0,8 = 0,64;$$

$$r_0 = 1 - r_k = 1 - 0{,}64 = 0{,}36.$$

Окончательно: $r^T = \left\|{0{,}36 \atop 0{,}64}\right\|$. Определим матрицу Грама векторов $\mu^s(p_3)$ и r.

$$G(\mu^s(p_3), r) = 1 \times \left\|{0{,}36 \atop 0{,}64}\right\| = \left\|{0{,}36 \atop 0{,}64}\right\|.$$

Вектор диагональной свертки $di\big(G(\mu^s(P_4), r)\big)$ в данном случае будет соответствовать матрице Грама, описанной выше.

Таким образом, маркировка позиции p_3 после срабатывания перехода t_1:

$$\bar{\mu}^s(p_3) = di\big(G(\mu^s(p_3), r)\big) = \left\|{0{,}36 \atop 0{,}64}\right\|.$$

Рассматривая далее, получаем, что переход t_3 разрешен, и после его срабатывания имеем: $\bar{\mu}^s(p_3) = 1$, $\bar{\mu}^s(p_4) = \left\|{0{,}36 \atop 0{,}64}\right\|$.

В итоге конечная маркировка сети выглядит в виде: $\mu^{s*} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}36 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}64 \end{pmatrix}$.

Имея следующее матричное уравнения для матрицы запуска переходов x:

$$\mu^{s*} = \mu^s + x \times D,$$

где μ^{s*} – конченая маркировка сети, μ^s – начальная маркировка сети, x – вектор запуска переходов, D – составная матрица изменения, равная:

$$D = D^+ - D^-,$$

где D^+ – матрица выходных функций, D^- – матрица входных функций,

можно определить вектор запуска переходов:

$$x = (\mu^{s*} - \mu^s) \times D^{-1},$$

где D^{-1} – обратная составная матрица изменения.

Рассматривая пример, описанный выше, получаем:

$$D^- = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, D^+ = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$D = D^{+} - D^{-} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{откуда } D^{-1} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$x = (\mu^{s*} - \mu^{s}) \times D^{-1} = \begin{pmatrix} -0{,}8 & 0 & -0{,}8 & 0{,}16 \\ 0{,}8 & 0 & 0{,}8 & -0{,}16 \end{pmatrix}.$$

Получаем вектор запуска переходов в виде матрицы, состоящей из двух строк и четырех столбцов. Столбцы в данной матрице – это переходы слева направо, соответствующие t_1, t_2, t_3, t_4.

Рассматривая вектор $\mathbf{x}$, необходимо определить максимальные значения второй строки данной матрицы. Столбцы, соответствующие данным значениям, будут являться активными переходами, необходимыми для решения достижимости рассматриваемой стохастической сети Петри. В данном случае максимальным значением является 0,8, соответствующее переходам t_1 и t_3.

Для достоверности вышеописанного вычисляем дополнительно десять иных значений вектора запуска переходов с различными входными данными сети (см. таблицу).

Значения вектора запуска переходов исходя из определенных начальных маркировок сети

№	μ^{s}	μ^{s*}	x
1	$\begin{pmatrix} 0{,}3 & 0{,}2 & 1 & 1 \\ 0{,}7 & 0{,}8 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}44 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}56 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}7 & -0{,}1 & -0{,}7 & 0{,}14 \\ 0{,}7 & 0{,}1 & 0{,}7 & -0{,}14 \end{pmatrix}$
2	$\begin{pmatrix} 0{,}3 & 0{,}3 & 1 & 1 \\ 0{,}7 & 0{,}7 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}51 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}49 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}7 & 0 & -0{,}7 & 0{,}21 \\ 0{,}7 & 0 & 0{,}7 & -0{,}21 \end{pmatrix}$
3	$\begin{pmatrix} 0{,}1 & 0{,}1 & 1 & 1 \\ 0{,}9 & 0{,}9 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}19 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}81 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}9 & 0 & -0{,}9 & 0{,}09 \\ 0{,}9 & 0 & 0{,}9 & -0{,}09 \end{pmatrix}$
4	$\begin{pmatrix} 0{,}4 & 0{,}4 & 1 & 1 \\ 0{,}6 & 0{,}6 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}64 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}36 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}6 & 0 & -0{,}6 & 0{,}24 \\ 0{,}6 & 0 & 0{,}6 & -0{,}24 \end{pmatrix}$
5	$\begin{pmatrix} 0{,}1 & 0{,}2 & 1 & 1 \\ 0{,}9 & 0{,}8 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}28 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}72 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}9 & 0{,}1 & -0{,}9 & 0{,}18 \\ 0{,}9 & -0{,}1 & 0{,}9 & -0{,}18 \end{pmatrix}$
6	$\begin{pmatrix} 0{,}3 & 0{,}1 & 1 & 1 \\ 0{,}7 & 0{,}9 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}37 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}63 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}7 & -0{,}2 & -0{,}7 & 0{,}07 \\ 0{,}7 & 0{,}2 & 0{,}7 & -0{,}07 \end{pmatrix}$
7	$\begin{pmatrix} 0{,}4 & 0{,}1 & 1 & 1 \\ 0{,}6 & 0{,}9 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}46 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}54 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}6 & -0{,}3 & -0{,}6 & 0{,}06 \\ 0{,}6 & 0{,}3 & 0{,}6 & -0{,}06 \end{pmatrix}$
8	$\begin{pmatrix} 0{,}2 & 0{,}4 & 1 & 1 \\ 0{,}8 & 0{,}6 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}52 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}48 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}8 & 0{,}2 & -0{,}8 & 0{,}32 \\ 0{,}8 & -0{,}2 & 0{,}8 & -0{,}32 \end{pmatrix}$
9	$\begin{pmatrix} 0{,}3 & 0{,}4 & 1 & 1 \\ 0{,}7 & 0{,}6 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}58 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}42 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}7 & 0{,}1 & -0{,}7 & 0{,}28 \\ 0{,}7 & -0{,}1 & 0{,}7 & -0{,}28 \end{pmatrix}$
10	$\begin{pmatrix} 0{,}15 & 0{,}35 & 1 & 1 \\ 0{,}85 & 0{,}65 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0{,}4475 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}5525 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0{,}85 & 0{,}2 & -0{,}85 & 0{,}297 \\ 0{,}85 & -0{,}2 & 0{,}85 & -0{,}297 \end{pmatrix}$

Выводы. Полученные результаты исследования показывают, что матричный метод анализа применим не только к сетям Петри, но и к стохастическим сетям, имеющим равное количество переходов и позиций. В дальнейшем необходимо рассмотреть применение матричного подхода для стохастических сетей Петри с большим количеством позиций, а также при наличии альтернативных путей.

Библиографический список

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М. : Мир, 1984. 264 с.

2. Лескин А. А., Мальцев П. А., Спиридонов А. М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л. : Наука, 1989. 133 с.

3. Звягин Д. С. Моделирование процесса производства судебной почерковедческой экспертизы с использованием стохастических сетей Петри // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 2. С. 154–163.

4. Звягин Д. С. Алгоритм построения дерева достижимости для стохастических сетей Петри // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16. № 2. С. 34–41.

5. Пьянков О. В., Звягин Д. С. Моделирование процесса производства судебной почерковедческой экспертизы при помощи сетей Петри // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 1. С. 57–64.

Разработка экспериментального стенда для наблюдения воздействия электростатического поля на поверхность горения полимера в высокоэнтальпийном потоке

В. В. Каргапольцев
аспирант группы ФЗа-3301-01-00,
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: stud109522@vyatsu.ru

Аннотация. В работе затронута проблема недостатка экспериментальных данных в вопросе влияния наложения электростатического поля на зону горения плавящегося полимера ввиду несовершенства конструктива существующих установок. Актуальность данной работы обоснована необходимостью разработки новых методов управления горением с целью достижения энергоэффективности тепловых энергоустановок, имеющих широкое применение во всех сферах жизни человека. Установлены основные явления, происходящие на поверхности горения полимеров в высокоэнтальпийном потоке при наложении электростатического поля. Разработана общая схема экспериментальной установки, определен метод изучения. Разработана конструкция, представлены эскизы, произведен подбор конструктивных материалов, и проведена разработка экспериментальной установки, позволяющей производить наблюдение и фотовидеосьемку поверхности горения полимера в высокоэнтальпийном потоке с возможностью создавать в зоне горения однородного электростатическое поле.

Ключевые слова: горение, электростатическое поле, высокоэнтальпийный поток.

Введение. Современный мир невозможно представить без механизмов и оборудования, которые позволяют производить, преобразовывать, накапливать или передавать энергию. Всё это оборудование, согласно ГОСТ 19431-84, можно объединить в категорию «энергетические установки».

Одним из самых значительных классов энергетических установок остается класс тепловых энергоустановок, в которых основной процесс энерговыделения – это горение топлива.

Примерами таких установок являются двигатели внутреннего и внешнего сгорания, газо- и паротурбинные установки, а также различные тепловые, котельные установки.

Разработка новых технологий и поиск новых методов в управлении горением, при условиях современной эксплуатации энергетических установок, важнейшей характеристикой которых является энергоэффективность, остаются чрезвычайно важными задачами. Зачастую горение в энергетических установках протекает в условиях высокоэнтальпийных потоков. Установим, что такое горение.

Горение – это сложная химическая реакция окисления, основой которой является выделение тепла и активных химических частиц, а также образование

обратной связи, физические аспекты которой (процессы переноса, такие как диффузия, теплопроводность, конвекция и излучение) являются основанием для распространения в пространстве [1].

Для исследований наиболее компактной и простой установкой является гибридный ракетный двигатель.

Процесс горения, протекающий в установке: окислитель течет по каналу топливного картриджа, в свою очередь, газообразный компонент топлива образуется при газификации слоя твердого топлива топливного картриджа. Реакция в газовой фазе требует газификацию и диффузию топлива в зону пламени. Тепло, которое выделяется при сгорании, обеспечивает газификацию топлива. Зона горения наглядно изображена на рис. 1.

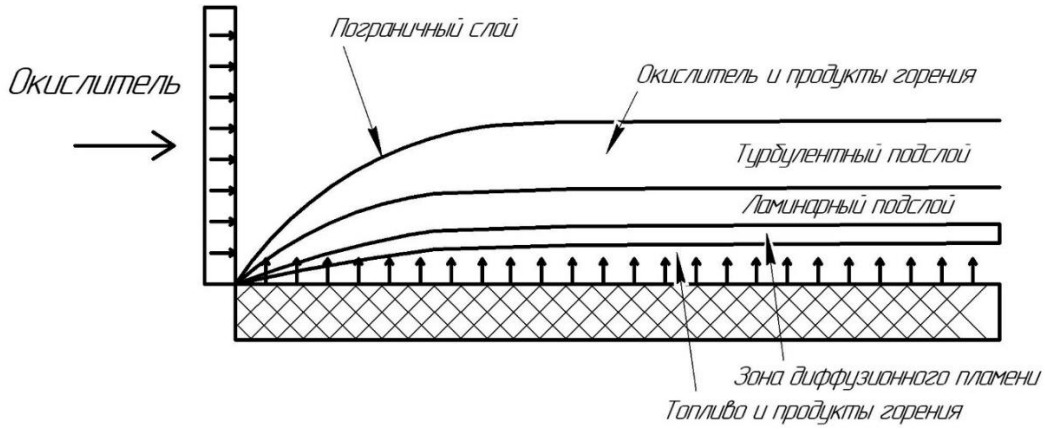


Рис. 1. Наглядное изображение зоны горения в установке

Методы исследования. С целью повышения энергоэффективности при протекании реакции горения в энергетической установке применяются различные способы управления реакцией горения. Одним из таких способов является наложение электростатического поля на горение в энергетических установках [2].

Электростатический метод является наиболее рациональным для использования, исходя из минимальных затрат на поддержание созданного поля и универсальности применяемого оборудования. Эффекты, возникающие при наложении поля на реакцию горения полимера в энергоустановке, показаны на рис. 2.

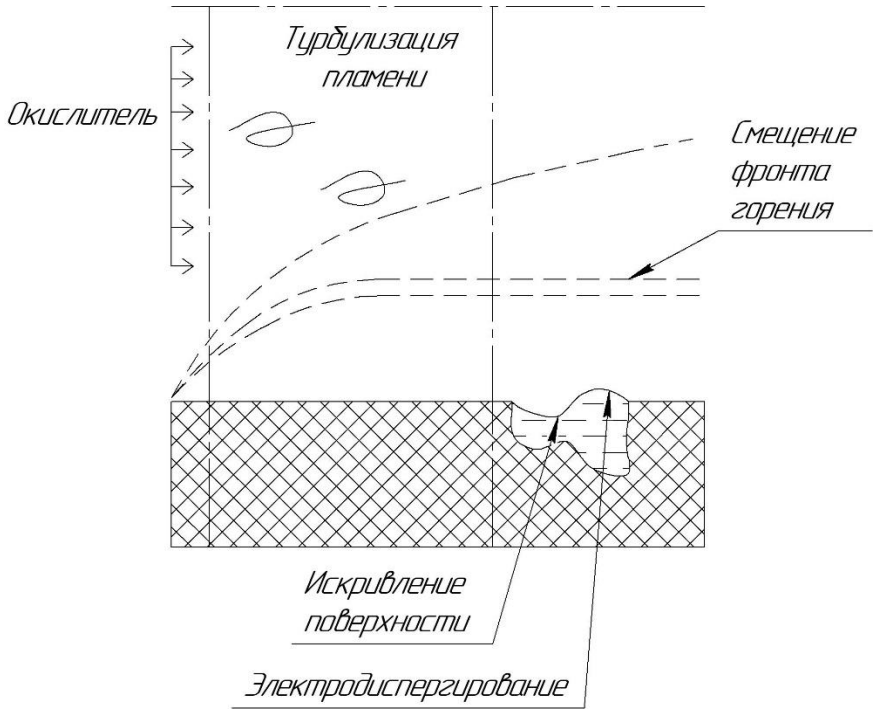


Рис. 2. Эффекты, возникающие при наложении поля

В работе [2] рассмотрен механизм влияния электростатического поля на реакцию горения ПММА в энергоустановке, зафиксированы искривления поверхности и явление электродиспергирования.

Для плавящихся полимеров под воздействием электростатического поля также происходит искривление поверхности топлива, электродиспергирование и увеличение энергии активации реакции горения, значительно повышающие скорость горения. Подтверждение данного факта может значительно влиять на объяснение процессов, происходящих во время реакции горения, однако поверхность топливного блока изучалась только после останова установки, так как исследовать поверхность топливного блока во время работы двигателя не позволяет существующий конструктив самой установки.

Результаты исследований. Для наблюдения за поверхностью горения необходимо разработать конструкцию, комплект документации, осуществить сборку установки, которая позволит фиксировать изменения поверхности в сам момент работы, и провести серию испытаний для выявления влияния искривления поверхности под действием электростатического поля на скорость горения.

Общая схема установки, которая будет реализована, представлена на рис. 3.

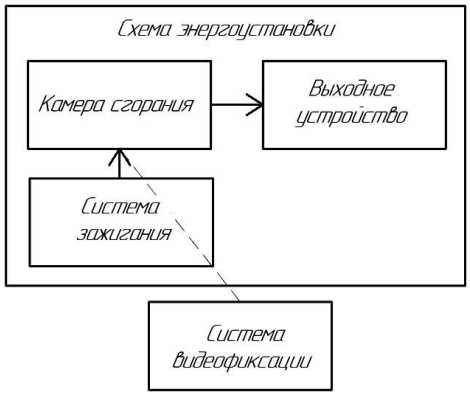


Рис. 3. Общая схема установки

Она состоит:

– из системы подачи окислителя (с встроенной системой зажигания), камеры сгорания, выходного устройства;

– системы видеофиксации.

Электрополевая система и система подачи газообразной компоненты уже имеются и также описаны в работе [2].

При разработке конструкции установки необходимо учесть, что для проведения исследования необходима конструкция с плоской поверхностью шашки ввиду применения однородного электростатического поля. Визуальный метод изучения поверхности горения обусловливает необходимость наличия в установке герметичного смотрового окна.

Исходя из всех требований, описанных выше, была разработана конструкция установки, представленная на рис. 4–6.

Разработанная установка состоит из стенки двигателя (1) со смотровым окном (2), второй боковой стенки (3), а также верхней и нижней стенок (4), соединенных с боковыми стенками, сопла (5) и оголовка камеры сгорания (6).

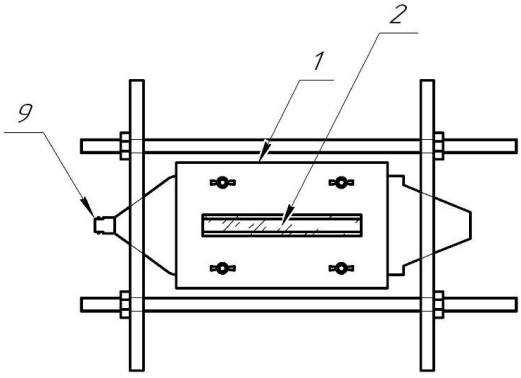


Рис. 4. Конструкция установки, вид сбоку

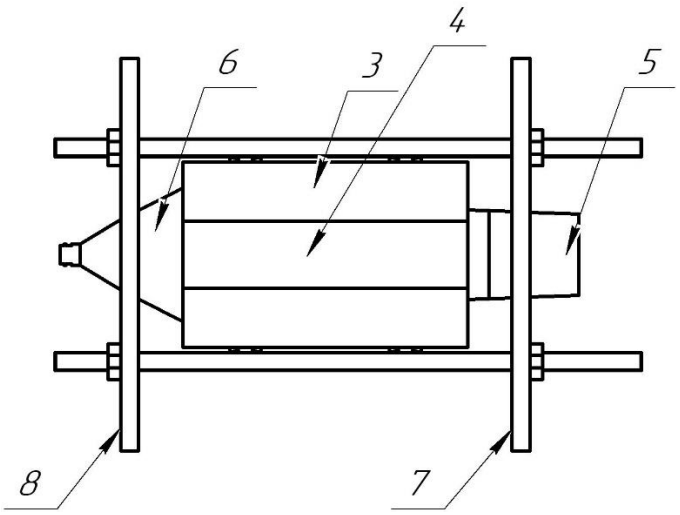


Рис. 5. Конструкция установки, вид сверху

Стенки двигателя 1, 3, 4 соединены с соплом и оголовком посредством зажимания их между пластинами из текстолита (7 и 8) соединением шпилька-гайка. В оголовок установки на стадии изготовления установлен штуцер (9) под шланг имеющейся системы подачи окислителя. Также в оголовок установлены металлическая сетка (11) с размером ячейки 0,5 мм для выравнивания потока окислителя и каналы (12) для установки системы зажигания установки. В каналах проложена медная проволока сечением 1,5 мм, на которую, в свою очередь, устанавливается нихромовая спираль (13), обеспечивающая зажигание во время пуска установки.

Ввиду того что верхняя и нижняя стенки являются также электродами, предназначенными для создания однородного, электростатического поля, и существует необходимость изоляции их друг от друга, боковые стенки установки должны быть выполнены из диэлектрика. Стенки двигателя должны сохранять свои свойства при работе в условиях повышенных температур и агрессивной среды; исходя из этих требований, боковые стенки выполнены из шамотной глины, а сами электроды выполнены из стали 12Х18Н10Т толщиной 8 миллиметров. Сопло и система подачи окислителя установки выполнены из огнеупорной мастики методом формования с последующим обжигом в печи.

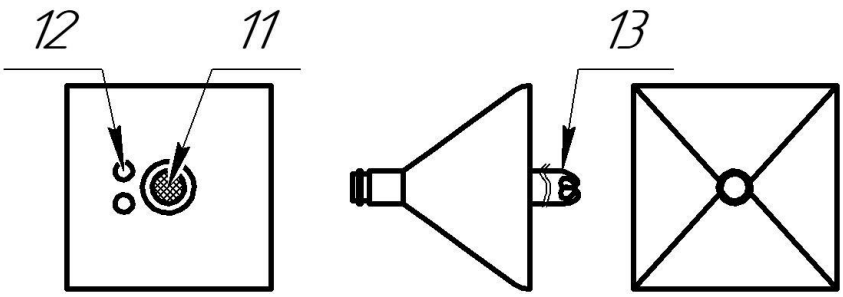


Рис. 6. Система подачи окислителя установки

Выводы. В работе представлена конструкция установки, позволяющей производить визуальное наблюдение за поверхностью горения полимера, выбраны материалы, изготовлены соответствующие узлы установки, произведена её сборка и опрессовка.

Библиографический список

1. Теория горения : учеб. пособие / И. И. Шарипов. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. 99 с

2. Будин А. Г. Интенсификация горения полимерного блока гибридного ракетного двигателя электростатическим полем : дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05: защищена 21.02.2018. Киров., 2017. 168 с.

3. Патент РФ № RU 2 241 693 C1, 10.12.2004. Твердое ракетное топливо // Патент России № RU 2 241 693 C1. 2004 / А. С. Ермилов, Л. Л. Хименко, В. С. Сухинин [и др.].

4. Ракетные двигатели на комбинированном топливе / Е. Б. Волков, Г. Ю. Мазинг, Ю. Н. Шишкин. М. : Машиностроение, 1973. 184 с.

5. Отчет по научно-исследовательской работе по теме: «Управление процессом горения в гибридном ракетном двигателе при помощи электростатического поля» / С. М. Решетников, Л. Т. Гребенщиков, И. А. Зырянов, А. П. Позолотин и др. Киров, 2013.

6. Электрические свойства полимеров / Э. Р. Блайт, Д. Блур. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. 376 с.

Повышение сортности березовой фанеры за счет обработки лицевых слоев специальными составами

Е. В. Клековкина [a], О. А. Рублева [b]
студентка группы ТДм-2801-01-00 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры машины и технологии деревообработки [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud114351@vyatsu.ru [a], olga_ru@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Рассмотрены основные дефекты березового шпона, которые понижают сортность лицевых слоев фанеры. Определено, что 20 % дефектов не имеют структурных повреждений древесины, а являются дефектом по причине изменения цвета древесины. Приведены результаты работы по отбеливанию лицевых слоев фанеры с дефектами цвета без повреждения структуры древесины пятью растворами для отбеливания. Приведено сравнение отбеливателей в разрезе дефектов цвета. Два из анализируемых растворов отбеливают четыре из пяти дефектов цвета: раствор на основе перекиси водорода и аммиака при однократном нанесении на поверхность, раствор на основе каустической соды и перекиси водорода при двукратном нанесении. Приведены результаты исследования физико-механических свойств отбеленной фанеры в сравнении с фанерой, которая не отбеливалась.

Ключевые слова: березовая фанера, обработка лицевых слоев, повышение сортности, отбеливание фанеры.

Введение. Березовая фанера является перспективным экспортным продуктом с высокой добавленной стоимостью. Начиная с 1997 г. это направление отечественной деревообработки демонстрирует устойчивый рост [1]. Одна из основных экономических задач фанерного предприятия – максимизация прибыли.

Особенностью технологического процесса изготовления фанеры является то, что в одном производственном процессе из одного и того же сырья изготавливается большой ассортимент сортов шпона и готовой продукции. При этом следует отметить, что соотношение сортов шпона, изготавливаемого из одного сорта сырья, практически не изменяется [2]. Наиболее маржинальна фанера с лицевыми слоями сорта E, B, S, однако в объеме шпона лицевых слоев доля данного шпона составляет от 8 до 12 % [3]. Кроме того, наблюдается тенденция увеличения спроса на высокосортную фанеру с лицевыми слоями сорта E, B, S.

Соответственно, перспективным направлением исследования является увеличение доли лицевых слоев в сорте E, B, S за счет «низких» сортов шпона без увеличения совокупного объема шпона.

Методы исследования. Объект исследования – сухой березовый шпон лицевых слоев и березовая фанера. Исследования проводились в течение 2020 г. на фанерном комбинате.

В работе использованы как эмпирические методы исследования: наблюдение, сравнение, эксперимент, так и математические – статистические (статистическое распределение, сводка и группировка данных, расчет обобщающих показателей).

Для исследования использован сухой березовый шпон лицевых слоев сорта 1. Лицевые слои сорта 1 составляют 15–20 % от получаемого объема сухого шпона. Сухой шпон проходит автоматическую сортировку с помощью системы машинного зрения, где сортируется в стопы в зависимости от заданного рецепта. Шпон сорта 1 – это потенциальный сорт E, B, S. Так как система машинного зрения имеет погрешность в определении дефектов шпона на уровне 5–15 %, то сорт 1 после автоматической сортировки сортируется повторно вручную. На этапе ручной сортировки шпон сорта 1 сортировался на следующие сорта: E, B, S, BB, CP, дочинка (шпон, который подлежит починке), внутренние слои. Каждая седьмая стопа шпона сорта 1 проанализирована, на каждом листе шпона из выбранных стоп выявлен дефект, который послужил причиной снижения сорта шпона. Данные представлены в табл. 1.

Дефекты цвета занимают 23 % в объеме дефектов, которые понижают сортность шпона. При устранении дефектов цвета увеличится доля шпона «высоких» сортов: E, B, S.

В зависимости от сезона количество дефектов цвета на шпоне увеличивается, что объясняется погодными условиями и циклом жизнедеятельности деревьев. Например, в период с мая по октябрь возрастает процент поражения грибком, выраженного побурением.

Таблица 1

Результаты сортировки сухого шпона

Категория дефекта	Наименование дефекта шпона	E	B	S	BB	Дочинить	Внутренние слои	Итого	Итого
		шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	%
Соответствует сорту		250	9088	61	67			9466	5 %
Дефекты цвета	Побурение		1026	9620	4475	1131	5	16257	9 %
	Ложное ядро		5	18	9174	1251	703	11151	6 %
	След от лущения		39	870	1365	594	9	2877	2 %
	Подгорелый шпон			1	249	2156		2406	1 %
	Пятна производственного характера			2510	4465	670		7645	4 %
	Синева		12	13	1250	15		1290	1 %
Дефекты с повреждением структуры древесины	Продубина		41	2962	3200	508		6711	4 %
	Прожилки	28	175	3698	4284	366		8551	5 %
	Гниль	3	133	2704	4214	1391		8445	5 %
	Сучки	3936	3810	7036	8698	24452	2818	50750	29 %
	Прорость		87	202	4516	7789	1002	13596	8 %
	Закорина				17	426	3350	3793	2 %
	Карман				75	401	901	1377	1 %
	Трещина		23	318	2197	8407	1764	12709	7 %
	Вырыв волокон			74	2941	688	75	3778	2 %
	Гребешок				325	1146	186	1657	1 %
	Царапина		8	179	603	49	9	848	0 %
	Накол				6	5966	95	6067	4 %
	Механические повреждения			3	8	937	1934	2882	2 %
Итого	–	4217	14447	30269	52129	58343	12851	172256	100 %

Известны способы отбеливания древесины. Цель работы – исследование влияния отбеливающих составов на физико-механические свойства березовой фанеры и анализ эффективности отбеливания.

Результаты исследований, их обсуждение. Для отбеливания фанеры использовались составы, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Перечень составов для отбеливания

№	Наименование/состав состава	Концентрация, %
1	Раствор щавелевой кислоты	10, 40
2	Раствор лимонной кислоты	10, 40
3	Перекись водорода Раствор аммиака	30 10
4	Отбеливатель для древесины Wood Bleacher (на основе каустической соды и перекиси водорода	100
5	Отбеливатель NEOMID	50, 100

Приготовление растворов проводилось непосредственно перед нанесением. Для равномерного нанесения растворов на поверхность фанеры использовался валик. Раствор наносился на одну половину листа, вторая половина использовалась для сравнения. Использовалось два способа нанесения раствора: однократно и двукратно. Результаты работы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты работы по отбеливанию березовой фанеры

Дефект древесины	Вид отбеливателя /табл. 2/									
	1		2		3		4		5	
	Количество нанесений раствора на поверхность фанеры, раз.									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Побурение	0	0	0	0	10	10	6	10	0	0
Ложное ядро	0	0	0	0	7	9	3	5	0	0
След от лущения	3	3	0	0	10	10	6	10	0	0
Подгорелый шпон	1	1	0	0	10	10	10	10	2	3
Пятна производственного характера	0	0	0	0	10	10	6	10	5	7
Синева	0	0	0	0	10	10	10	10	7	8
Итого	4	4	0	0	57	59	41	55	14	18

После нанесения раствора фанера складывалась в пачки и выстаивалась 24 часа при комнатной температуре. Далее проводилась сортировка фанеры и оценка качества отбеливания по десятибалльной шкале, где 0 – дефект остался в неизменном виде, стал более ярким, 10 – дефект отсутствует, цвет поверхности однородный.

Наиболее эффективными отбеливающими свойствами обладают растворы № 3 и 4. Дефекты цвета: побурение, след от лущения, подгорелый шпон, пятна производственного характера, синева полностью отбеливаются, поверхность фанеры имеет однородный цвет. Раствор № 3 при однократном нанесении на поверхность фанеры, раствор № 4 при двукратном нанесении. Ложное ядро отбеливается только раствором № 3 при двукратном нанесении в том случае, если отсутствует гниль.

Через 48 часов произведена проверка физико-механических свойств отбеленной фанеры. В табл. 4 представлены результаты испытаний, для сравнения представлены физико-механические свойства фанеры, которая не подвергалась отбеливанию (№ 1).

Таблица 4

Испытание физико-механических свойств фанеры

№	Данные по фанере			Предел прочности на изгиб		Модуль упругости		Плотность	Влажность	Предел прочности[1]
	Формат	Толщина	Фактическая толщина	Вдоль волокон	Поперек волокон	Вдоль волокон	Поперек волокон			
	мм	мм	мм	МПа	МПа	МПа	МПа	кг/м^3	%	МПа
ГОСТ 3916.1-2018, ТУ				25	38,9	7000	3894		5–10	1
1	2440×1220	6	6,10	130,0	67,1	13700	5250	709,6	5,4	2,9
2	2440×1220	6	6,10	122,0	79,0	12600	5980	688,1	5,9	2,0
3	2440×1220	6	6,20	109,0	67,6	10800	4980	699,7	5,8	3,0
4	2440×1220	6	6,20	107,0	64,5	15000	4980	668,7	5,9	3,1
5	2440×1220	6	6,10	110,0	65,2	13400	5200	656,3	6,1	2,9

Измеренные физико-механические свойства входят в предел допустимых значений, наблюдается незначительное (до 1 %) повышение влажности, но данный параметр остается в пределах допуска.

Выводы. Отбеливание лицевых слоев фанеры не ухудшает физико-механические свойства фанеры, незначительно увеличивает влажность фанеры в допустимых значениях. Метод может применяться на фанерных предприятиях для увеличения объема фанеры «высоких» сортов (E, B, S). Метод прост в применении и не требует закупки дорогостоящего оборудования.

Библиографический список

1. Кадирова Т. С. Основные тенденции развития российского фанерного производства // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы X Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник» / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Урал. отд-ние секции наук о лесе Рос. Акад. естеств. наук, Урал. лесной технопарк ; ред. С. В. Залесов [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. Ч. 1. С. 342–344.

2. Ковалев В. А. Совершенствование методов распределения затрат на сырье при калькуляции себестоимости фанерной продукции // Новое в производстве фанеры и фанерной продукции : сб. тр. ЦНИИФ. М., 1985. С. 105–115.

3. Справочник по производству фанеры / А. А. Веселов, Л. Г. Галюк, Ю. Г. Доронин и др. ; под ред. канд. техн. наук Н. В. Качалина. М. : Лесная промышленность, 1984. 432 с.

4. Бирюкова М. В. Анализ факторов, определяющих построение оптимизационной модели прибыли для фанерных производств // Лесной вестник. 2003. № 1. С. 136–139.

5. ГОСТ 3916.1-2018 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия (с поправкой) : принят 30.05.2018; действ. с 01.04.2018. М., 2018. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперат».

[1] Предел прочности при скалывании по клеевому слою.

6. ГОСТ 9622-2016 Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении : принят 19.12.2016; действ. с 01.04.2018. М., 2018. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперат».

7. Пат. 2156691. РФ, МПК B27K 5/02. Способ отбеливания древесины : № 99102255/04 : заявл. 05.02.1999 : опубл. 27.09.2000 / В. В. Денискин, С. И. Максимов, В. А. Маслов, А. А. Рахманов, Э. И. Хофбауэр; общество с ограниченной ответственностью «НПФ Диэлектрик». 5 с.

Вибрационная болезнь как профессиональное заболевание работников машиностроительной отрасли

А. Ю. Курбатова [a], Д. А. Кузнецова [b], И. А. Соловьева [c]
студентка группы ТБм-2801-01-00 [a]
студентка группы ТБм-1801-01-00 [b]
старший преподаватель кафедры промышленной безопасности и инженерных систем [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: stud114368@vyatsu.ru [a], da_kuznetsova@vyatsu.ru [b], usr19830@vyatsu.ru [c]

Аннотация. В настоящее время все больше внимания уделяется безопасности производства и улучшению условия труда рабочих. Несмотря на это большинство людей, занятых на обрабатывающих отраслях, работают во вредных условиях. Для машиностроения характерны рост мощности машин, высокая точность, надежность, экономическая выгода и безопасность. При стремительном развитии машиностроительной отрасли с увеличением скорости рабочих узлов машин и при повсеместном внедрении в технологический процесс производства колебательных процессов усиливается и интенсивность вредных и опасных производственных факторов (шум, вибрация, АПФД) как по отдельности, так и при их комплексном влиянии. Все это приводит к развитию различных патологий у рабочих, занятых на производстве. При этом неблагоприятная экологическая ситуация и повседневный стресс затрудняют выявление профессиональных патологий.

Ключевые слова: машиностроение, условия труда, вибрация, производственный фактор, вибрационная болезнь.

Машиностроение – одна из ведущих отраслей Российской Федерации, она также является фундаментом экономики и стимулом для развития других отраслей как у нас, так и в других странах мира [2, 7, 18, 19]. Несмотря на серьезный спад производства в 90-х годах, уже с начала 2000-х начался процесс восстановления и рост производства российской промышленности [18].

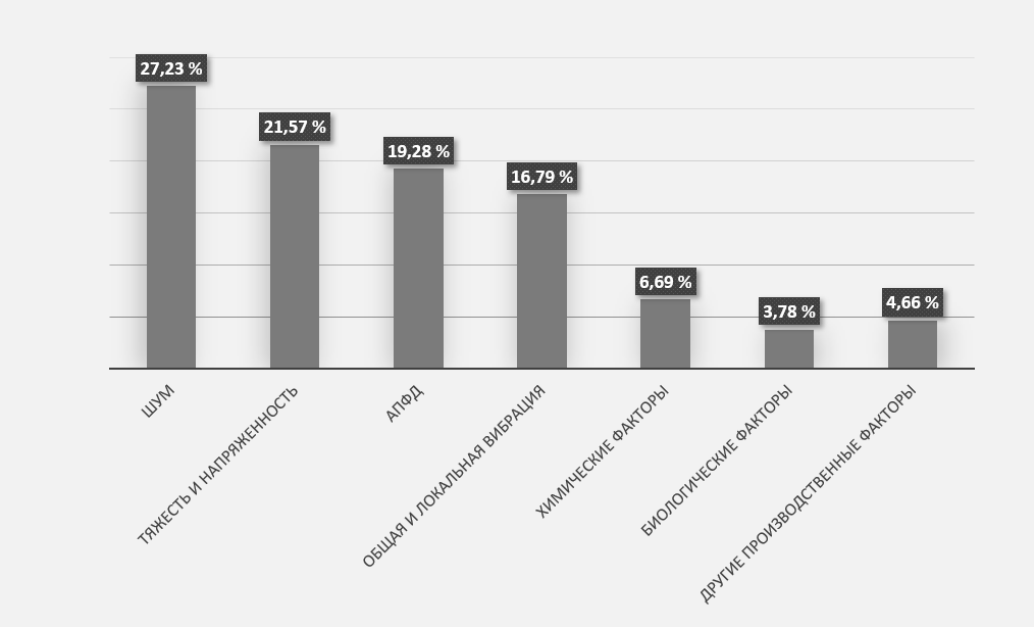
Согласно Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД) [14], к отраслям машиностроения относятся: производство машин и оборудования, производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования и производство транспортных средств и оборудования, что говорит о масштабности данной отрасли [2, 7, 18, 19].

Несмотря на попытки усовершенствовать промышленность, сделать ее более наукоемкой и безопасной как для окружающей среды, так и для человека [2, 19], отрасли машиностроения до сих пор остаются одними из самых неблагоприятных с точки зрения условий труда [6, 7, 11, 18].

Помимо высокого числа несчастных случаев [18], на работников машиностроения действует большое число вредных и опасных производственных факторов [6, 7, 11].

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) [8], к вредным производственным факторам относят факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания, а к опасным производственным факторам относят факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной [8].

По данным ФЦГиЭ Роспотребнадзора [20] (см. рисунок) на декабрь 2020 года, на первом месте среди производственных факторов, вызывающих профессиональные заболевания, стоят физические факторы, которые в сумме составляют более 80 %.



Распределение основных вредных производственных факторов,
оказывающих влияние на формирование профессиональной заболеваемости работников
(обобщенные данные)

Исследования Н. Н. Василенко, Д. А. Гринева, А. И. Бокарева [6] показали, что на работников машиностроительного предприятия действуют химический фактор (превышение ПДК различных веществ), производственный шум, общая и локальная вибрация, которые способствуют развитию у рабочих ряда профессиональных заболеваний [6].

Вибрация негативно влияет на организм человека, оказывает сложное биологическое действие и вызывает отклонения в здоровье, работоспособности и физиологическом состоянии [3, 5, 7, 15]. Изменения в организме происходят как на молекулярном, так и на клеточном уровнях [3]. В конечном итоге все это приводит к развитию профессиональных патологий (согласно перечню профессиональных заболеваний, заболевания и их последствий, связанных с воздействием производственных физических факторов) – вибрационной болезни [16].

Вибрационная болезнь (ВБ) — профессиональное заболевание, развивающееся после длительного воздействия вибрации (в течение 5–7 лет), с преимущественным поражением нервной системы и опорно-двигательного аппарата у рабочих [10, 11, 13, 17]. Основными симптомами вибрационной болезни являются вегетативно-сенсорная полиневропатия, расстройства температурной, вибрационной и болевой чувствительности, сочетающиеся с радикулопатией на шейном уровне и ангиодистоническим синдромом [1, 12, 13].

Выявление вибрационной болезни затруднено отсутствием специфических симптомов на ранних стадиях, а также тем, что диагностика строится на субъективном восприятии самого больного [12].

Помимо этого отрицательным свойством вибрации можно считать и ее способность к сочетанному действию с другими физическими производственными факторами [3, 9]. Так, ряд исследований показал, что вибрация при низких температурах усиливает реакцию организма на холод [9], а действие вибрации при повышенной тяжести труда и присутствии в воздухе аэрозолей (АПФД) способствует возрастанию легочной вентиляции и усилению нагрузки на кардиореспираторную систему [9]. Также широко известно о сочетанном действии шума и вибрации [7, 9]. Совместное действие этих факторов увеличивает вибрационную чувствительность, повышает потоотделение, отягощает течение заболеваний нервной и сердечно-сосудистых систем [3, 4].

Все это говорит о том, что прогнозирование риска развития вибрационной болезни является актуальным, так как затрагивает закономерности формирования и развития патологии и непосредственно связано с возможностью предотвращения развития заболевания [3, 12, 13].

Таким образом, несмотря на меры по снижению уровня вредных и опасных производственных факторов, работники машиностроительной отрасли продолжают работать во вредных условиях труда (класс 3.1 и 3.2) [7]. Это свидетельствует о том, что еще есть нерешенные моменты в вопросах оптимизации работы и средств защиты от воздействия производственных факторов.

Библиографический список

1. Nilsson T., Wahlström J., Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases-A systematic review and meta-analysis // PLoS One. 2017. 13. 12(7): e0180795. DOI: 10.1371.

2. Абрашкин М. С. Инновационное развитие как фактор экономического роста // Вестник АГТУ. Серия: Экономика. 2018. № 4. С. 107–115.

3. Аполлонский С. М. Особенности сочетанного воздействия на техносферу физических факторов волновой природы на электрифицированном железнодорожном транспорте // Транспортные системы и технологии. 2017. Т. 3. № 1. С. 69–90.

4. Афанасьева Р. Ф. Сочетанное действие факторов производственной и окружающей среды на организм человека (аналитический обзор) // Бюллетень научного совета «Медико-биологические проблемы работающих». 2005. № 2. С. 58–70.

5. Борисов С. В. Влияние широкополосной вибрации на водителей транспортных средств // Наука и социум : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 ч. Новосибирск, 2019. С. 147–149.

6. Василенко Н. Н., Гринева Д. А., Бокарев А. И. Анализ профессиональных заболеваний на производстве и разработка мероприятий по их профилактике (на примере предприятий транспортного машиностроения) // Техносферная безопасность : сб. ст. по материалам Седьмой Национальной науч.-техн. конф. Омск, 2020. С. 81–84.

7. Галимова Р. Р., Валеева Э. Т., Дистанова А. А. и др. Гигиеническая оценка условий труда и состояния здоровья работников машиностроения // Медицина труда. 2020. № 1. С. 36–43.

8. ГОСТ 12.0.003-2015 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: принят 10.12.2015 ; действ. с 01.03.2017. М., 2013. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200136071 (accessed 29.01.2021).

9. Денисов Э. И., Илькаева Е. Н., Прокопенко Л. В. и др. Логика и архитектура построения прогнозных моделей медицине труда // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2009. № 1(65). С. 20–29.

10. Коробчанский В. А., Новикова И. В., Герасименко О. И. Биохимические критерии донозологической и ранней диагностики вибрационной болезни под воздействием локальной вибрации. Медицина сегодня и завтра. 2011. № 4. С. 139–44.

11. Кукареко В. А. Воздействие производственных факторов на работников предприятий машиностроительной отрасли // Современные научные исследования и разработки. 2019. № 1 (30). С. 604–605.

12. Курчевенко С. И., Бодиенкова Г. М. Донозологическая диагностика вибрационной болезни // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. № 62 (8). С. 482–485.

13. Могилевец О. Н., Дешко Т. А., Добровольская Т. В., Котова К. В. Анализ заболеваемости вибрационной болезнью в Гродненской области // Актуальнеы проблемы медицины : сб. ст. по материалам ежегод. итоговой науч.-практ. конф. Гродно. 2018. С. 545–548.

14. Общероссийские классификаторы. URL: https://classifikators.ru/ (дата обращения 29.01.2021).

15. Почекуева И. Е., Суковин М. В. Разработка мероприятий по снижению вредного влияния вибрации на человека-оператора землеройных машин активного действия // Образо-

вание. Транспорт. Инновации. Строительство : сб. ст. по материалам II Национ. науч.-практ. конф. Омск, 2019. С. 114–119.

16. Приказ Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. Об утверждении перечня профессиональных заболеваний : принят 27.04.2012 : действ. с 15.05.2012. М., 2012. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

17. Скепьян Н. А., Барановская Т. В., Першай Л. К. Профессиональные заболевания : справочник / под ред. Н. А. Скепьяна. Минск : Беларусь, 2003. 336 с.

18. Стасева Е. В., Сазонова А. М. Актуальные проблемы обеспечения охраны труда в промышленности // Труды РГУПС. 2020. № 3. С. 45–48.

19. Тебекин А. В. Проблемы стратегического инновационного развития предприятий отечественного машиностроения и потенциальные пути их решения // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1. Экономика и управление. 2018. № 3 (26). С. 68–76.

20. Труд-Эксперт. Управление. URL: https://www.trudcontrol.ru/press/statistics/28290/raspre-delenie-osnovnih-vrednih-proizvodstvennih-faktorov-okazivaushih-vliyanie-na-formirovanie-professionalnoy-zabolevaemosti-rabotnikov-obobshennie-dannie (дата обращения 29.01.2021).

Нейронные сети в распознавании образов синусоидальных сигналов

А. А. Куколев [a], Д. Л. Пиотровский [b], С. А. Подгорный [c]
аспирант кафедры автоматизации производственных процессов [a]
доктор технических наук, профессор [b]
доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов [c]
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация [a, c]
Кубанский казачий государственный институт пищевой индустрии и бизнеса,
филиал МГУТУ имени К. Г. Разумовского, г. Темрюк [b]
E-mail: sahsanius@yandex.ru [a], piotrovsky2005@yandex.ru [b], saptich@rambler.ru [c]

Аннотация. Синусоидальная составляющая лежит во множестве повседневных периодических процессов, окружающих человека, начиная природными и заканчивая узкоспециализированными рукотворными – социальными, экономическими, техническими, биологическими. Интерес к вопросу распознавания и измерения частоты синусоидального сигнала проявлялся постоянно, что стало тенденцией к развитию теорий, основанных на методах наименьших квадратов, дискретных преобразованиях Фурье и пр. В связи с возросшей тенденцией к интеграции нейронно-сетевых структур в промышленное производство была предпринята попытка рассмотрения возможности использования нейронной сети для определения частоты зашумленного низкочастотного синусоидального сигнала. Для этой цели была разработана многослойная нейронная сеть прямого распространения, использующая в качестве активационных функций функции гиперболического тангенса. Данная статья представляет вниманию математическое описание и некоторые особенности структуры созданной модели. Кроме того, в материале статьи обосновывается актуальность данного вопроса и перспективность подобных разработок.

Ключевые слова: нейронная сеть, управление, распознавание, сигнал, обучение, моделирование, синусоида, обратное распространение ошибки.

Введение. К настоящему времени разработано определенное множество конфигураций нейросетевых структур. Большинство из них обрело свою нишу и область применения в методах автоматизации [1], обработки информации [2], а также формировании заключений [3]. Кроме того, исключением не стали авиационная промышленность [4] и медицина [5]. По этой причине за последние годы выпущено множество научных статей и учебников в отношении данной области [6–10], защищены диссертации, постоянно вопросы разработки и настройки нейронных сетей поднимаются на научно-практических конференциях и семинарах [1, 11, 12]. В связи с этим актуальность данной области научных исследований не вызывает сомнений ввиду повсеместного распространения нейросетевых структур и множества успешно решенных с их помощью задач. Авторами была предпринята попытка рассмотрения возможности использования нейронных сетей для решения общеизвестной задачи определения ча-

стоты низкочастотного зашумленного синусоидального сигнала посредством построения искусственной нейронной сети прямого распространения. Примерами такого сигнала могут являться волнение моря, низкочастотный аудиошум, а также колебательные процессы в системах управления.

Методы исследования. Практическое определение частоты синусоидального сигнала зачастую оказывается весьма затруднено. Это в особенности относится к природным процессам, которые слабо поддаются обработке привычными контрольно-измерительными приборами и системами, например волнению на поверхности морской воды. В то же время определение этого значения может иметь принципиальное значение для задач управления движительными установками и вспомогательным оборудованием, так как зачастую задача управления не предусматривает каких-либо корректировочных устройств или алгоритмов для объектов управления. Типовая задача в условиях неопределенности или воздействия синусоидального возмущения обычно сводится к механическому или электронному ограничению величин рабочих процессов, что, в свою очередь, ведет к снижению КПД и нерациональному расходованию ресурсов, в частности топлива. Разумным решением в этом случае может стать внесение корректирующих воздействий, нивелирующих нагрузочные, но в этом случае возникает вышеупомянутая проблема достоверных математически точных измерений. Искусственная нейронная сеть (ИНС), находящаяся в контуре дополнительной обратной связи системы управления, способна с достаточной степенью точности решить эту задачу. В связи с этим целесообразно определить текущую задачу исследования как построение ИНС прямого распространения для определения частот зашумленных сигналов в диапазоне f = 0.01…0.5 Гц с отношением сигнал/шум, равным 35, с допустимой среднеквадратичной ошибкой, не превышающей 10^{-3} единиц для всех итераций.

Для решения поставленной задачи был подготовлен массив значений синусоид с частотами f = 0.01…0.5 Гц с шагом 0.01 Гц. Построение соответствующих зависимостей для сигнала формы:

$$S(t) = 4 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

в интервале 0…10 с с интервалом 0.2 с позволило получить входные векторы значений функции *S(t)* для 50 значений указанных частот, а также вектор- столбец целевых значений частот.

$$S = \begin{bmatrix} S^1_{0.02} & \cdots & S^{50}_{0.02} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S^1_{0.5} & \cdots & S^{50}_{0.5} \end{bmatrix} \qquad f = \begin{bmatrix} 0.01 \\ \vdots \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

Изначально структура для такой сети была определена как многослойная с числом слоев, равным пяти (рис. 1), с 50 нейронами в первом скрытом слое, с 5 нейронами во втором и третьем скрытых слоях, с 3 нейронами в четвертом скрытом слое и с одним нейроном в выходном слое.

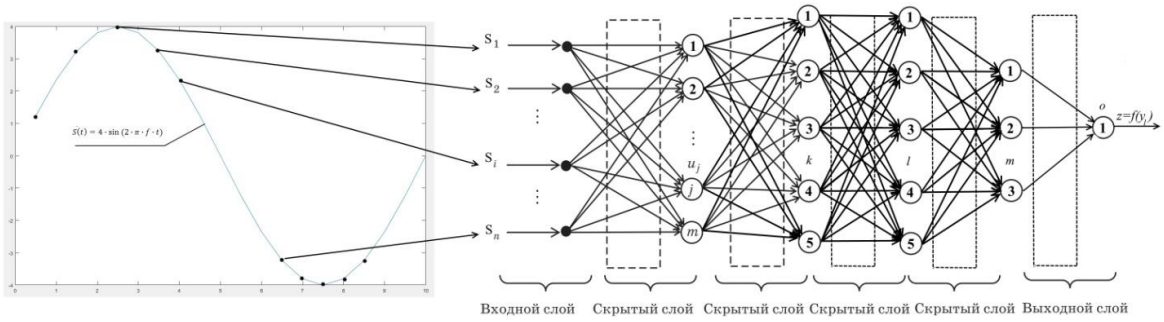


Рис. 1. Структурная схема трехслойной искусственной нейронной сети прямого распространения

Концепция обучения нейронной сети для оценки частоты входного сигнала состоит в параллельной подаче на вход сети всех итераций одного периода сигнала с последующей корректировкой весовых коэффициентов в соответствии с законом обратного распространения ошибки для осуществления градиентного спуска в направлении минимизации ошибки [13]. Последующая работа обученной сети должна заключаться в распознавании значений частот поступающего на ее вход периодического синусоидального сигнала с заданной степенью точности при наличии шума.

Таким образом, процесс обучения искусственной нейронной сети сводится к корректировке весов скрытых слоев и выходного слоя. Корректировка весов первого скрытого слоя для гиперболической тангенциальной сигмоиды в функции активаций нейронов осуществляется по закону [14]:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \eta \cdot \left(\sum_{j=1}^{50} \Delta_1 \cdot z \cdot (1-z) \cdot v_{jk} \right) \cdot u_j \cdot (1-u_j) \cdot S_i,$$

где $w_{ij}(t+1)$ – значение весовой функции в текущей итерации при передаче сигнала от i-го нейрона входного слоя к j-му последующему нейрону скрытого слоя, $w_{ij}(t)$ – значение весовой функции предыдущей итерации при передаче сигнала от i-го нейрона входного слоя к j-му нейрону последующего скрытого слоя, η – коэффициент скорости обучения ИНС, Δ_1 –значение ошибки нейрона выходного слоя, z- значение сигнала на выходе нейрона выходного слоя, v_{jk} – значение весовой функции при передаче сигнала от j-го нейрона первого скрытого слоя к k-му нейрону второго скрытого слоя, u_j – значение сигнала на выходе j-го нейрона первого скрытого слоя, S_i – значение сигнала i-го входного нейрона.

По аналогии второй скрытый слой:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) - \eta \cdot \left(\sum_{k=1}^{5} \Delta_1 \cdot z \cdot (1-z) \cdot v_{kl} \right) \cdot u_k \cdot (1-u_k) \cdot u_j.$$

Выходной слой:

$$v_{no}(t+1) = v_{on}(t) - \eta \cdot \Delta_1 \cdot z \cdot (1-z) \cdot u_n$$

Следовательно, процесс обучения ИНС сводится к определению максимального количества эпох, скорости обучения и максимально допустимой ошибки выхода, описываемой функцией [14]:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (z_i - y_i)^2.$$

Моделирование ИНС сводится к определению данных характеристик, активационных функций, а также обучающего алгоритма, который в данном случае был определен как алгоритм Лавенберга – Марквардта [15, 16]. Для обозначенных целей в программном обеспечении MATLAB была разработана пользовательская ИНС в соответствии с обозначенной выше структурной схемой (рис. 2).

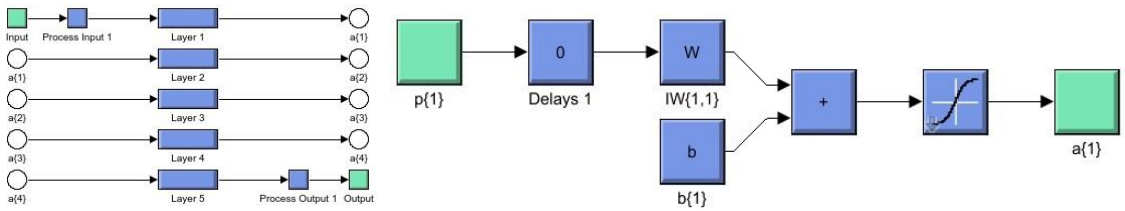


Рис. 2. Структурные схемы моделируемой ИНС, а также первого скрытого слоя

Для тренировки созданной сети использовалась указанная выше обучающая выборка из пятидесяти временных итераций пятидесяти значений частот.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате моделирования обучения ИНС по алгоритму Лавенберга – Марквардта были получены результаты (рис. 3), в соответствии с которыми заданная среднеквадратичная ошибка (MSE = $3.5 \cdot 10^{-8}$) была достигнута уже на 12-й эпохе обучения.

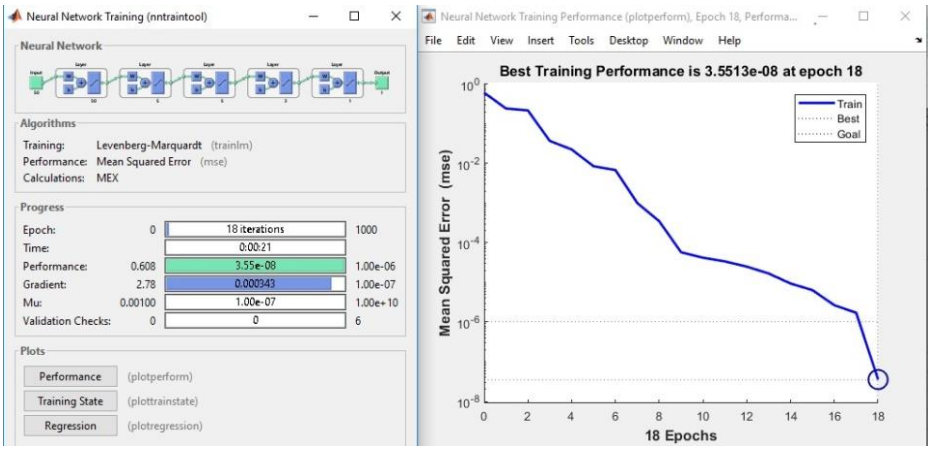


Рис. 3. Результаты обучения моделируемой ИНС
по алгоритму Лавенберга – Марквардта

Проверка работоспособности, вызываемая функцией *sim(network,S)*, позволила с высокой степенью точности определить частоты всех поступающих на вход ИНС сигналов, получить соответствующую вектор- строку:

$$f = \begin{bmatrix} 0.0103 & 0.0202 & 0.0309 & 0.0403 & 0.0501 & 0.0600 & 0.0700 & 0.0800 & 0.0900 \ldots \\ 0.1000 & 0.1101 & 0.1201 & 0.1305 & 0.1400 & 0.1500 & 0.1600 & 0.1700 & 0.1800 \ldots \\ 0.1900 & 0.1999 & 0.2100 & 0.2201 & 0.2302 & 0.2402 & 0.2503 & 0.2601 & 0.2702 \ldots \\ 0.2801 & 0.2901 & 0.3000 & 0.3101 & 0.3203 & 0.3304 & 0.3400 & 0.3501 & 0.3601 \ldots \\ 0.3702 & 0.3800 & 0.3901 & 0.4001 & 0.4101 & 0.4200 & 0.4300 & 0.4400 & 0.4499 \ldots \\ & & & & 0.4600 & 0.4701 & 0.4802 & 0.4901 & 0.5001 \end{bmatrix}.$$

Однако, помимо обучающей выборки, основной интерес представляет реакция сети на промежуточные значения подаваемых на вход частот, а также ра-

бота сети в условиях зашумленного сигнала, который на практике встречается намного чаще идеального.

Эталонная, подаваемая на вход сети функция в этом случае будет иметь вид:

$$S_{\text{ш}}(t) = 4 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + \Omega(t),$$

где $\Omega(t)$ – временная функция Гауссовского шума со стандартным отклонением σ.

Отношение мощности сигнала к мощности шума в этом случае можно представить в виде:

$$\alpha = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} = \left(\frac{A}{\sigma}\right)^2.$$

Или в децибелах:

$$\alpha_{dB} = 10 \cdot lg\left(\frac{A}{\sigma}\right)^2.$$

Согласно условиям поставленной задачи, коэффициент α должен быть равен α = 35. Для частот f_1 = 0.15 Гц и f_2 = 0.25 Гц в этом случае входной сигнал сети будет иметь вид (рис. 4):

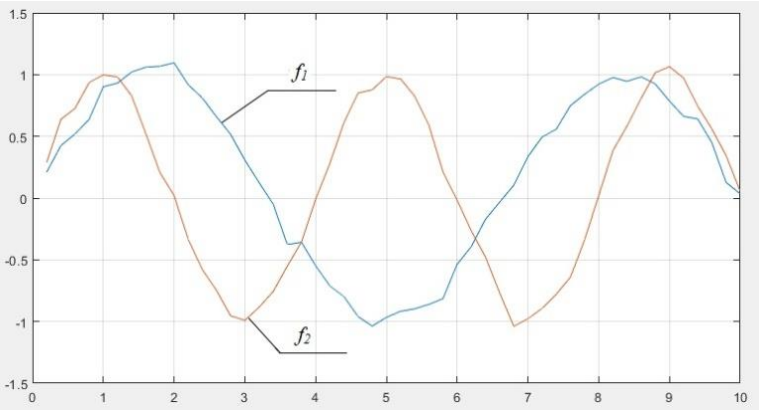


Рис. 4. Форма зашумленного сигнала выборки
при частотах f_1 = 0.15 Гц и f_2 = 0.25 Гц

Вызов функции расчета реакции модели дает следующий результат:

$$f = \begin{bmatrix} 0.0099 & 0.0239 & 0.0358 & 0.0405 & 0.0471 & 0.0536 & 0.0708 & 0.0809 & 0.0929 \ldots \\ 0.1001 & 0.1106 & 0.1194 & 0.1331 & 0.1446 & 0.1519 & 0.1680 & 0.1685 & 0.1831 \ldots \\ 0.1731 & 0.2295 & 0.1949 & 0.2015 & 0.2314 & 0.2405 & 0.2514 & 0.2633 & 0.2722 \ldots \\ 0.2798 & 0.2879 & 0.3075 & 0.3286 & 0.3163 & 0.3305 & 0.3381 & 0.3518 & 0.3571 \ldots \\ 0.3724 & 0.3848 & 0.3901 & 0.4039 & 0.4217 & 0.4206 & 0.4395 & 0.4396 & 0.3679 \ldots \\ & & 0.4671 & 0.4657 & 0.4495 & 0.4964 & 0.5024 & & \end{bmatrix}.$$

Моделирование динамики изменения среднеквадратичной ошибки на тестовой выборке в зависимости от итерации было осуществлено при помощи программного пакета Matlab; полученный результат показан на рис. 5:

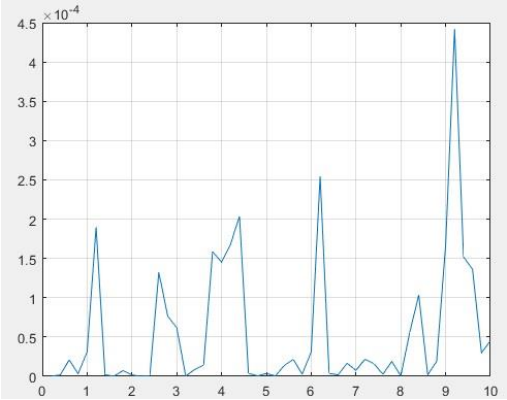


Рис. 5. Динамика изменения среднеквадратичной ошибки
для пятидесяти итераций тестовой выборки

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученные результаты подтверждают справедливость утверждения о возможности реализации поставленных перед нейросетевой структурой задач по определению частоты поступающего на ее вход зашумленного сигнала. Рассмотренная структура позволила с заданной степенью точности определить частоты поступающих на ее вход сигналов, однако текущая конфигурация и структура должны быть подвергнуты модификации для дальнейшего улучшения качества работы системы.

Однако стоит заметить, что полученная структура способна выполнять определенные задачи по управлению и корректировкам управляющих сигналов уже сейчас, поэтому дальнейшее исследование работы структуры имеет оправданный смысл в узкоспециализированных задачах работы с высокоинерционными объектами в слабо текущих процессах.

Библиографический список

1. Hagan M. T., Demuth H. B. Neural networks for control // Proc. 1999 American control conference, San Diego: CA, 1999.

2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И. Д. Рудинского. М. : Финансы и статистика, 2002.

3. Castro L .N. de, von Zuben F. J. Learning and optimization using the clonal selection principle // IEEE Trans. Evolutionary Computation. 2001. Special Issue on artificial Imuune systems.

4. Бураков М. В., Коновалов А. С., Шумилов Е. П. Интеллектуальные системы авиационной антиюзовой автоматики. СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2005.

5. A survey on deep learning in medical image analysis / G. Litjens, T. Kooi, B. E. Bejnordi et al. Med Image Anal. Dec., 2017.

6. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. М. : Физматлит, 2001. 224 с.

7. Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения. М. : ИПРЖРБ, 2000. 272 с.

8. Бодянский Е. В., Руденко О. Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения Харьков : Телетех, 2004. 264 с.

9. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / под общ. ред. к. т. н. В. Г. Потемкина М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с.

10. Хайкин С. Нейронные сети. М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. 1104 с.

11. Козлов Д. В. и др. Построение модели объекта с помощью радиально- базисных нейронных сетей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 1. С. 165–170.

12. Ведякова А. О. Идентификация математической модели судна с использованием нейронной сети при учете внешних возмущений. Современные информационные технологии и ИТ-образование // Сборник избранных трудов VIII международной научно-практической конференции. / под ред. проф. В. А. Сухомлина. М.: ИНТУИТ.РУ, 2013. С. 698–705.

13. Hornik. K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators // Neural network. 1989. Vol. 2.

14. Бураков М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры : учеб. пособие. СПб. : ГУАП, 2013. 286 с.

15. Гилл. Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М. : Мир, 1985. 509 с.

16. Transtrum M., Machta B., Setha J. Improvements to the Levenberg-Marquardt algorithm for nonlinear least-squares minimization // Journal of computational physics, Laboratory of atomic and solid state physics. Cornell University, Ithaca, New York, 2012. 32 p.

Прочность и деформативность опертых по контуру железобетонных плит с распором

О. Г. Кумпяк [a], З. Р. Галяутдинов [b]
доктор технических наук, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» [a]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции» [b]
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Российская Федерация [a, b]
E-mail: ogkumpyak@yandex.ru [a], gazr@yandex.ru [b]

Аннотация. В изгибаемых железобетонных конструкциях, выполненных в монолитном исполнении или при замоноличивании швов между смежными сборными элементами, находящихся под действием эксплуатационных нагрузок, возникают силы распора. Наличие распора приводит к значительному увеличению несущей способности и снижению деформаций конструкций. В настоящей работе, на основе экспериментальных исследований опертых по контуру железобетонных плит, рассмотрено влияние прочности бетона, толщины плиты и процента ее армирования на прочность и деформативность конструкции. По результатам исследований установлено, что прочность плит увеличивается с ростом толщины плиты и прочности бетона плиты. Влияние распора проявляется в большей степени в плитах с меньшим процентом армирования. Полученные результаты позволяют более детально оценить напряженно-деформированное состояние конструкций с распором на всех стадиях нагружения вплоть до разрушения.

Ключевые слова: распор, опертые по контуру плиты, экспериментальные исследования, бетон, арматура, железобетонная конструкция, деформация, перемещение.

Введение. Опертые по контуру железобетонные плиты широко применяются в промышленном и гражданском строительстве. При этом в большинстве случаев указанные конструкции работают в условиях стесненных деформаций. В монолитных перекрытиях, а также в сборных перекрытиях, швы которых замоноличены бетоном, в результате деформирования конструкций возникает распор, в значительной степени увеличивающий несущую способность изгибаемых элементов [1–3].

Несмотря на значительный объем экспериментальных и теоретических исследований, в действующих нормативных документах отсутствует общая методика расчета железобетонных конструкций с распором, а при проектировании опертых по контуру плит влияние сил распора учитывается снижением площади поперечного сечения арматуры, полученной из расчета плиты без учета распора, либо снижением изгибающих моментов [4, 5].

Однако, как показывают исследования, на величину распора оказывает влияние ряд факторов, основными из которых являются толщина плиты, проч-

ность бетона, процент армирования. Для оценки влияния указанных выше факторов на силы распора проведены экспериментальные исследования опертых по контуру железобетонных плит.

Методы исследования. Исследования проводились на образцах плит размерами в плане 1.0×0.8 м (см. таблицу). Армирование плит выполнялось отожженной арматурой класса В500 диаметром 3 мм ($\sigma_y = 260$ МПа).

Характеристики опытных образцов

Маркировка плит	I серия						II серия			
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9	П-10
Толщина плиты, мм	50						30			
Бетон	В10						В5			
Процент армирования, %	0.25		0.16		0.12		0.26		0.20	
Наличие распора	Нет	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет

Испытания проводились на специально разработанном стенде (рис. 1). Стенд состоит из жесткой горизонтальной рамы (двутавр № 50, поз. 1), воспринимающей горизонтальные усилия, резиновой камеры (поз. 5), верхней и нижней рамы (двутавр № 18, поз. 2 и 3 соответственно), соединенных между собой болтами (поз. 8). Резиновая камера представляет собой плоский мешок, склеенный из прорезиненной ткани, размеры которого соответствуют размерам плиты в плане (1.0×0.8 м). Резиновая камера укладывалась на деревянный щит (поз. 4), установленный на нижнюю раму, и заполнялась водой, создавая тем самым равномерно распределенную нагрузку на плиту. Поверх мешка укладывался испытываемый образец (поз. 7). Шарнирное опирание плиты обеспечивалось за счет шаровых опор (поз. 6), устанавливаемых по периметру плиты между плитой и верхней рамой.

Для создания распора шов между торцом плиты и внутренней плоскостью горизонтальной рамы замоноличивался бетоном класса В15. Шов – толщиной 50 мм, практически несжимаем. Для контроля деформаций горизонтальной рамы в процессе испытаний использовались датчики перемещений, по показаниям которых было установлено, что податливость контура стремится к нулю, при анализе результатов ей можно пренебречь.

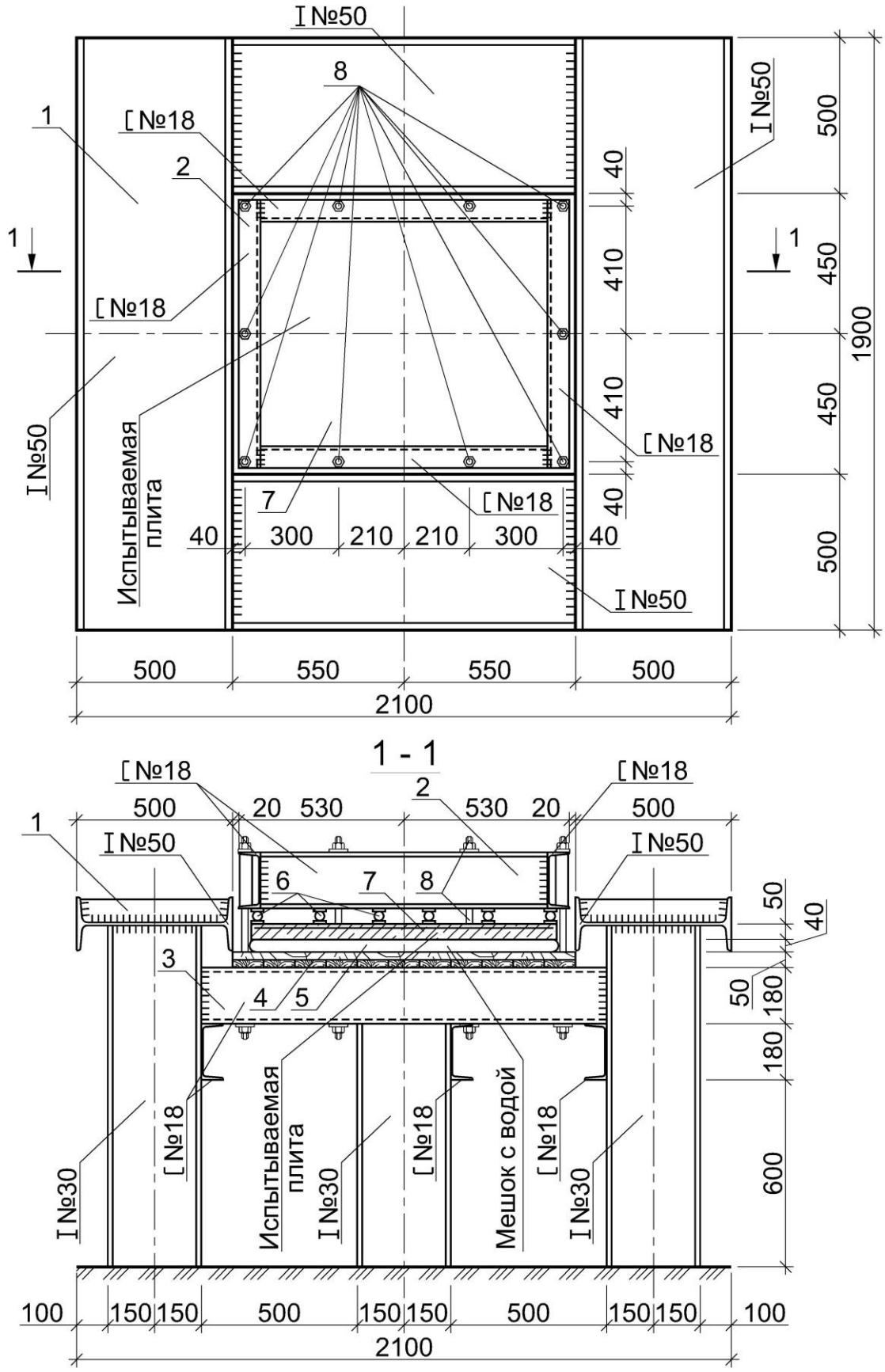


Рис. 1. Стенд для испытания опертых по контуру железобетонных плит с распором:
1 – горизонтальная рама; 2 – верхняя опорная рама; 3 – нижняя опорная рама;
4 – деревянный распределительный щит; 5 – резиновая камера с водой; 6 – шаровые опоры;
7 – испытываемый образец; 8 – болты

Результаты исследований, их обсуждение. Анализируя схемы разрушения плит, можно отметить некоторые различия в схемах разрушения. Во всех случаях разрушение происходит с образованием пластических шарниров по схеме конверта (рис. 2).

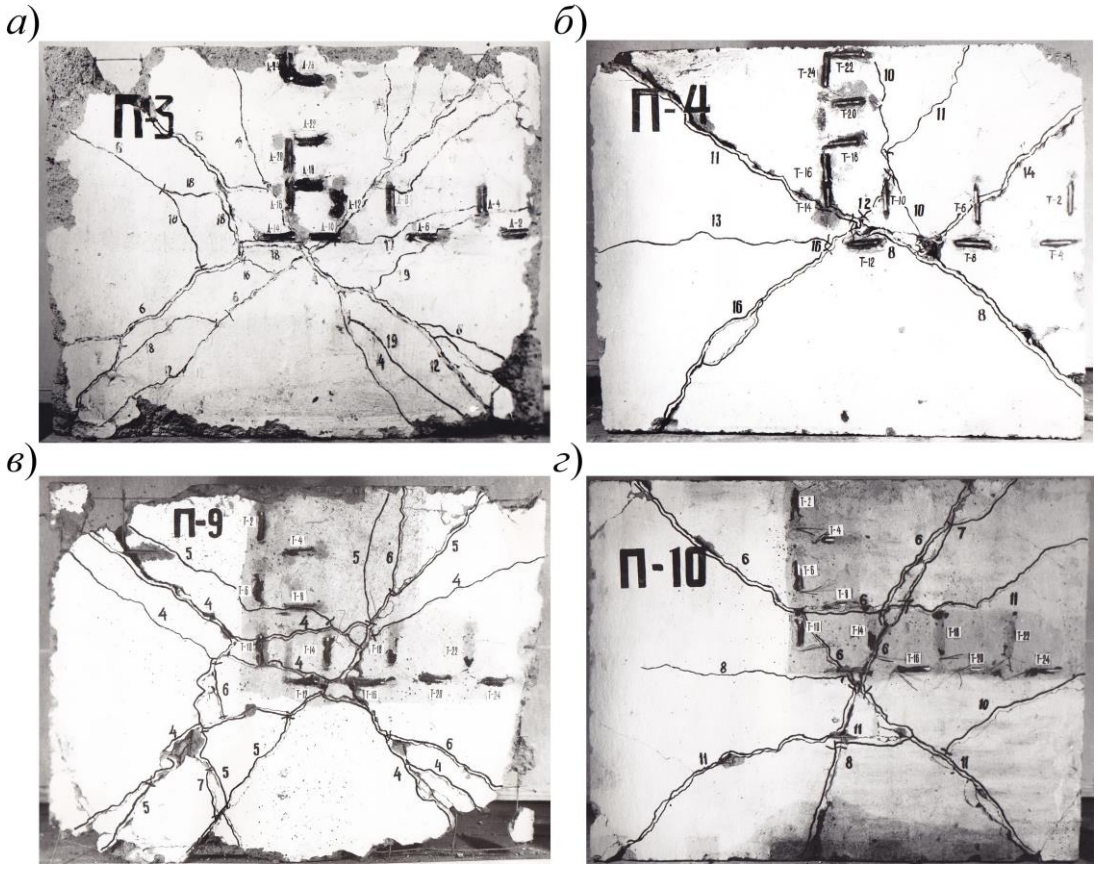


Рис.2. Схема разрушения железобетонных плит: *а* – первой серии с распором; *б* – первой серии без распора; *в* – второй серии с распором; *г* – второй серии без распора

Вместе с тем в плитах с распором одновременно с образованием пластических шарниров в растянутой зоне плиты происходит разрушение бетона в опорных сжатых зонах по периметру конструкции и откол угловых участков. Откол углов плиты обусловлен закреплением плиты по периметру от вертикального смещения, что препятствует подъему углов плиты вследствие действия крутящих моментов, в результате чего происходит разрушение бетона угловых зон плит с распором.

Вследствие поворота дисков плиты после образования пластических шарниров в опорных сечениях возникают сжимающие усилия, обусловленные ограничением горизонтального смещения, что, в свою очередь, ведет к возник-

новению сил распора на опоре и, соответственно, к разрушению бетона в опорных сечениях. Анализ схем разрушения показывает, что в плитах второй серии, прочность бетона которых значительно ниже, разрушение бетона в опорных сечениях носит более выраженный характер и происходит практически по всему периметру плиты (рис. 2*в*). Таким образом, можно отметить, что применение бетонов более высокой прочности препятствует преждевременному разрушению бетона опорных сечений и увеличивает эффект влияния распора на несущую способность плит.

Сказанное выше также подтверждается показаниями прогибомеров (рис. 3) и деформациями арматуры (рис. 4).

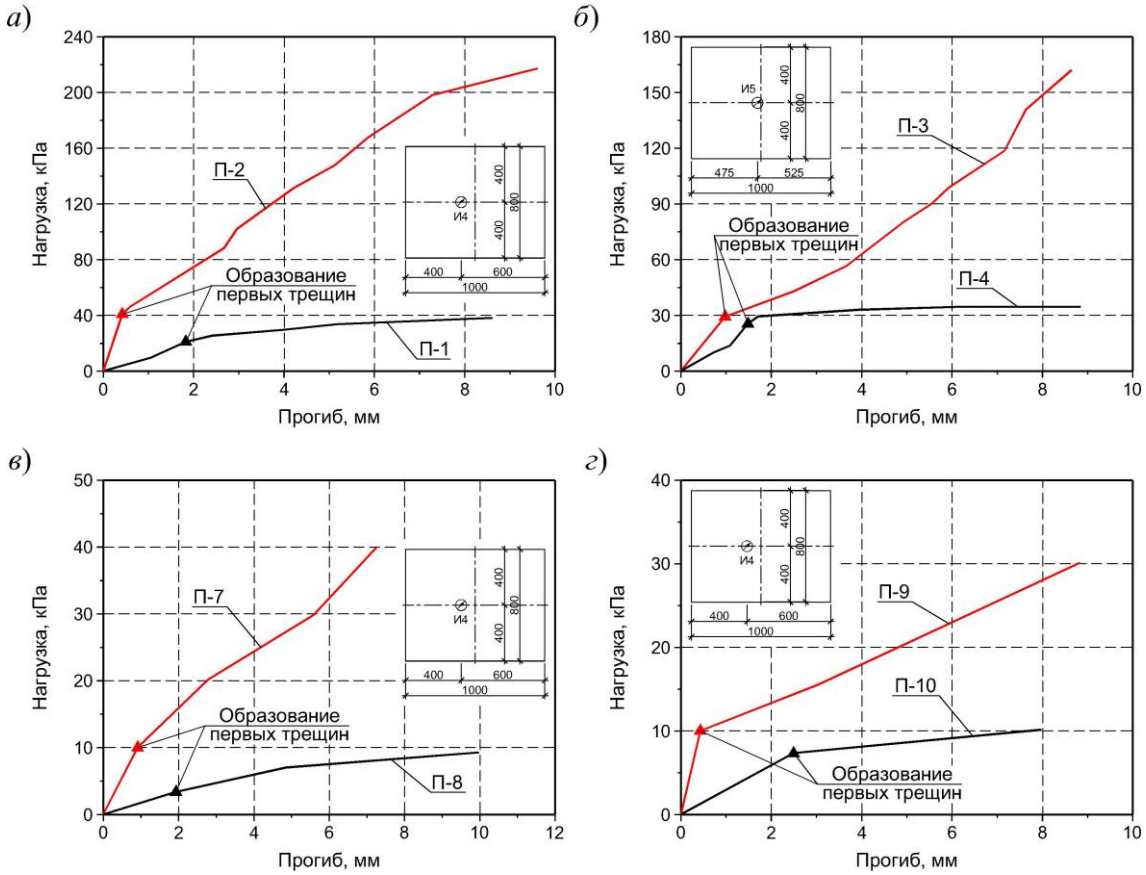


Рис. 3. Перемещения железобетонных плит первой (*а*, *б*) и второй (*в*, *г*) серии

Из графиков перемещений видно, что прочность плит первой серии увеличилась более чем в 5 раз, в то время как для плит второй серии увеличение прочности составляет 3…4 раза. Данное обстоятельство может быть связано как с меньшей прочностью бетона второй серии образцов, так и с меньшей

толщиной плит второй серии. Также необходимо отметить более высокую жесткость плит с распором как на стадии упругой работы, так в условиях упругопластического деформирования.

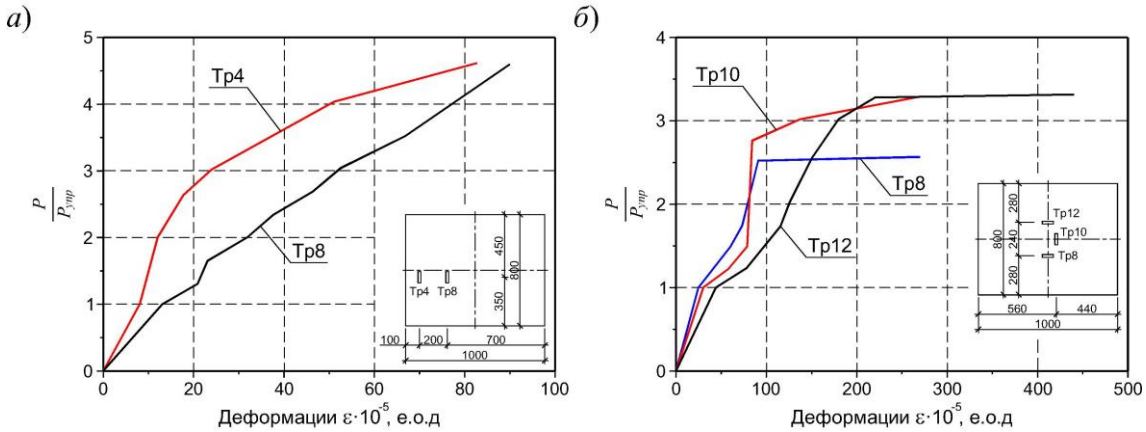


Рис. 4. Деформации арматуры железобетонных плит первой (*а*) и второй (*б*) серии

Деформации арматуры в плитах первой серии с распором изменяются практически по линейному закону вплоть до разрушения конструкций (рис. 4*а*), при этом максимальные значения деформаций на рассматриваемом участке плиты не превышают $\varepsilon_s = 100 \cdot 10^{-5}$. В плитах второй серии с распором деформации арматуры можно условно разделить на два участка (рис. 4*б*). На первом этапе, при деформациях арматуры до $\varepsilon_s = 150 \cdot 10^{-5}$, наблюдается линейный характер изменения деформаций конструкции, после чего наблюдается резкий рост деформаций арматуры без увеличения внешней нагрузки. Это обусловлено разрушением бетона в опорных сечениях, исключением распора из работы конструкции, резким ростом деформаций арматуры с последующим разрушением конструкции.

Влияние процента армирования на несущую способность железобетонных плит с распором показано на рис. 5. Из графика видно, что с увеличением процента армирования влияние распора на несущую способность плит снижается. При большем объеме арматуры она сдерживает возникающие растягивающие усилия и препятствует деформированию конструкции, т. е. происходит уменьшение углов поворота опорных сечений и, соответственно, влияние распора на несущую способность снижается.

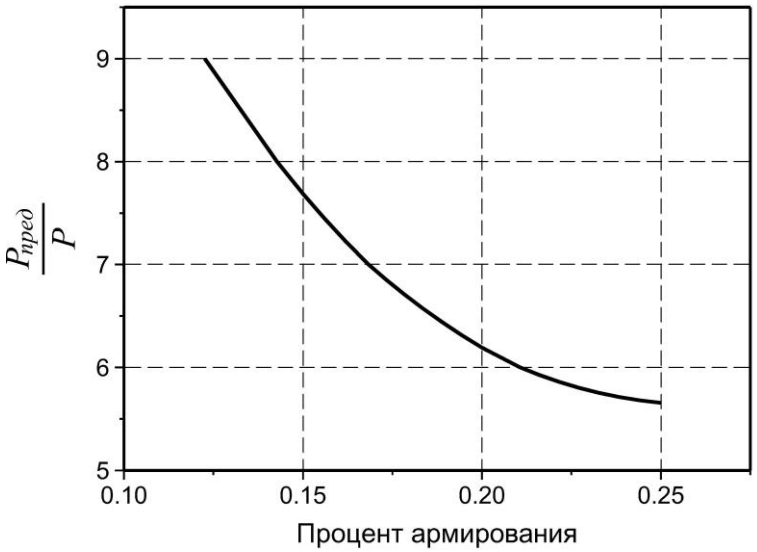


Рис. 5. Влияние процента армирования на несущую способность плит с распором.

Выводы. По результатам выполненных исследований установлено, что наличие распора, обусловленного работой конструкций в условиях стесненных деформаций, оказывает значительное влияние как на несущую способность опертых по контуру плит, так и на их перемещения. Влияние распора на прочность и деформативность увеличивается с ростом толщины плиты и прочности бетона. Увеличение процента армирования приводит к снижению влияния распора на несущую способность конструкций.

Библиографический список

1. Крылов С. М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. М. : Стройиздат, 1964. 163 с.

2. Гуревич А. Л. Построение математической модели для расчета на ЭВМ железобетонных балок, работающих с распором // Железобетонные конструкции. Экспериментально-теоретические исследования : сб. ст. Куйбышев : КГУ, 1977. С. 53–59.

3. Плевков В. С., Саркисов Д. Ю., Балдин С. В. Анализ параметров колебательных процессов несущего каркаса производственного здания // Строительство и реконструкция. 2017. № 4. С. 47–56.

4. Железобетонные и каменные конструкции : учеб. Изд. 2-е, доп. и перераб. / О. Г. Кумпяк, З. Р. Галяутдинов, О. Р. Пахмурин, В. С. Самсонов. М. : Издательство АСВ, 2014. 672 с.

5. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями. М. : Стройиздат, 1979. 54 с.

Организация выполнения лабораторных работ для бакалавриата по курсу «SCADA-системы» в условиях дистанционного обучения

А. С. Курбатова [a], Н. Р. Шарафутдинов [b], В. С. Генин [c], Л. Н. Васильева [d]
студентка группы РЭА-11-17 [a]
студент группы РЭА-11-17 [b]
доктор технических наук, профессор кафедры автоматики и управления в технических системах [c]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматики
и управления в технических системах [d]
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: niyazshar1999@mail.ru [a], nastyusha-kurbatova@mail.ru [b],
v.s.g.auts.chgu@mail.ru [c], oln2404@mail.ru [d]

Аннотация. Во всем мире постоянно растет потребность в квалифицированных специалистах, владеющих современными технологиями проектирования и эксплуатации систем управления типа SCADA-систем и программно-технических средств на базе промышленных контроллеров, интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов. В связи с этим перед системой высшего образования стоит задача повышения качества подготовки выпускников инженерно-технических специальностей.

С введением дистанционного режима обучения появилась острая необходимость в разработке специализированного методического материала. Целью представленной работы является адаптация материалов и организация выполнения лабораторных работ для студентов бакалавриата по курсу «SCADA-системы» направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» в условиях дистанционного обучения.

Сегодня система высшего профессионального образования, учитывая специфику момента, требует новых форм и методов преподавания, все большее распространение получают средства дистанционного обучения.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, инструментальный интерфейс, графический элемент, SCADA-система, дистанционное обучение.

Введение. В современном развивающемся мире, когда компьютерные технологии все глубже проникают во все сферы нашей жизни, растет потребность в квалифицированных специалистах, в частности, в области автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП). Этот факт в том числе свидетельствует об актуальности задачи обеспечения высокого качества специализированной подготовки бакалавров по направлению подготовки 27.03.04 и магистров по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах».

Эффективность подготовки будущих специалистов – студентов технических вузов во многом зависит от качества методических материалов и организации лекционных занятий, лабораторных практикумов с применением учебно-лабораторного оборудования и других средств обучения. С введением ди-

станционного режима обучения появилась острая необходимость в подготовке специализированного методического материала. Целью представленной работы является адаптация материалов и организация выполнения лабораторных работ для студентов бакалавриата по курсу «SCADA-системы».

По рассматриваемому курсу студенты прослушивают курс лекций, охватывающий архитектуры, интерфейсы, протоколы, сведения о программном обеспечении как собственно SCADA-систем, так и программируемых контроллеров, применяющихся В АСУ ТП. Лабораторные занятия проводятся с использованием пакета SCADA TRACE MODE компании AdAstrA Research Group и демоверсии SCADA-системы КВАНТ, поставляемой АО ЧЭАЗ, г. Чебоксары.

SCADA TRACE MODE – высокотехнологичный программный комплекс класса SCADA HMI, разработанный в 1992 году, предназначенный для разработки программного обеспечения АСУТП, систем автоматизации и телемеханики, систем учёта электроэнергии (АСКУЭ, АИИС КУЭ), воды, газа, тепла, а также для обеспечения их функционирования в реальном времени. Студенты самостоятельно регистрируются на сайте компании AdAstrA и получают доступ к свободно распространяемой версии пакета TRACE MODE 6, которую инсталлируют на свой компьютер. Лабораторные работы студентами выполняются в интегрированной среде разработки TRACE MODE 6 после успешной установки на ПК.

Задачи, решаемые при выполнении лабораторной работы, заключаются в создании проекта по инструкциям, изложенным в методических материалах. На первых этапах выполняются относительно простые проекты, которые в последующих работах постепенно усложняются.

Например, в первой лабораторной работе выполняется проект, представляющий собой графический экран, содержащий статические и динамические текстовые объекты, стрелочные приборы и какие-то отображающие графические элементы, в частности элемент типа «Тренд». Прорабатываются методы создания сигналов и их привязка к его каналам, выполняются настройки динамических текстов и графических элементов с проведением привязок к аргументам и т. д.

На рис. 1 показан пример настройки динамического текста и шаблона экрана с указанием типа аргумента, типа данных и привязок к атрибутам.

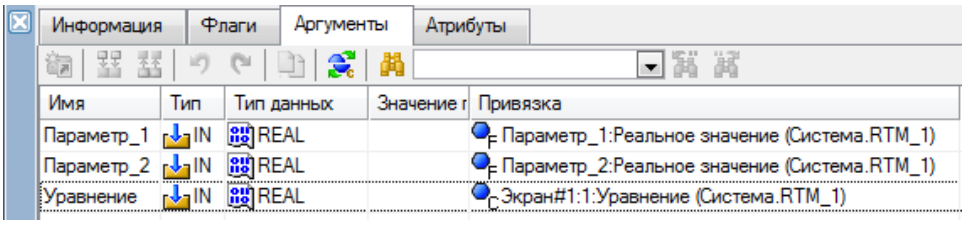


Рис. 1. Окно свойства аргументов экрана

Сигналы создаются из набора, имеющегося в свободно распространяемой версии пакета TRACE MODE 6. Например, берем два синусоидальных сигнала, вычитаем из первого синусоидального сигнала половину второго сигнала:

$$y = Sin\ x - 0.5 * Sin\ x, \quad (1)$$

где $Sin\ x$, соответственно, параметры синусоиды.

Студент может проявить самостоятельность и инициативу в создании как сигналов, так и отображающих графических элементов. Пример экрана такого проекта представлен на рис. 2.

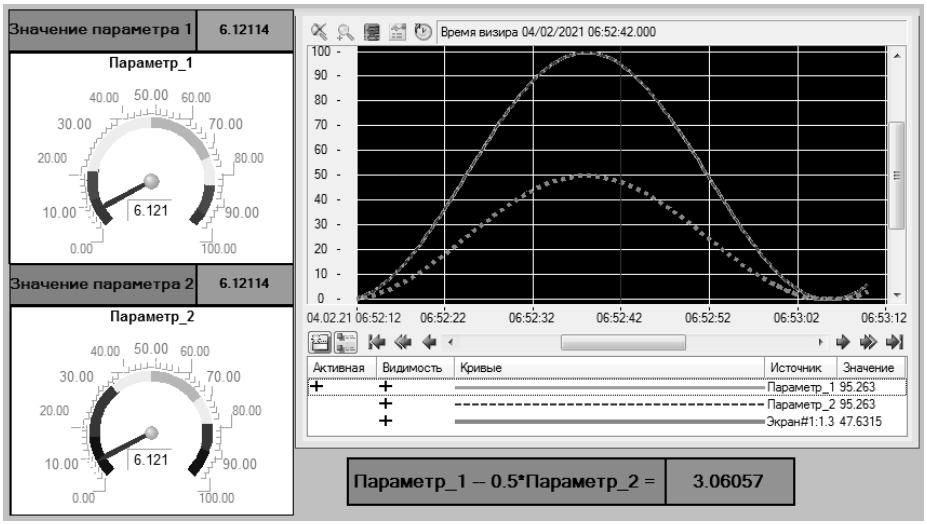


Рис. 2. Пример экрана проекта, выполняемого в лабораторной работе

Поскольку доступ к внешним устройствам при дистанционном режиме обучения затруднен, лабораторные работы, в которых он необходим, проводятся с использованием имитаторов, которые подготовлены в соответствии с рекомендациями «быстрого старта» [1].

В случае возникновения затруднений при выполнении сложных проектов студентам может быть показан порядок действий при подготовке отдельных элементов проекта или предоставлены для ознакомления готовые части проекта. Следует отметить, что студенты, руководствуясь предложенными им методическими материалами и информацией, доступной на сайте компании AdAstrA, практически не встречаются с серьезными проблемами при выполнении лабораторных работ.

При защите лабораторных работ студенту может быть предложено выполнить модернизацию его проекта, на которую должно быть затрачено 15–20 мин. Выполнение комплекса лабораторных работ с реальной SCADA-системой позволяет углубить знания по курсу и приобрести практические навыки работы с технической документацией, математического моделирования и программирования технических систем.

Однако, как показывает практика, обеспечить высокое качество подготовки специалистов инженерно-технических специальностей невозможно без использования стендового оборудования. В связи с этим в период дистанционного обучения необходимо изыскивать возможности проведения лабораторных работ с удаленным доступом к оборудованию, что становится реальным при современном программном обеспечении аппаратных средств. Решение задачи в таком виде предусматривается с использованием учебно-демонстрационного стенда РЗА и АСУ ТП [2], который АО «ЧЭАЗ» предоставил факультету радиоэлектроники и автоматики Чувашского государственного университета им. И. Н. Ульянова.

Учебно-демонстрационный стенд предназначен для проведения лабораторных работ по таким специальностям, как «SCADA-системы» или «Технические средства автоматизации управления». Оборудование стенда представляет собой физическую модель силового оборудования и устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА) подстанции 220/35/6 кВ. Совместно со стендом предоставлена демоверсия SCADA-системы «Квант-ЧЭАЗ» [3]. Внешний вид лицевой панели учебно-демонстрационного стенда показан на рис. 3.

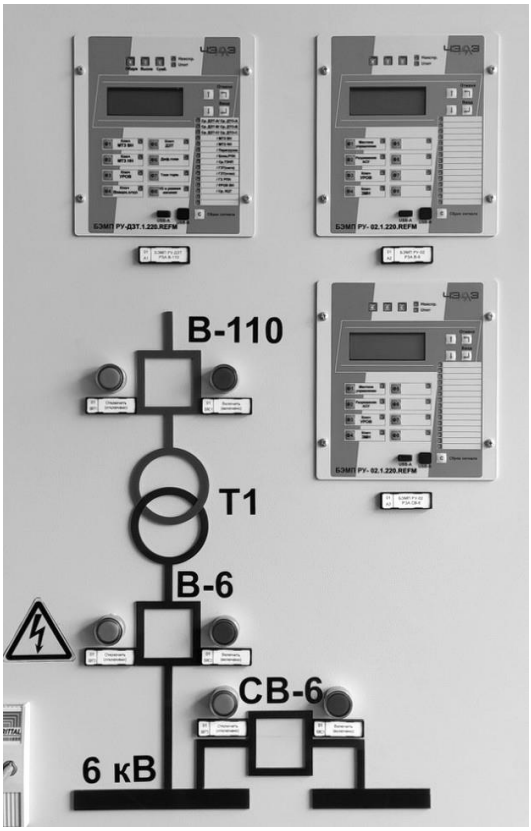


Рис. 3. Учебно-демонстрационный стенд РЗА и АСУ ТП

В составе стенда имеются интеллектуальные терминалы релейной защиты и противоаварийной автоматики типа БЭМП [4]; промежуточные реле, с помощью которых эмулируются выключатели подстанции; преобразователь интерфейсов RS-422/485, устройство резервирования сети (RedBox) PRP/HSR и сетевой коммутатор, коммутационные аппараты и индикаторы. К стенду могут быть дополнительно подключены современные программируемые контроллеры.

SCADA-система «Квант-ЧЭАЗ» позволяет организовать цифровой обмен данными с устройствами стенда через сетевые коммутаторы по протоколам стандарта МЭК 61850, а также по протоколам Modbus TCP/RTU, МЭК 60870-5-104, МЭК 61850-8-1 (MMS). Удаленный доступ к оборудованию производится через выделенный IP-адрес в локальной сети университета. С использованием учебно-демонстрационного стенда РЗА и АСУ ТП могут выполняться лабораторные работы по созданию проектов и экранных форм, работы с микропроцессорными устройствами БЭМП и программируемыми контроллерами.

Выводы. Рассмотрена организация выполнения лабораторных работ для студентов бакалавриата направления подготовки 27.03.04 и магистров направления подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в условиях дистанционного обучения.

Лабораторные занятия проводятся с использованием пакета SCADA TRACE MODE компании AdAstrA Research Group и демоверсии SCADA-системы «Квант-ЧЭАЗ» с удаленным доступом к оборудованию учебно-демонстрационного стенда РЗА и АСУ ТП.

Выполнение комплекса лабораторных работ с реальной SCADA-системой позволяет студентам углубить знания по курсу и приобрести практические навыки работы с технической документацией, математического моделирования и программирования технических систем.

Библиографический список

1. Быстрый старт Trace mode 6/ AdAstra Research Group. Изд-во AdAstra Research Group, 2008. 166 с.

2. Учебно-демонстрационный стенд РЗА и АСУ ТП для проведения лабораторных работ. Руководство по эксплуатации РЭ432914.

3. БКЖИ.00032-03 90 01-1 Программный комплекс АСУ ТП РЗА КВАНТ-ЧЭАЗ 2.3.0 для объектов ЕЭС. Руководство пользователя. 32 с.

4. БЭМП РУ серия многофункциональных устройств РЗА 0,4-220 кВ для традиционных и цифровых подстанций. URL: https://www.cheaz.ru/assets/images/production/5-urz/bemp-ru_ 27082020.pdf (дата обращения 05.02.2021).

Нейросетевая кластеризация распределения эмоциональных реакций на внешние раздражители по результатам сканирования электромагнитной нейронной активности

Ю. В. Ланских [a], С. И. Куимова [b]
заведующий кафедрой систем автоматизации и управления [a]
студентка группы ИТм-2301-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00223@vyatsu.ru [a], stud114127@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Методы обработки результатов эмоциональных реакций на внешние раздражители, полученных в результате сканирования электромагнитной нейронной активности, при помощи искусственных нейронных сетей являются современным направлением исследования, которое активно развивается. В настоящей работе на основе данных, полученных с помощью нейроинтерфейса «Muse 2», выявляются особенности пользователей, а также появляется возможность кластеризации полученных значений и формирования аппарата принятия решений на основе выявленных закономерностей. Описана предлагаемая методика решения поставленной задачи. Разработана архитектура информационной системы. Проведены сравнительные исследования нейросетей, использующих технологию «средний сдвиг» и иерархическую кластеризацию по Бирчу. Наши исследования показали, что учет всех требований оценки реакции мозга на маркированные внешние раздражители позволяет решать задачу с наилучшим уровнем качества.

Ключевые слова: нейронная активность, внешние раздражители, искусственная нейронная сеть, эмоциональные реакции, нейросетевая кластеризация.

Введение. Мозг человека регулярно подвергается большому количеству влияний. При этом осознается лишь небольшая их часть и еще меньшая из них оказывается в фокусе внимания. Предполагается, что за осознанное восприятие важных для субъекта раздражителей отвечает особый нервный механизм, осуществляющий интеграцию и координацию нейронной активности в различных участках подкорковых структур и коры больших полушарий. К тому же данный механизм не допускает до уровня сознания множество стимулов, которые могут вызывать, в свою очередь, только кратковременную активацию коры, являющихся в недостатке для их осознания [4].

На уровне с осознаваемыми психическими процессами существует значительная область бессознательных психических явлений, к примеру, таких как неосознаваемое восприятие. В ходе экспериментов было определено, что сведения о внешнем раздражителе, полученные по специфическим сенсорным путям, поступают в соответствующие проекционные зоны коры и перерабатыва-

ются там независимо от того, находится человек в сознании или без сознания. Наиболее важным считается то, что наличие ответа на стимул в проекционных зонах коры вовсе не означает, что человек осознает, какой именно стимул ему предъявили. Поэтому с целью осознания сигнала необходимо перерабатывать информацию в проекционных зонах коры, а также разработать специальный механизм, который будет обеспечивать дополнительные условия распознавания сигналов [2]. И такой механизм был создан на основе применения искусственных нейронных сетей. Чаще всего с проблемами, упомянутыми выше, встречаются в рамках маркетинга. Внедрение искусственного интеллекта на основе нейросетевых технологий в маркетинговые исследования подразумевает, что полученные данные станут основой обучения системы, предназначенной для формирования ещё более разумных, контекстных рекомендаций. Эти рекомендации, в свою очередь, дадут возможность сформировать потребительский опыт и корректировать его до малейших деталей. Таким образом, будет повышена ценность товара, марки или бренда, укреплены взаимосвязи с клиентами и ускорены темпы стратегического развития организации. Значение развития искусственного интеллекта в маркетинговой сфере, как и во многих других, в ближайшее время трудно переоценить [5].

Поэтому проблема данного исследования заключается в разработке нейросетевой кластеризации распределения электромагнитной нейронной активности, полученной за счет распознавания человеческих эмоций при демонстрации конкретных раздражителей.

Исходя из обозначенной проблемы, формируются следующие задачи:

• усовершенствовать теоретические основы исследования в части процедуры сбора, обработки и анализа полученной информации о пользователе;

• разработать оптимальный список признаков потребителей (перечень переменных), на основе которых будет реализовано обучение нейронной сети, выбрать модель нейронной сети;

• построить и обучить нейронную сеть, провести анализ полученных данных.

Методы исследования. Для распознавания реакции мозга стали применять специально запрограммированные искусственные нейронные сети, которые разработаны с возможностью считывать осознаваемое и неосознаваемое восприятие той или иной информации [1]. С целью кластеризации нейронной активности используют маркированные внешние раздражители, которые выполняют ряд функций: идентифицирующую, информационную, мотивационную и эмоциональную. Информационная функция считается наиболее значимой, так как за счет неё возможна первичная постановка результатов исследования. Идентифицирующая функция обеспечивает возможность наблюдения за объектом на всех этапах. И заключительные две функции взаимосвязаны, так как поясняющие тексты и использование общепринятых символов вызывают у пользователей позитивные эмоции и служат отличной мотивацией для принятия решения о выборе.

Одним из наиболее известных способов наделения машины искусственным интеллектом является машинное обучение. Методы машинного обучения подразделяются на два вида: обучение с учителем и обучение без учителя. Характерной чертой обучения с учителем является наличие в обучающей выборке ожидаемых ответов сети. Поэтому в ходе обучения сеть должна научиться давать такие ответы, которые будут максимально близкими к ожидаемым. При обучении без учителя на нейронную сеть подаются некоторые комбинации входных сигналов, которые, возможно, характеризуются определенными закономерностями. Цель обучения сети – формирование умения реагировать на эти закономерности некоторым образом.

Использование маркированных наборов данных для обучения нейросети получило название «обучение без учителя» [3].

Для проведения исследования был использован нейроинтерфейс «Muse2», который позволяет считывать сигналы с поверхности головы пользователя и передавать их в виде закодированных сигналов на компьютер в формате csv-файл. По результатам исследований других групп ученых в рассматриваемой области были выбраны нейронные сети из библиотеки Scikit-learn: кла-

стеризация среднего сдвига (Meanshift) и иерархическая кластеризация (Birch). С их помощью была осуществлена кластеризация данных, считанных с помощью нейроинтерфейса. Для удобства работы с нейросетевой кластеризацией была разработана информационная система с использованием фреймворков Angular – языка программирования typescript – и Flask – языка программирования python. Для хранения настроек нейронных сетей, а также хранения полученных данных из csv-файла использовалась нереляционная база данных.

Результаты исследований, и их обсуждение. На сегодняшний день существует множество методов исследования головного мозга – сканирования, которые могут детально показать «картину» работы этого органа. Сканирование головного мозга включает такие методы, как электроэнцефалография (ЭЭГ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), магниторезонансные изображения (МРИ), функциональные магниторезонансные изображения (фМРИ) и магнитная энцефалография (МЭГ) [4].

В результате произведенного анализа методов сканирования головного мозга и обучения нейронных сетей можно сделать вывод о том, что реализация поставленной задачи может быть осуществлена при помощи искусственных нейронных сетей.

Для обучения нейросети кластеризации необходимо выбрать данные, которые мы будем распределять по кластерам. В качестве таких данных используем информацию об эмоциях, полученных в ходе демонстрации конкретных раздражителей (картинок).

При помощи устройства, считывающего электромагнитную нейронную активность испытуемого, данные передаются на компьютер в виде датасета, который состоит из столбцов и строк в формате CSV (рис. 1). Кластеризация будет проведена для раздражителей, представленных в виде основных эмоций, которые проявляются у испытуемого при демонстрации стимулятора (картинки). Показатели представлены в виде числовых значений для каждого из раздражителей.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	timeStam	timeGaze	anger	fear	sadness	happiness	meditatio	attention	alpha1	alpha2	beta1	beta2	gamma1	gamma2
2	1101,12	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
3	1101,154	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
4	1101,154	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
5	1101,199	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
6	1101,285	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
7	1101,285	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
8	1101,37	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
9	1101,403	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
10	1101,403	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
11	1101,45	0,329794	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
12	1101,528	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
13	1101,528	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
14	1101,575	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
15	1101,622	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
16	1101,655	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
17	1101,7	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
18	1101,78	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
19	1101,78	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
20	1101,825	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
21	1101,872	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
22	1101,905	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931
23	1101,95	0,499694	10	10	50	60	63	70	17139	5701	7103	29839	15683	50931

Рис. 1. Датасет для нейросетевой кластеризации

Таким образом, в результате нейросетевой кластеризации мы получаем определенный набор кластеров, содержащих показатели, с помощью которых можно определить конкретного раздражителя.

В рамках исследования была разработана специальная информационная система, проводящая обучение по датасетам. В ней был разработан web-интерфейс, который состоит из серверной и клиентской частей. Все настройки и данные, загруженные из csv-файлов, записываются в нереляционную базу данных. Реализация клиентской части осуществлена на основе фреймворка Angular 11, язык программирования typescript. Серверная часть основана на микрофреймворке Flask, язык программирования python. В качестве нереляционной базы данных была использована Neo4j. Информационная система состоит из трех блоков: блока для загрузки данных, блока для выбора и обучения нейронных сетей, блока для определения класса. Со стороны клиентской части идет взаимодействие с библиотеками нейронных сетей Scikit-learn. Структурная схема информационной системы представлена на рис. 2.

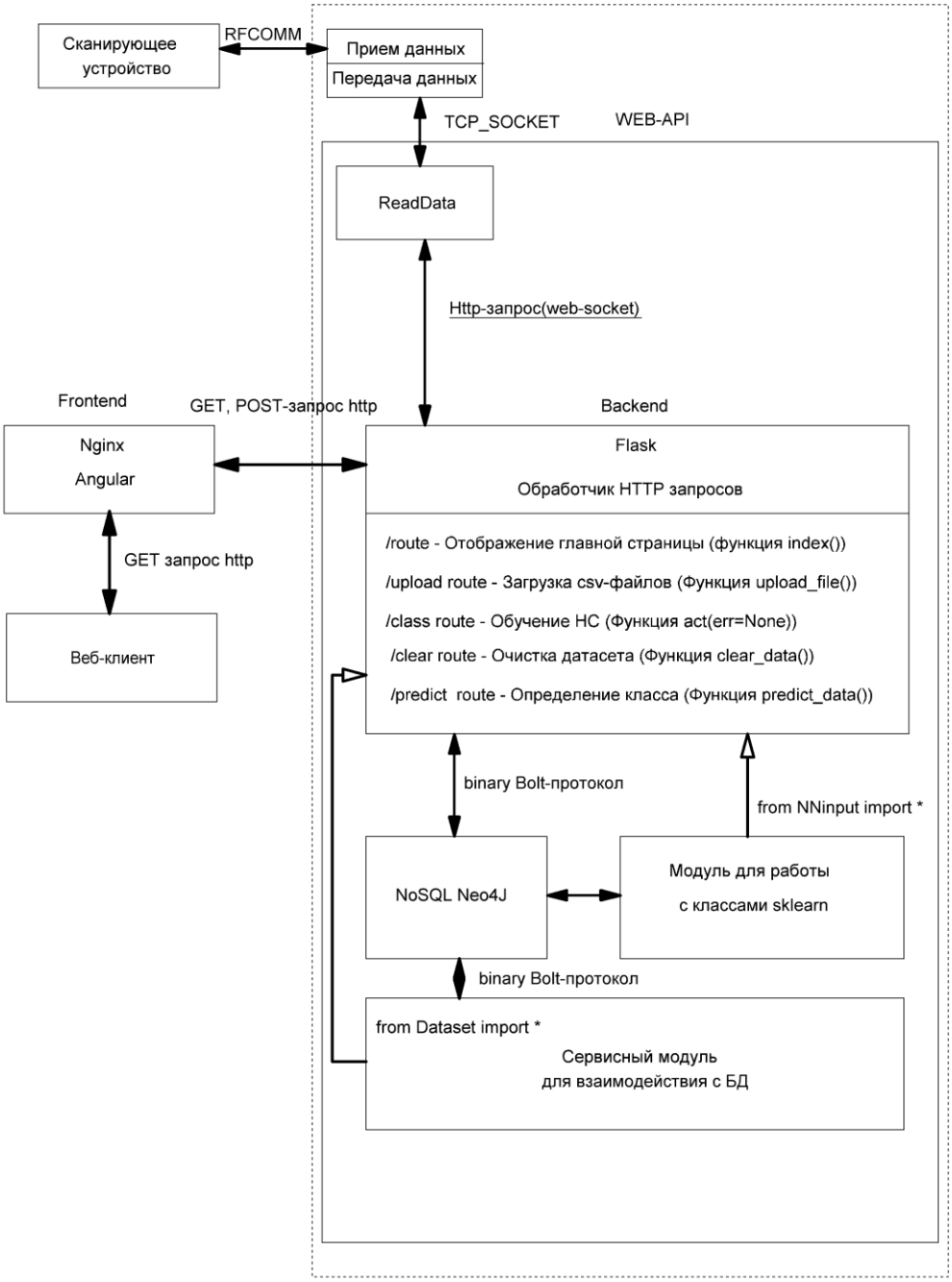


Рис. 2. Структурная схема информационной системы нейросетевой кластеризации

В результате исследования была считана электромагнитная нейронная активность нескольких испытуемых и записана в csv-файлы. На основе этой информации были обучены и протестированы нейронные сети, реализующие кластеризацию данных, Meanshift и BIRCH. Далее для полученного датасета было проведено исследование по правильности определения количества классов и затраченному на работу времени. Результаты исследования представлены в таблице.

Результаты исследования для разных групп данных

Метод кластеризации	46 файлов из ДС	Половина ДС	Полный ДС
Средний сдвиг	Количество кластеров – 316. Время обучения – 45,5014	Количество кластеров – 1015. Время обучения – 153,5927	Количество кластеров – 1364. Время обучения – 217,4801
Иерархическая кластеризация	Количество кластеров – 316. Время обучения – 2,9931	Количество кластеров – 1015. Время обучения – 11,3352	Количество кластеров – 1364. Время обучения – 17,5882

Выводы. За счет использования разработанной информационной системы можно реализовывать нейросетевую кластеризацию электромагнитной нейронной активности, полученной в результате эмоциональной реакции на маркированные внешние раздражители. В результате сканирования головного мозга, образуется набор данных – датасет, в котором закодированы промаркированные сигналы, снятые с участков головного мозга. На основе этих данных возможно проведение нейросетевой кластеризации. Были использованы два метода кластеризации. Результаты их применения идентичны, при этом метод иерархической кластеризации дает существенный выигрыш во времени обучения. Предметом дальнейших исследований должна стать точность кластеризации, которую обеспечивает каждый из использованных методов, а также содержательный анализ моделей получаемых кластеров. В практическом плане перспективной представляется такая модернизация разработанной информационной системы, чтобы определение классов происходило в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Барский А. Б. Нейронные сети. Распознавание, управление, принятие решений М. : Финансы и статистика, 2014. 176 с.

2. Костандов Э. А. Психофизиология сознания и бессознательного. СПб. : Питер, 2004. 167 с.

3. Ланских Ю. В., Фищев М. А. Бионические интеллектуальные информационные системы : учеб. пособие Киров : ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013. 173 с.

4. Человеческий мозг. URL: https://www.cognifit.com/ru/brain (дата обращения 29.01.2021).

5. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс / пер. с англ. 20-е изд. М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2016. 1104 с.

Исследование двухскоростного двигателя вентилятора

А. Б. Леготин [a], Е. А. Попова [b]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
студентка группы ЭиЭб-4805-07-00 [b]
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00228@vyatsu.ru [a], stud097512@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Одной из задач, решаемых на АО «Лепсе», является разработка двухскоростного двигателя вентилятора с короткозамкнутым ротором мощностью 5,5 кВт при синхронной частоте вращения 3000 об/мин. Цель статьи – расчет двигателя вентилятора, разработка конструктивных особенностей такого двигателя. Исследуются также характеристики двигателя при различных частотах вращения.

При расчете геометрических размеров двигателя использовался закон полного тока для магнитной цепи. Расчет параметров двигателя, рабочих и пусковых характеристик осуществлялся исходя из схем замещения фаз обмоток приведенной машины.

В результате расчета исследуемого двигателя получены следующие энергетические показатели:

при синхронной частоте вращения n_c =3000 об/мин коэффициент мощности cosφ =0,929, коэффициент полезного действия η =79,3 %;

при синхронной частоте вращения n_c =1500 об/мин и мощности P_2 =2,7 кВт коэффициент мощности cos$\varphi = 0{,}853$, коэффициент полезного действия η =73,5 %.

При синхронной частоте вращения 1500 об/мин энергетические показатели получаются хуже, поскольку основной режим работы двигателя рассчитан на синхронную частоту 3000 об/мин. Таким образом рекомендуется принять к изготовлению двигатель с данными, рассчитанными на синхронную частоту 3000 об/мин.

Разработанный двигатель рекомендуется к изготовлению на заводе АО «Лепсе».

Ключевые слова: двигатель, вентилятор, рабочие характеристики.

Введение. Объект исследования – двухскоростной асинхронный двигатель вентилятора мощностью $P_2 = 5{,}5$ кВт, напряжением $U_{1ном} = 220$ В, с синхронной частотой вращения $n_c = 3000$ об/мин. Возможна работа на синхронной частоте n_c =1500 об/мин.

Переход с одной частоты вращения на другую производится путем переключения схемы соединений обмотки статора.

Целью исследования является разработка двухскоростного асинхронного двигателя вентилятора с перспективой внедрения в производственный процесс изготовления.

Ведущий подход. Проведены расчеты индуктивных и активных сопротивлений фаз обмоток статора и ротора [1, с. 404]. Выполнен расчет индуктивного сопротивления взаимоиндукции, активного сопротивления, эквивалентно-

го потерям в стали [1, с. 410]. Магнитная цепь рассчитана по закону полного тока [1, с. 385]. Рассчитаны рабочие и пусковые характеристики [1, с. 418].

Результаты исследования. Рабочие характеристики при синхронной частоте $n_c = 3000$ об/мин и $n_c = 1500$ об/мин приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Расчет рабочих характеристик при $n_c = 3000$ об/мин

s	I_1, А	P_1, кВт	P_2, кВт	КПД	$cos\varphi$
0,005	2,583	513,236	260,829	0,508	0,301
0,01	2,809	872,762	608,162	0,697	0,471
0,015	3,119	1229,327	946,491	0,770	0,597
0,03	4,339	2280,059	1907,748	0,837	0,796
0,1034	11,327	6942,127	5502,945	0,793	0,929

Таблица 2

Расчет рабочих характеристик при $n_c = 1500$ об/мин

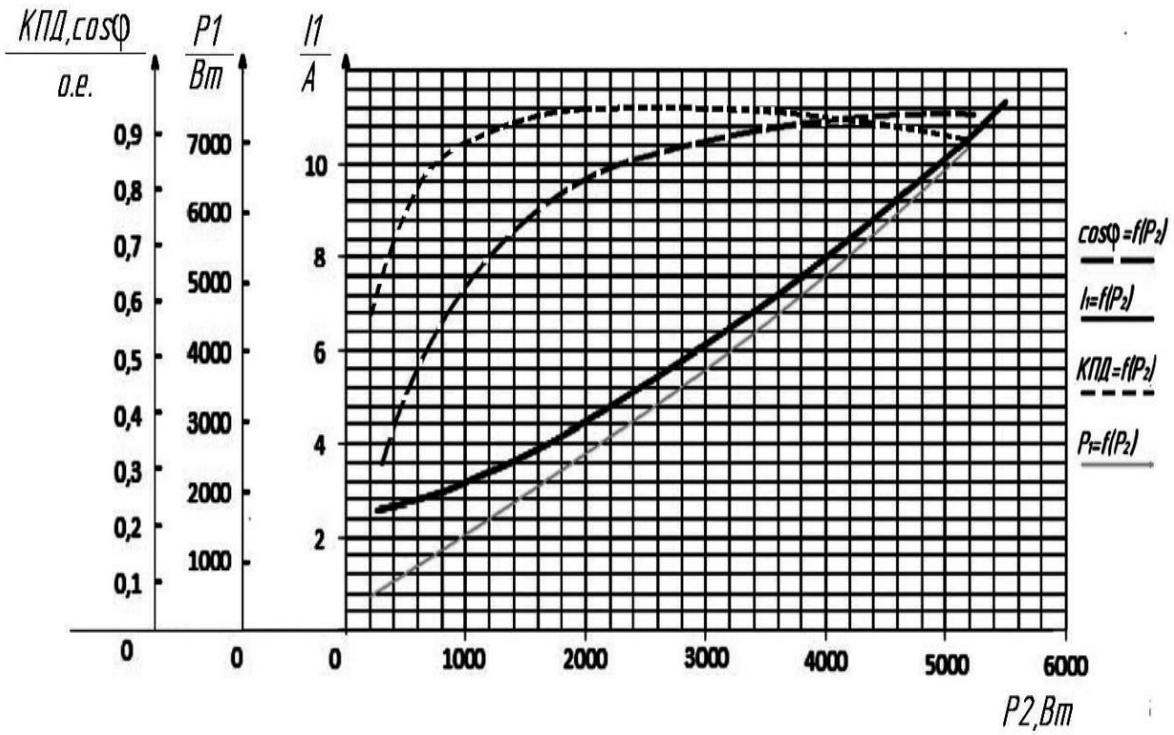
s	I_1, А	P_1, кВт	P_2, кВт	КПД	$cos\varphi$
0,005	2,100	371,546	170,199	0,458	0,268
0,01	2,212	570,105	359,445	0,630	0,391
0,015	2,362	765,848	541,731	0,707	0,491
0,03	2,962	1334,688	1047,094	0,785	0,683
0,105	6,567	3697,274	2718,977	0,735	0,853

Номинальная мощность при синхронной частоте вращения $n_c = 3000$ об/мин $P_{2ном} = 5{,}5$ кВт, номинальная мощность при синхронной частоте вращения $n_c = 1500$ об/мин $P_{2ном} = 2{,}7$ кВт. Пусковые токи и моменты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет пусковых токов и моментов

n_c = 3000 об/мин		n_c = 1500 об/мин	
$I_п$, А	50,357	$I_п$, А	21,11
$M_п$, Н · м	43,86	$M_п$, Н · м	24,77



Рабочие характеристики при синхронной частоте вращения $n_c = 3000$ об/мин

Основные размеры разработанного двигателя: внутренний диаметр статора D = 0,106 м, длина пакета статора (ротора) l_δ = 0,114 м. Число витков в фазе обмотки статора $W_1 = 120$ при $n_c = 3000$ об/мин, число пазов статора $Z_1 = 24$, число пазов ротора $Z_2 = 33$. Диаметры неизолированного и изолированного проводов d/d' = 1,12/1,2 мм. При $n_c = 3000$ об/мин активные сопротивления фазы обмотки статора и сопротивление обмотки ротора приведенное, соответственно, r_1 =1,38 Ом и $r_2' = 1{,}898$ Ом; индуктивные сопротивления обмотки статора и сопротивление обмотки ротора приведенное, соответственно, $X_1 = 2{,}13$ Ом и $X_2' = 1{,}27$ Ом. Номинальная частота вращения n = 2690 об/мин.

Число витков в фазе обмотки статора при $n_c = 1500$ об/мин $W_1 = 240$, активные сопротивления фазы обмотки статора и сопротивление обмотки ротора приведенное, соответственно, r_1 =3,72 Ом и $r_2' = 3{,}194$ Ом; индуктивные сопротивления обмотки статора и сопротивление обмотки ротора приведенное, соответственно, $X_1 = 5{,}877$ Ом и $X_2' = 3{,}478$ Ом. Номинальная частота вращения n = 1345 об/мин.

Кратность пускового тока и пускового момента при n_c = 3000 об/мин, соответственно, $I_{\text{п}}^* = 4{,}732$, $M_{\text{п}}^*$ = 2,246. Кратность пускового тока и пускового момента при n_c = 1500 об/мин $I_{\text{п}}^* = 3{,}512$, $M_{\text{п}}^*$ = 1,294.

Выводы. Разработанный двигатель может быть рекомендован к изготовлению на АО «Лепсе».

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин : учеб. для вузов / под ред. И. П. Копылова. М. : Юрайт, 2011. 767 с.

Система подстройки к геофизическим условиям радиолокационной станции загоризонтного обнаружения

С. В. Литвинов
заведующий лабораторией, ведущий инженер
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация [a]
Институт прикладной геофизики, Москва, Российская Федерация
E-mail: litvinov_s@mirea.ru

Аннотация. В статье поднимается вопрос подстройки радиолокационных станций загоризонтного обнаружения к условиям распространения радиоволн. Непрерывно изменяющаяся ионосфера вносит нестабильность в работу таких РЛС. Применяемые в настоящее время методы оценки параметров ионосферы приводят к значительным ошибкам определения параметров целей, в то время как целевое создание системы подстройки к геофизическим условиям позволит значительно повысить точность работы ионосферных радаров. Суть такой системы – в комплексной непрерывной оценке параметров среды распространения за счет возвратно-наклонного зондирования, а также использования данных ионозондов вертикального и наклонного зондирования ионосферы. Проведенные при непосредственном участии автора масштабные эксперименты по наклонному зондированию ионосферы дают основание предположить, что создание такой системы вполне реально и не потребует существенных ресурсов.

Ключевые слова: загоризонтное обнаружение, ионосфера, распространение радиоволн, геофизические условия, наклонное зондирование.

Введение. Функционирование радиолокационных станций загоризонтного обнаружения является одним из самых востребованных видов использования эффекта отражения радиоволн КВ-диапазона от ионосферы. Основным предназначением таких РЛС является обнаружение воздушных целей в конструктивной зоне обзора. Вместе с тем для корректной работы таких РЛС необходим грамотный выбор рабочей частоты, основанный на занятости частотного диапазона и текущем состоянии ионосферы. Несмотря на многолетние исследования этого вопроса, в настоящее время нет единого подхода к решению проблемы адаптации к геофизическим условиям [3]. Разработчики загоризонтных радиолокаторов прилагают значительные усилия для создания системы, позволяющей получить данные о загруженности частотного диапазона и оптимальным образом согласовать параметры РЛС с параметрами среды распространения.

Разработка такой системы служит достижению двух различных целей. Во-первых, необходимо получение в реальном времени данных для обеспечения рекомендаций по выбору рабочей частоты радиолокатора. При этом следует уделить внимание автоматизации этого процесса, который не потребует по-

стоянного вмешательства и специальных навыков оператора. Во-вторых, система должна регулярно собирать и обрабатывать весь спектр ионосферных данных с целью накопления базы данных о среде распространения, необходимой для коррекции глобальной и региональной моделей ионосферы.

Цель настоящей статьи заключается в описании предлагаемой системы подстройки под геофизические условия РЛС ЗГО, демонстрации полученных экспериментальных данных наклонного зондирования ионосферы и выдвижении предложений по реализации такой системы.

Система подстройки к геофизическим условиям (СПГУ)

Система подстройки параметров РЛС ЗГО под геофизические условия (ГФУ) предназначена для диагностики и краткосрочного прогнозирования геофизических и радиофизических условий на трассах радиозондирования, формирования данных, используемых для оптимального (наилучшего) выбора основных технических параметров трактов излучения зондирующих сигналов, приема и обработки радиолокационных сигналов.

Принято считать, что стандартная конструктивная зона обзора радиолокатора загоризонтного обнаружения составляет от 1000 до 3000 км по земле и 60° по азимуту. При этом в каждый конкретный момент времени радиолокатор отслеживает отдельный участок этой зоны, называемой зоной оперативного контроля (ЗОК). Следовательно, и система подстройки должна выполнять свои задачи в рамках этой ЗОК. Исходя из этого, определяется область ионосферы, от которой происходит отражение зондирующих сигналов РЛС в конструктивную зону обзора: размер по азимуту 60 градусов, дальность – от 400 до 1550 км.

С учетом размеров и направления ЗОК имеет место большие вариации оптимальных рабочих частот (ОРЧ), параметров траекторий радиолокационных волновых пакетов от крутых (малые дальности) до пологих (большие дальности) при возможном нарушении симметричности скачковых траекторий. Выполнение требований к радиолокатору в части точностных характеристик измерения координат и параметров движущейся цели означает малую допустимую погрешность в определении параметров траекторий волновых пакетов. Равномерность освещения ионосферной области формирования скачковых траекто-

рий зависит от направления сектора обзора, от сезона, от времени суток, что приводит к пространственно-временным вариациям ГФУ на трассах локации. Эти вариации могут приводить к различным характеристикам обнаружения и сопровождения воздушных целей на радиолокационных трассах, принадлежащих различным азимутальным направлениям.

Периодичность обновления результатов работы системы – 15 минут в спокойных геофизических условиях и 5 минут в нестационарных условиях и в переходное время суток. Среднее квадратическое отклонение (СКО) прогнозируемой азимутальной девиации не превышает одного градуса, а СКО коэффициента пересчета групповой дальности по лучу к дальности по Земле не превышает 15 км.

СПГУ состоит из ряда различных измерительных подсистем и аппаратно-программных комплексов, объединенных с вычислительной системой РЛС ЗГО (рис. 1). Измерительная система состоит из приемника панорамного обзора, системы возвратно-наклонного зондирования, системы ионосферного обеспечения (ионозонды вертикального и наклонного зондирования).

Как уже рассматривалось ранее, «в целях соблюдения электромагнитной совместимости во многих радиосистемах применяется система поиска рабочих каналов. Задача такой системы – проверить необходимый диапазон частот на наличие сигналов других источников, которым излучение РЛС может создать помеху или которые сами могут служить помехой для станции. В зависимости от текущей необходимости это может быть проверка во всем доступном диапазоне рабочих частот или на небольшом диапазоне, выбранном для работы в конкретный момент времени» [4].

Наиболее эффективным методом для оценки условий распространения как функции дальности, азимута и рабочей частоты считается возвратно-наклонное зондирование (ВНЗ). Конструктивно этот режим может быть реализован отдельной станцией, входящей в состав основной РЛС, со своим возбудителем и отдельными приемными устройствами, также ВНЗ может осуществляться самой РЛС. Использование ВНЗ дает возможность улучшить точность определения координат цели. Кроме того, экономит финансовые затра-

ты – нет необходимости в дополнительных станциях. Однако такой метод лишь немного улучшает точность работы РЛС.

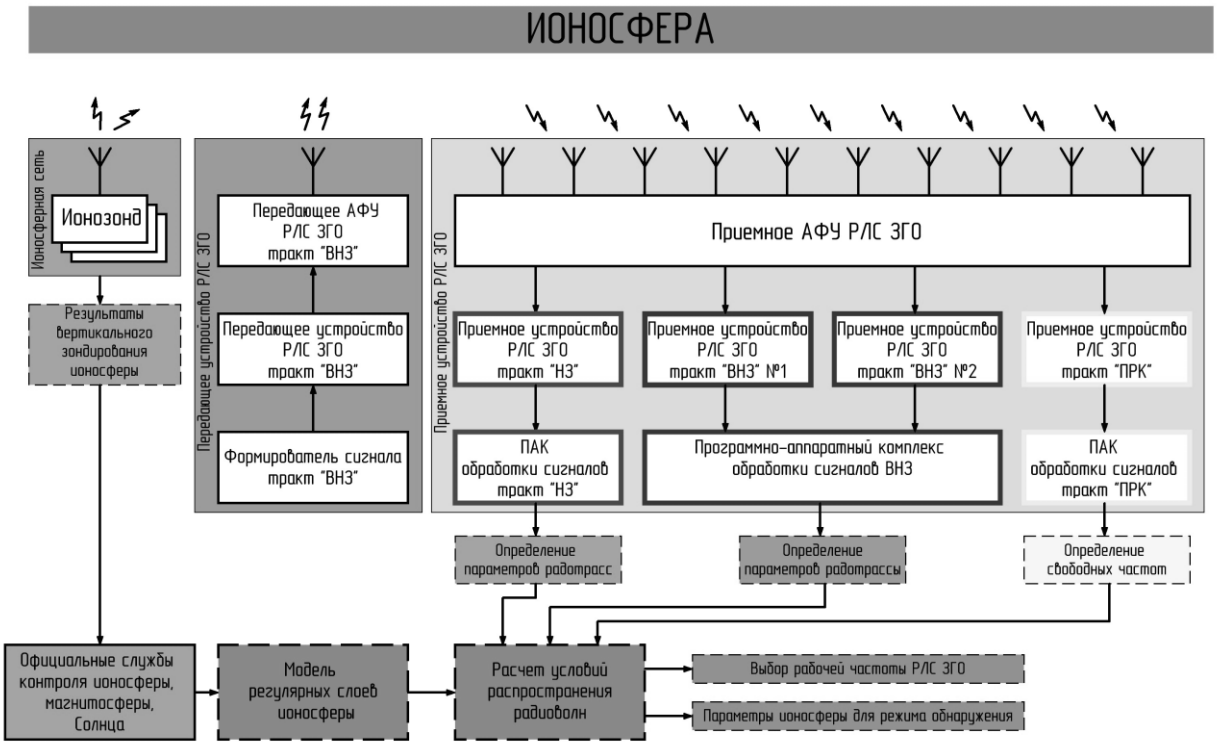


Рис. 1. Система подстройки к геофизическим условиям

Применение ВНЗ считается достаточно эффективным методом для оценки условий распространения радиоволн на трассах зондирования, однако весьма проблематично интерпретировать структуру ионосферных мод только на основании результатов ВНЗ. Даже при наличии единственной моды ионограмма обратного рассеяния не в состоянии быть средством определения эффективной высоты отражающего слоя, так как необходимо преобразовать групповую дальность в дальность по земле.

По мнению автора, целесообразно в секторе обзора РЛС ЗГО размещать вынесенные позиции, оснащенные ионозондами вертикального и наклонного зондирования. Данные, полученные с таких станций, позволяют определить состояние ионосферы в режиме реального времени, скорректировать региональную модель ионосферы и выдать рекомендации по выбору рабочей частоты РЛС. Примером реализации такой системы вынесенных позиций является австралийская система загоризонтного обнаружения JORN. В ее составе три

базовые РЛС «Jindalee», 12 вертикально-наклонных ионозондов и 7 приемоответчиков [2].

Как уже отмечалось ранее, «в оптимальной системе ионосферного обеспечения РЛС ЗГО с зоной обзора по азимуту 60° минимально-достаточно четырех вертикально-наклонных ионозонда. Анализ показал, что ионосферу в средних и низких широтах можно считать относительно неизменной на расстоянии примерно 500 км, т. н. зона ответственности ионозонда. Четыре вертикальных ионозонда, размещенные по углам зоны отражения, будут самыми информативными источниками, по актуальным данным которых корректируется региональная модель ионосферы. Наклонное зондирование между ионозондами дополнит достаточно достоверными данными о зонах между ними, а зондирование по трассе ионозонд-РЛС, хоть и не несет отдельной полезной информации, также может быть использовано для корректировки модели» [5].

Результаты экспериментов по наклонному зондированию ионосферы

Изучением и исследованием ионосферы Земли в нашей стране занимаются достаточно много организаций, существенные достижения наблюдаются в работе ААНИИ и ФГБУ «ИПГ», обладающие ионосферными сетями. Собственные единичные ионозонды разработаны в ОАО «НПК «НИИДАР», ООО «НПП «Технос-РМ», ООО «Томион», ООО «Ситком» и др. Развернутая на побережье Северного Ледовитого океана сеть ЛЧМ-ионозондов Института Арктики и Антарктиды регулярно проводит вертикальное и наклонное зондирование ионосферы. Ионосферная сеть Росгидромета (ФГБУ «ИПГ») развернута по всей стране и представлена отечественными ионозондами «Парус-А», которые изначально предназначались лишь для вертикального зондирования. Проведенная при непосредственном участии автора модернизация этих ионозондов позволила синхронизировать работу разнесенных станций и проводить наклонное зондирование. В результате с 2017 года на нерегулярной основе на ионозондах сети проводятся экспериментальные работы по т. н. комплексному зондированию ионосферы – совмещение вертикального и наклонного. Результаты эксперимента представлены в ряде публикаций, здесь целесообразно привести краткие выводы [6].

Поскольку в эксперименте задействованы сетевые ионозонды, на опытные работы накладываются ограничения, заключающиеся в недопустимости выключения на длительное время ионозондов из штатной работы. Из этого следует, что пропуск сеанса невозможен – станция должна выйти в эфир, а следовательно, передатчик не отключается. В итоге получен совершенно уникальный результат, выраженный в том, что следы наклонного зондирования накладываются на следы вертикального отражения. Пример комплексного зондирования представлен на рис. 2.

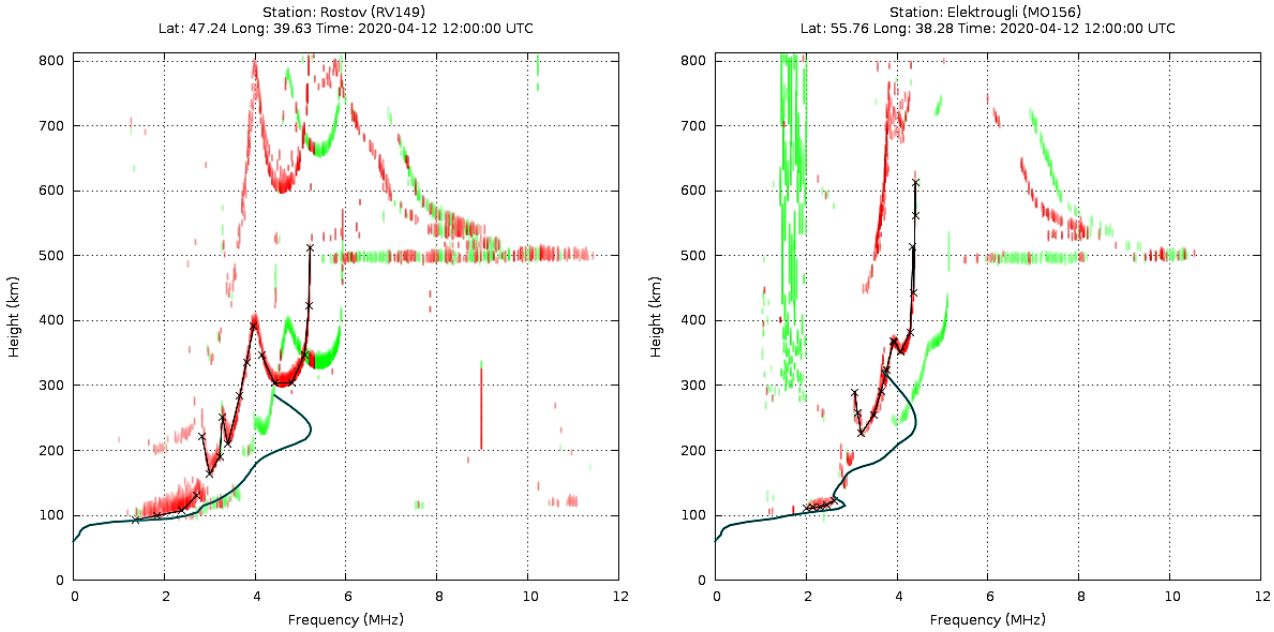


Рис. 2. Данные комплексного радиозондирования ионосферы, полученные ионозондами на ст. Ростов-на-Дону (слева) и ст. Электроугли 12 апреля 2020 г. 12.00 UTC

На рис. 2, кроме ионограммы вертикального зондирования, присутствуют следы, начинающиеся на частоте ~ 6 МГц и находящиеся на высоте 500 км. Это результаты приема сигнала другого ионозонда, а именно: приёмник ионозонда «Парус-А», расположенного в Ростове-на-Дону, регистрирует следы передатчика «Парус-А», расположенного на полевой базе ФГБУ «ИПГ» близ города Электроугли, и наоборот. Расстояние между ионозондами – 939 км. Высота 500 км обусловливается тем, что ионозонд измеряет не высоту напрямую, а задержку прихода сигнала. С учетом угла отражения сигнала от ионосферы (от 140° до 160º) получается реальное расстояние между ионозондами.

Эксперимент подтвердил возможность наклонного зондирования ионосферы на трассах до 2000 км одновременно с вертикальным зондированием на ионозонде «Парус-А». Кроме того, суточный прогон ионозондов в режиме комплексного зондирования показал, что такой режим не является помехой для отделения следов вертикального зондирования от наклонного.

Выводы. По-прежнему важной задачей является изучение ионосферы и определение параметров для практического использования, в т. ч. в интересах загоризонтного обнаружения. Предложенная система подстройки под геофизические условия позволит увеличить точность работы РЛС ЗГО, во-первых, за счет более грамотного выбора рабочей частоты, во-вторых, за счет определения действующей высоты отражающего слоя ионосферы. Ключевой составляющей такой системы являются вынесенные позиции, оснащенные вертикально-наклонными ионозондами. Проведенные при непосредственном участии автора эксперименты показали, что отечественные импульсные ионозонды «Парус-А» способны выполнять такое зондирование. Существующая сеть ионозондов может служить источником данных ВЗ и сигналов НЗ для РЛС, однако это требует практического подтверждения. Применение предложенной СПГУ позволит избавиться от статистической ошибки определения координат, практически сведя ее к нулю.

Библиографический список

1. Litvinov S. V. Over-the-horizon detection radar ionosphere support system // J. Phys.: Conf. Ser. 1632 012021. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1632/1/012021 (accessed 25.01.2021).

2. Summary of recent Australian radar developments / J. C. Wise // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2004. № 12. P. 8–10. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/1374061 (accessed 25.01.2021).

3. О перспективах использования некоторых современных достижений ионосферного радиозондирования при воссоздании ЗГ РЛС эшелона СПРН / А. О. Щирый // Радиолокация, навигация, связь : сб. тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.) : в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн «Созвездие». Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2019. С. 226–234.

4. Построение системы ионосферного обеспечения РЛС ЗГО для выбора рабочей частоты и увеличения точности определения координат цели / С. В. Литвинов // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн : материалы Всерос. открытой науч. конф. Муром : Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020. С. 307–316.

5. Развитие исследования ионосферы Земли методом комплексного зондирования / С. В. Литвинов // XVII Всероссийская молодежная науч.-техническая конференция «Радио-

локация и связь – перспективные технологии» (Москва, 5 декабря 2019 г.) : материалы конф. М. : Мир науки, 2019. С 34–39.

6. Результаты исследования ионосферы Земли методом наклонного зондирования / С. В. Литвинов, Д. С. Мудрик // Радиолокация, навигация, связь : сб. тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.) : в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн «Созвездие». Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2019. С. 134–144.

Оценка декоративности древесных растений в зеленых насаждениях города Сыктывкара

А. А. Макурина [a], Е. И. Паршина [b]
студентка группы АБ437 [a]
кандидат биологических наук, доцент кафедры
«Ландшафтная архитектура, строительство и землеустройство» [b]
Сыктывкарский лесной институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ), Сыктывкар, Российская Федерация [a, b]
E-mail: alexa.makurina.00@mail.ru [a], helen-parshina@yandex.ru [b]

Аннотация. Знание особенностей проявления декоративных свойств древесных растений в зависимости от региональных природных и формируемых градостроительных условий является важным при подборе ассортимента растений для озеленения. Для города Сыктывкара впервые проведены исследования, связанные с оценкой декоративности древесных растений, используемых в озеленении. На основе 10 критериев по балльной шкале была дана оценка декоративности 13 видов древесно-кустарниковых растений. Среди них наиболее высокую оценку (более 40 баллов) получили *Padus avium, Padus virginiana, Sorbus sibirica, Sorbus aucuparia.* В группу средней декоративности (21–30 баллов) попал один вид – *Populus balsamifera.* Результаты исследований расширяют данные о проявлении древесными растениями декоративных качеств в условиях города Сыктывкара и могут быть использованы для обоснования озеленительного ассортимента.

Ключевые слова: древесные растения, декоративность, Сыктывкар, шкала, оценка.

Введение. Стремительное развитие инфраструктуры городов все больше изменяет предметно-пространственную среду жизни человека, предопределяя тем самым социально-экономические и экологические проблемы. В условиях массовой застройки, пренебрегающей существующим окружением, происходит утрата установившейся архитектурно-пространственной структуры городской среды, уменьшение площади зеленых насаждений, ухудшение санитарно-гигиенических и изменение микроклиматических условий территории [3]. Все это, несомненно, приводит к снижению качества среды жизни современного человека и все больше отрывает его от естественной природной красоты.

В этой связи особую актуальность приобретает использование средовосстанавливающих методов, способных обеспечить комфортность условий проживания человека в городских условиях. К числу таких методов относится озеленение. Именно зеленые насаждения способны не только улучшить экологическую обстановку, но и повысить архитектурно-художественную выразительность городской среды, придать ей специфическую индивидуальность и непо-

вторимость. В данном контексте важным является использование декоративных качеств растений, которые определяются в первую очередь совокупностью внешних признаков. Знание особенностей их проявления в зависимости от региональных природных и формируемых градостроительных условий является важным аспектом в подборе видов для озеленения. Особую актуальность это приобретает для северных территорий, так как неблагоприятные природно-климатические условия оказывают целенаправленное влияние не только на рост и развитие древесных растений, но и на проявление их декоративных качеств. К настоящему времени работ, связанных с оценкой проявления декоративности древесных растений, в условиях города Сыктывкара не проводилось.

Цель исследования – провести оценку декоративности некоторых древесных растений, используемых в озеленении города Сыктывкара.

Методы исследования. Объектами исследований послужили древесные растения, произрастающие на территории МО ГО «Сыктывкар»: сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), черемуха виргинская (*Padus virginiana* (L.) Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза повислая (*B. pendula* Roth.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata* L.).

Оценку декоративности древесно-кустарниковых растений проводили по методике, описанной в работе Н. А. Бабич (2008) [2], по критериям с балльной оценкой от 0 до 5. В ходе исследований по каждому виду учитывали: архитектонику кроны, длительность и степень цветения, окраску и величину цветков, привлекательность внешнего вида плодов, длительность удержания плодов на ветвях, аромат цветков и плодов, цветовую гамму осенней окраски листьев, повреждённость растений и их зимостойкость. Комплексную оценку декоративности выражали общим баллом декоративности, при этом полученные значения

оценивали по шкале: 1–10 – очень низкая; 11–20 – низкая; 21–30 – средняя; 31–47 – высокая декоративность.

Результаты исследований, их обсуждение. Рост растений сопровождается последовательным изменением их морфоструктуры, при этом происходящие изменения затрагивают величину, форму, характер появления отдельных органов (например, генеративных органов), их окраску и пр. Эти изменения, несомненно, оказывают влияние на степень и характер проявления декоративных качеств древесных растений, под которыми мы понимаем совокупность морфологически выраженных признаков (особенностей, свойств) растений, вызывающих у человека эстетическое наслаждение и усиливающих художественное восприятие окружающего пространства. Важными декоративными качествами древесных растений являются их величина и форма кроны [4]. К формируемым декоративный облик растений также относятся величина, форма, окраска листьев, цветков, плодов и многое другое.

Максимальную декоративность древесные растения достигают в зрелом возрасте и в оптимальных для них условиях произрастания [7, с. 98]. При оценке декоративности необходимо учитывать сезонность проявления декоративных свойств. Так, если вечнозеленые хвойные растения в течение года обеспечивают стойкий декоративный эффект, то для лиственных растений характерна сезонная динамика декоративности, при этом практически у всех в разное время проявление одного-двух признаков является доминирующим (например, летом листья и цветки; осенью – плоды и яркая окраска листьев, а зимой – форма кроны, ствола). Обусловленные морфологическими признаками, декоративные качества растений находятся под непосредственным влиянием и природно-климатических факторов.

Город Сыктывкар расположен на северо-востоке европейской части России в подзоне средней тайги. Лето наступает в конце мая и продолжается около трех месяцев, средняя месячная температура июля – +16,7 °С. Зима продолжительная и умеренно-холодная, период с отрицательными температурами воздуха длится 160–180 дней, средняя температура января – 15,6 °С. Среднегодовая

температура воздуха составляет 0,4 °С, а число дней со средней суточной температурой воздуха выше нуля градусов – 187. В течение года выпадает 560 мм осадков, за вегетационный период – 350–450 мм [6]. Сумма эффективных температур (выше +5º) по средним многолетним данным составляет 1750–1900º, продолжительность вегетационного периода равна 145–150 дням [1]. Указанные природно-климатические особенности столицы Республики Коми в значительной мере определяют видовой состав и качество городских зеленых насаждений.

По имеющимся данным в практике озеленения Сыктывкара используется 103 вида и формы древесных растений, из которых 66 являются интродуцированными, при этом из общего числа выявленных таксонов наибольшее распространение в городских насаждениях получили лишь 20 видов древесных растений [5, с. 58]. Основная доля в посадках приходится на породы местной флоры: *Betula pubescens*, *B. pendula*, *Sorbus aucuparia*, *S. sibirica*, *Larix sibirica*, *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Tilia cordata* Mill., *Padus avium* Mill. Среди интродуцированных видов наибольшее применение в озеленении нашли *Syringa josikaea*, виды рода *Crataegus* [5, с. 58], *Populus balsamifera* L., *Caragana arborescens* Lam. и др.

За последнее время проводимые озеленительные работы все чаще носят неплановомерный, стихийный характер, осуществляются без учета принципов садово-паркового и ландшафтного строительства, что, несомненно, находит отражение в состоянии и качестве зеленых насаждений столицы.

Результаты проведенной оценки декоративности древесных растений представлены в таблице. Среди исследуемых видов наиболее высокую оценку (более 40 баллов) получили *Padus avium, Padus virginiana, Sorbus sibirica, Sorbus aucuparia.*

К видам, проявившим высокую степень декоративности (31–40 баллов), следует отнести также *Tilia cordata, Malus baccata, Betula pubescens, Betula pendula, Pinus sibirica, Larix sibirica.*

В группу средней декоративности (21–30 баллов) попал один вид – *Populus balsamifera.*

Оценка декоративности видов

Вид	Балльная оценка признаков										Сумма баллов
	архитектоника кроны	длительность цветения	обилие цветения	окраска и величина цветков	привлекательность внешнего вида плодов * и длительность удержания их на ветвях	аромат листьев, цветков и плодов	цветовая гамма осенней окраски листьев	продолжительность облиствения	повреждённость растений	зимостойкость видов	
Tilia cordata	3	4	4	4	3	3	3	2	4	4	34
Malus baccata	4	2	3	4	4	4	3	2	5	4	35
Padus avium	3	3	4	5	5	3	5	4	5	5	42
Padus virginiana	3	3	4,5	5	5	2	5	4	5	5	41,5
Sorbus sibirica	4	4	4	5	5	1	5	4	5	5	42
Sorbus aucuparia	4	4	4,5	5	5	1	5	4	5	5	42,5
Betula pubescens	4	4	4	2	2	0	5	4	5	5	35
Betula pendula	4	4	4	2	2	0	5	4	5	5	35
Populus balsamifera	4	2	2	2	1	0	4	3	4	4,5	26,5
Pinus sibirica	4	2	3,5	1	4	0	4	5	5	4	32,5
Larix sibirica	4	3	4	2	3	0	5	3	4	5	33
Acer platanoides	3	4	3	3	4	2	5	2	3	3	32
Hydrangea paniculata	3	4	4	5	1	1	3	2	4,5	3,5	31

**Примечание: для Pinus sibirica и Larix sibirica проводилась оценка по шишкам.*

Выводы. Зеленые насаждения являются важным элементом, способствующим формированию комфортных в санитарно-гигиеническом, экологическом отношении условий жизни человека. Кроме того, использование древесных растений способно повысить архитектурно-художественную выразительность городской среды.

Проведенные нами исследования позволили определить степень декоративности 13 видов древесных растений, используемых в озеленении города Сыктывкара. При этом все виды, за исключением *Populus balsamifera,* имеют высокую степень декоративности.

Для объективной оценки декоративных качеств древесно-кустарниковых растений в условиях короткого вегетационного и относительно длинного зимнего периода важное значение имеет выделение основных (ведущих) критериев, обусловливающих высокую декоративность растений, особенно в осенне-зимний период. Кроме того, в оценке необходимо учитывать и экологиче-

ские особенности растений, и их адаптивные возможности применительно к местным условиям. Это диктует необходимость использования в дальнейших исследованиях интегральных методов, учитывающих как биолого-экологические особенности растений, так и степень и характер проявления их декоративных качеств в зависимости от природно-климатических условий в течение всего года.

Библиографический список

1. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / отв. ред. А. И. Таскаев. М. : Дрофа. Дизайн. Информация. Картография, 1997. 113 с.

2. Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г.И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов : монография. Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. 144 с.

3. Ильченко И. А. Система зеленых насаждений города как средообразующий фактор городского микроклимата // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2014. № 1 (19). С. 37–42.

4. Колесников А. И. Декоративная дендрология. 2-е изд., испр. и доп. М. : Лесная пром-сть, 1974. 704 с.

5. Мартынов Л. Г., Скупченко Л. А., Вокуева А. В. Проблемы озеленения города Сыктывкара в Республике Коми // Вестник ИРГСХА. 2011. Вып. 44. Ч. 5. С. 55–63.

6. Официальный сайт администрации муниципального образования городского округа «Сыктывкар». URL: https://сыктывкар.рф. (дата обращения 25.01.2021).

7. Япрынцева Г. А., Чайка Е. С., Иванова О. А. Оценка декоративности аборигенных видов древесно-кустарниковой растительности в городских условиях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 219. С. 96–103.

Проблема обеспечения безопасной эвакуации из многоэтажных зданий и сооружений людей, относящихся к маломобильной группе населения

И. Ю. Насолдина
аспирант, старший преподаватель кафедры инженерной графики
Уральский архитектурно-художественный университет, Екатеринбург, Российская Федерация
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Российская Федерация
E-mail: Loony_89@mail.ru

Аннотация. Обеспечение безопасной, эффективной и своевременной эвакуации людей из зданий является приоритетной задачей при возникновении чрезвычайных ситуаций. Больше всего затруднений испытывают самые уязвимые члены общества, которые относятся к маломобильной группе населения.

Цель исследования – выявить и обосновать универсальный метод проектирования многоэтажных зданий и сооружений, обеспечивающий безопасную эвакуацию во время чрезвычайных ситуаций из многоэтажных жилых и общественных зданий.

В исследовании использовались методы анализа и синтеза для выявления недостатков в существующих нормах проектирования зданий и сооружений в соответствии с требованиями для маломобильной группы населения. Сравнивается эффективность существующих средств спасения из зданий людей, относящихся к разным группам мобильности (М1, М2, М3, М4).

В результате проведённых исследований формируется метод проектирования зданий, обеспечивающий безопасную эвакуацию людей, особенно тех, чья мобильность снижена.

Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы для разработки методики проектирования и реконструкции многоэтажных зданий и сооружений, обеспечивающей эффективную эвакуацию маломобильной группы населения.

Ключевые слова: маломобильная группа населения, эвакуация, спасательные средства, адаптивная архитектура.

Введение. Объектом данного исследования являются многоэтажные здания и сооружения. В качестве предмета исследования выбраны закономерности организации процесса эвакуации маломобильной группы населения из многоэтажных зданий и сооружений.

За последние сто лет население в городских районах России увеличилось больше чем в четыре раза, с 17,5 % до 74,2 % [1]. Вместе с увеличением городского населения растёт и потребность в строительстве новых зданий/сооружений для проживания, работы, отдыха и пр. Традиционно новое жилые и общественно-социальные здания и сооружения сопровождались «расползанием» городской территории вширь (горизонтальная урбанизация), при освоении новых земель вырубались леса, засыпались болота и пр. Но современные экологические (охрана окружающей среды) и экономические (высокая стоимость земли) требования ставят перед проектировщиками новые задачи,

например: рационально использовать территорию; сократить протяжённость инженерных сетей/коммуникаций и т. д. Поэтому при проектировании жилых и общественных зданий чаще применяют строительство не вширь, а ввысь – вертикальная урбанизация (многоэтажные здания). Подобный подход позволяет построить больше полезного пространства на меньшей территории.

Однако в случае возникновения чрезвычайной ситуации (далее – ЧС) эвакуация людей из многоэтажных зданий и сооружений затрудняется. Это связано как со сложностью использования спасательного оборудования на большой высоте (нельзя использовать выше определённого уровня), так и с быстрым блокированием путей эвакуации продуктами горения в случае возникновения пожара (возникает разница внешнего и внутреннего давления, поэтому распространение огня и дыма происходит намного быстрее).

Наименее защищенными в случае ЧС являются люди, относящиеся к маломобильной группе населения (далее – МГН), – люди испытывающие затруднения в самостоятельном перемещении, в получении информации и услуг и ориентации в пространстве [2]. К данной категории относятся не только люди с ограниченными возможностями здоровья (далее – ЛОВЗ), но и беременные женщины, родители с детскими колясками, школьники, пожилые люди (60 лет и старше), а также люди временно не трудоспособные из-за незначительной травмы или болезни.

Актуальность исследования состоит в том, что каждого человека без исключения в определённый период жизни можно отнести к МГН, а при тенденции к вертикальной урбанизации в России вероятность того, что во время ЧС человек окажется в многоэтажном здании (квартира, офис и пр.), где проводит большую часть времени, довольно высока.

Практически во всём мире актуализировался вопрос о доступности зданий и сооружений, безопасности их эксплуатации для всех групп населения без необходимости переустройства и/или переоборудования после принятия резолюции 61/106 Генеральной Ассамблеи от 13 декабря 2006 года (Конвенция ООН о правах инвалидов) [3]. На основании изложенных в резолюции принци-

пов в Российской Федерации был разработан свод правил СП 59.13330.2012 и внесены изменения в Федеральный закон № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и Федеральный закон № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». В данных документах описываются необходимые средства и параметры для проектирования эвакуационных путей с учётом всех групп мобильности, методы эвакуации МГН и способы сохранения жизни до прибытия спасателей. Однако, несмотря на все внедряемые меры, эвакуация МГН из многоэтажных зданий остаётся затруднительной.

Проблема исследования заключается в сложности обеспечения быстрой и безопасной эвакуации из многоэтажных зданий и сооружений всех групп населения, включая тех, чья мобильность снижена, при использовании существующих методов спасения.

Цель исследования – выявление и обоснование универсального метода проектирования, обеспечивающего безопасную эвакуацию во время ЧС из многоэтажных жилых и общественных зданий. В соответствии с поставленной целью в статье решаются следующие задачи: анализ основных существующих сводов правил и норм проектирования жилых и общественных зданий с учётом требований для МГН; исследование методов/средств эвакуации из зданий и сооружений; формулирование концепции проектирования многоэтажных зданий и сооружений с учётом безопасной эвакуации МГН.

Ведущий подход. Данная статья основана на теоретическом исследовании безопасных путей эвакуации для людей, относящихся к МГН из зданий и сооружений во время ЧС, проведён сбор данных, и приведены алгоритмы их обработки. Исследование начинается с изучения нормативных документов, обеспечивающих доступность и безопасность зданий и сооружений для МГН, применяются методы анализа и синтеза. Далее рассматриваются существующие средства спасения (индивидуальные средства и коллективные) из зданий, применяется метод сравнения. В завершение применяется метод индукции, выявляется и описывается способ, обеспечивающий безопасную эвакуацию из зданий и сооружений.

Результаты исследований, их обсуждение. В соответствии с принципами Конвенции ООН о правах инвалидов в зданиях и сооружениях объёмно-планировочные решения и конструктивные исполнения путей эвакуации должны обеспечивать безопасную эвакуацию людей независимо от их возраста и физического состояния. Поэтому в ФЗ № 384 устанавливаются требования, обеспечивающие безопасную эвакуацию МГН, в том числе людей, которых необходимо переносить на носилках, и инвалидов-колясочников. Ширина дверных и незаполняемых проёмов в стенах на путях эвакуации, а также лестничных маршей, пандусов и поворотных площадок должна быть достаточной как для движения обычного людского потока, так и для перемещения людей с помощью специального оборудования (носилки, коляски и пр.), допустимые параметры приведены в СП 59.13330.2012. Однако в ФЗ № 384 не упоминается эвакуация людей с помощью пожарных лифтов. При этом в ФЗ № 123 и СП 59.13330.2012 предусмотрено использование пожарных лифтов для эвакуации МГН, но отсутствуют сами требования об обязательном внедрении в многоэтажные здания и сооружении данного оборудования, поэтому наличие пожарных лифтов является редкостью в РФ. Из-за этого отсутствуют и зоны безопасности (места, в которых МГН могут ждать прибытия спасателей), предусмотренные СП 59.13330.2012 в холлах пожарных лифтов.

Согласно частям 7 и 8 статьи 30 ФЗ № 384, проектные решения должны обеспечивать безопасность эвакуационных путей для всех людей, в том числе и относящихся к МГН. Лестничные клетки являются частью эвакуационных путей, совместное движение по которым чаще всего затруднительно для МГН, особенно ЛОВЗ с поражением опорно-двигательного аппарата (инвалиды-колясочники). В технических регламентах отсутствуют проектные требования, которые могли бы обеспечить беспрепятственную эвакуацию по лестничной клетке данной категории ЛОВЗ из многоэтажных жилых и общественных зданий. В СП 59.13330.2012 говорится об устройстве зон безопасности на путях эвакуации для того, чтобы люди, которые не могут продолжать дальнейшее движение по ним (инвалиды-колясочники, люди с тяжёлыми ранениями и пр.),

могли дождаться помощи. Так же как и с пожарными лифтами, в технических регламентах отсутствуют проектные требования для обязательного внедрения безопасных зон в многоэтажные здания, поэтому они остаются только рекомендацией и чаще всего применяются в специализированных учреждениях (больничные стационары, здания социальной защиты, дома-интернаты для ЛОВЗ и т. д.).

Процесс эвакуации может быть затруднен, если доступ к эвакуационным путям невозможен (из-за физического состояния человека, наличия преграды в связи с обрушением конструкции и пр.). В подобных ситуациях статьёй 47 ФЗ № 123 предусмотрено использование средств спасения. Требования в технических регламентах по обязательному обеспечению зданий средствами спасения отсутствуют, значит, наличие оборудования для спасения людей также является просто рекомендацией [2, 4, 5].

Как уже упоминалось, в случае блокирования эвакуационных путей эвакуация людей происходит через оконные проёмы с применением средств спасения, таких как канатно-спусковые устройства; пневматические прыжковые устройства (спасательные маты); спасательные рукава; спасательные траппы; навесные спасательные лестницы; пожарные автолестницы с оборудованием для эвакуации людей. Данные средства эффективно применяются для эвакуации людей, не имеющих серьёзных проблем со здоровьем и/или с физическим состоянием. Для того чтобы определить эффективность и безопасность средств спасения для МГН, необходимо соотнести их со степенью мобильности человека. В СП 59.13330.2012 МГН разделены на четыре группы мобильности: М1 – люди со сниженным слухом и не имеющие инвалидности (беременные женщины, люди старше 60 лет, дети до 7 лет и т. д.); М2 – люди, имеющие протезы, когнитивные расстройства, частично или полностью лишённые зрения, люди преклонного возраста; М3 – люди, которые вынуждены ходить с опорой (трость, костыли, ходунки) из-за проблем с опорно-двигательным аппаратом; М4 – люди, лишённые подвижности, вынужденные передвигаться на инвалидном кресле.

Степень эффективности и безопасности спасательных средств в зависимости от группы мобильности

Спасательные средства	Группы мобильности МГН			
	М1	М2	М3	М4
Канатно-спусковые устройства	Нуждаются в помощи при использовании	Нуждаются в помощи при использовании	Нуждаются в помощи при использовании	Нуждаются в помощи при использовании
Пневматические прыжковые устройства	Использование возможно без дополнительной помощи	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо
Спасательные рукава	Использование возможно без дополнительной помощи	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо
Спасательные траппы	Использование возможно без дополнительной помощи	Использование возможно без дополнительной помощи	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо
Навесные спасательные лестницы	Использование возможно без дополнительной помощи	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо	Использование неприемлемо
Пожарные автолестницы	Использование возможно без дополнительной помощи	Нуждаются в помощи при использовании	Нуждаются в помощи при использовании	Нуждаются в помощи при использовании

Исходя из данных, представленных в таблице, можно увидеть, что ни одно средство спасения не обеспечивает самостоятельную эвакуацию всем группам населения. Не всегда получается оперативно обеспечить помощь для использования средств спасения, а при ЧС, особенно пожарах, промедление может стоить человеку жизни. Также все рассматриваемые средства спасения являются «универсальными», они не учитывают изменения (физические, психологические и пр.), происходящие с человеком в течение жизни, это может подвергнуть его опасности во время эвакуации. Способы/методы эвакуации должны быть надёжными, простыми и доступными для любого человека независимо от степени его мобильности.

В качестве решения проблемы своевременной и безопасной эвакуации людей из многоэтажных зданий и сооружений автором предлагается «внедрить» спасательные системы в саму структуру здания, и это не должно быть от-

дельным оборудованием. Необходимо, чтобы эвакуационные системы стали частью объёмно-планировочного решения здания. Предлагаемый метод эвакуации основан на принципах адаптивной архитектуры, отдельные части здания должны подстраиваться (за счёт внедрения механизмов) под окружающие изменения в зависимости от степени опасности и/или угрозы жизни человека, при этом не нарушая общую целостность всей структуры. Внедрение механизмов во всю структуру здания не обязательно, достаточно создать адаптивные зоны безопасности в каждой квартире/офисе (возле оконных проёмов) и на путях эвакуации. С помощью трансформируемых систем определённая часть здания может стать безопасным местом, где человек будет дожидаться помощи или взаимодействовать с соседними зонами безопасности, создав новые пути эвакуации. Адаптация должна происходить как в автоматическом режиме, основываясь на уже внедрённых данных и сведений, получаемых от датчиков (дымовых, сейсмических и др.), так и при непосредственном участии человека (пользователя).

Применение адаптивной архитектуры в качестве метода эвакуации из многоэтажных жилых и общественных зданий при ЧС поможет создать универсальную и безопасную архитектурную среду, которая сможет приспосабливаться к изменениям, происходящим с человеком в течение жизни и окружающей среды.

Выводы. Анализ существующих сводов правил и норм проектирования, многоэтажных зданий и сооружений с учётом требований для МГН выявил, что в федеральных законах отсутствуют обязательные проектные требования для внедрения эвакуационных и спасательных средств/методов. Отсутствие обязательных требований позволяет застройщику не включать пожарные лифты, зоны безопасности и средства спасения в проекты многоэтажных зданий, подвергая опасности не только МГН, но и всех людей при возникновении ЧС.

Исследования существующих спасательных средств показали, что они подходят не для всех групп населения. Во время ЧС спасательные средства могут и вовсе отсутствовать, так как они являются отдельным специализированным оборудованием, которое необходимо доставлять на место происшествия.

По мнению автора, эвакуационные системы надо внедрять в саму структуру многоэтажных зданий и сооружений, используя принципы адаптации, создавая дополнительные пути эвакуации и/или зоны безопасности. Для того чтобы адаптивные методы обеспечения безопасной и комфортной эвакуации из зданий внедрялись во все проекты ещё на стадии разработки, необходимо их (методы) утвердить на законодательном уровне. Благодаря стремительному развитию техники и технологий внедрение адаптивной архитектуры не только возможно на данный момент, но и экономически выгодно, так как в ней применяются принципы «зелённой» архитектуры. Здания смогут сами производить энергию, а отдельные части в случае поломки износа или модернизации легко заменить, что значительно облегчает процесс реконструкции и увеличивает срок его эксплуатации.

Библиографический список

1. Население России. URL: https://countrymeters.info/ru/Russian_Federation (дата обращения 02.02.2021).

2. СП 59.13330.2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения : актуализир. ред. СНиП 35-01-2001 : с Изменениями № 1 : принят 01.01.2013 ; действ. с 26.10.2015. М., 2015. Режим доступа: норматив.-техн. система «Техэксперт».

3. Конвенция о правах инвалидов. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml (дата обращения 03.02.2021).

4. Федеральный закон № 384. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : с Изменениями № 1 : принят 23.12.2009 ; действ. с 25.12.2009. М., 2013. Режим доступа: норматив.-техн. система «Техэксперт».

5. Федеральный закон № 123. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : с Изменениями № 7 : принят 04.07.2008 ; действ. с 11.07.2008. М., 2018. Режим доступа: норматив.-техн. система «Техэксперт».

Модель объекта проектирования в рамках САПР виртуальных тренажеров

М. В. Нижегородова [a], И. С. Дождиков [b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления [a]
студент группы ИТм-1301-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr21801@vyatsu.ru [a], stud123724@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В настоящее время приобретает популярность использование виртуальных тренажеров в обучении. Наиболее целесообразно разрабатывать виртуальные тренажеры с помощью автоматизированных систем проектирования. Но существующие системы автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров имеют недостатки: автоматизация конкретной предметной области, недостаточная интерактивность виртуальных тренажеров, использование дорогостоящего оборудования. В связи с этим рассматривается задача построения системы автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров, универсальной с точки зрения предметных областей. В качестве ведущего подхода был выбран системный подход с опорой на методы анализа и абстрагирования. Разработаны структуры данных: модель, объект модели, переменная объекта, поведение объекта. Они основаны на выделенных в ходе анализа виртуального тренажера компонентах: составе объектов виртуального тренажера, данных объектов, логике работы объектов. Данные структуры задействованы в реализации системы автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров, разработанной авторами.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, виртуальные тренажеры, модель, объект модели, поведение объекта.

Введение. В настоящее время среди множества методов и подходов к обучению в связи с быстрым развитием информационных технологий перспективным является обучение с использованием виртуальных тренажеров [1].

В общем случае виртуальный тренажер представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить физические опыты на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом [2].

Естественно, данное понятие конкретизируется в зависимости от области использования виртуального тренажера.

Виртуальные тренажеры призваны быть эквивалентной заменой лабораторного оборудования, которое может быть достаточно дорогостоящим. При этом профессиональная разработка виртуального тренажера также может потребовать значительных затрат, поскольку потребует продолжительной работы ряда высококвалифицированных специалистов в нескольких областях и окупится только при его массовом распространении.

В связи с этим встает вопрос об упрощении и ускорении процесса разработки виртуальных тренажеров, снижении денежных затрат. В этом случае следует обращаться к системам автоматизированного проектирования (САПР) и подобным инструментальным средствам разработки виртуальных тренажеров.

Анализ найденных САПР виртуальных тренажеров [3–5] показал наличие у них недостатков: не универсальность в отношении предметных областей, недостаточная интерактивность виртуальных тренажеров, использование дорогостоящего оборудования.

Таким образом, стоит проблема реализации автоматизированной системы проектирования виртуальных тренажеров, которая позволяла бы реализовать более одной предметной области, использовала бы различные методы расширения интерактивности виртуального тренажера, поддерживала бы использование стандартных аппаратных средств для разработки и симуляции виртуального тренажера, имеющихся у среднестатистического пользователя: персонального компьютера или ноутбука с соответствующей периферией.

В данной статье в качестве цели исследования стоит решение проблемы универсальности САПР, которая заключается в том, что в рамках данной системы можно реализовать виртуальные тренажеры различных предметных областей.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

– определить ведущий подход исследования;

– определить аспекты автоматизации виртуального тренажера;

– разработать структуры данных для описания виртуального тренажера.

Ведущий подход. Практической основой разработки является объектно ориентированное проектирование, основанное на идее моделирования реального (виртуального) мира в объектах [6].

Также было принято решение использовать методы абстрагирования и анализа в дополнение к системному подходу, что позволит разработать базу для расширения возможностей САПР и создания виртуальных тренажеров различных предметных областей и выделить составные части в виртуальном тренажере.

Для исследования требуется с помощью анализа декомпозировать виртуальный тренажер на компоненты, реализацию которых можно автоматизиро-

вать, и представить компоненты в виде абстрактных структур данных, которые образуют систему, пригодную для дальнейшей конкретизации в виде различных расширений предметных областей.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе анализа виртуальных тренажеров было принято решение выделить следующие компоненты, или аспекты автоматизации: объекты виртуального тренажера, данные объектов, логику работы объектов. Эти аспекты автоматизации соответствуют следующим понятиям: «объект модели», «переменная объекта», «поведение объекта». Понятия будут раскрыты далее.

Для демонстрации взаимосвязей между понятиями разработана графическая схема (см. рисунок).

Схема взаимосвязей между понятиями

Связующим понятием для этих компонентов является понятие модели виртуального тренажера.

Модель виртуального тренажера (модель) – это совокупность связанных тем или иным способом объектов модели, имеющих список привязанных переменных объектов, ориентированных на взаимодействие с объектами модели и

пользователем через задаваемое с помощью визуального языка программирования поведение, предназначенная для моделирования процесса, явления или объекта конкретной предметной области.

Представление модели виртуального тренажера как системы взаимосвязанных объектов позволяет легко реализовать эти объекты в виде соответствующих программных сущностей на объектно ориентированном языке программирования.

Объект модели (объект) – это семантически и программно обособленная единица модели, несущая в себе часть информации в форме переменных объекта и часть логики работы модели в форме поведения объекта.

С точки зрения работы с данными в ходе процесса симуляции виртуального тренажера объект можно рассматривать как кортеж:

$$MO = <I, O, H, B>, \quad (1)$$

где I – «вход», хранящий входные переменные, которые позволяют пересылать информацию от других объектов к данному;

H – «голова», хранящая переменные общего назначения, которые используются в ходе обработки данного объекта, и связывающая тело, вход и выход объекта;

O – «выход», хранящий выходные переменные, предназначенные для передачи информации от данного объекта другим объектам;

B – «тело», содержащее методы по обработке переменных объекта, которые может использовать пользователь при формировании поведения объекта.

Под симуляцией понимается исполнение модели в рамках специального программного интерпретатора моделей.

Разделение объекта на части позволяет независимо конкретизировать данные части в различных расширениях, что повышает гибкость реализации объектов виртуальных тренажеров.

Также существует несколько типов объектов, различающихся назначением и составом частей объекта.

Объекты ввода и вывода предназначены для взаимодействия с пользователем посредством элементов управления пользовательского интерфейса и со-

держат тело, голову, вход; также объект ввода дополнительно содержит выход, объект вывода содержит вход.

Объект общего назначения предназначен для реализации основной логики работы модели и состоит из головы, тела, входа и выхода.

Объект данных предназначен для хранения общих данных для модели и состоит из головы.

Переменная объекта (переменная) – это программный контейнер, инкапсулирующий в себе значение данной переменной с дополнительной служебной информацией для корректной обработки переменной в контексте модели и для обеспечения взаимодействия с ней пользователя и содержащий в себе совокупность методов по выполнению служебных операций с переменной. Переменная объекта позволяет хранить данные о работе модели в рамках конкретных объектов модели.

Всего существует несколько переменных по направлению передачи данных: переменные общего назначения, переменные ввода и переменные вывода.

Переменные общего назначения предназначены для хранения обработанной информации в рамках объекта.

Переменные ввода предназначены для получения данных от переменных вывода.

Переменные вывода предназначены для передачи данных к переменным ввода.

Разделение переменных на такие группы позволяет определить порядок следования данных в рамках симуляции виртуального тренажера.

Поведение объекта – совокупность программ объекта модели, которые реализуют определенные алгоритмы обработки полученных объектом данных, сохранения результатов обработки и (или) передачи их другим объектам и пользователю.

Программа – это последовательность конструкций визуального языка программирования. Под визуальным языком понимается совокупность графических и текстографических сущностей, с которыми взаимодействует пользователь в процессе составления программы.

Поведение объекта позволяет реализовать логику работы модели виртуального тренажера, помимо логики, вкладываемой в реализацию объекта в рамках расширения конкретной предметной области пользователем, и обеспечивает более гибкий сценарий поведения модели, чем это было заложено в расширении.

Расширения представляют собой совокупность объектов конкретной предметной области, реализованных на базе представленных выше типов объекта модели: объекта ввода, объекта общего назначения, объекта данных, объекта вывода.

Таким образом, были выделены следующие структуры данных, которые могут быть положены в основу САПР виртуальных тренажеров: модель, объект модели, переменная объекта, поведение объекта.

Реализация данных структур данных позволит формировать виртуальные тренажеры различных предметных областей за счет механизма наследования объектно ориентированных языков программирования.

Выводы. Выбран системный подход в качестве ведущего для достижения универсальности системы автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров, что связано с тем, что он позволяет легко реализовать систему взаимосвязанных объектов в объектно ориентированных языках программирования. В дополнение к системному подходу были задействованы методы анализа и абстракции для декомпозиции виртуального тренажера в общем случае и создания структур данных.

Определены аспекты автоматизации проектирования виртуального тренажера: объекты виртуального тренажера, данные объектов, логика работы объектов. Они позволяют определить состав виртуального тренажера, данные, которые будут поступать на обработку в модель виртуального тренажера, храниться в ней и поступать на выход к пользователю или в хранилище данных (например, жесткий диск), и правила обработки этих данных. Такое разделение виртуального тренажера позволит всесторонне реализовать данный виртуальный тренажер в виде совокупности программных структур данных и наиболее полно автоматизировать процесс проектирования.

На основании аспектов автоматизации были выделены следующие структуры данных: модель, объект модели, переменная объекта, поведение объекта. Описание данных структур основывается на абстрагировании от конкретной предметной области, что позволяет реализовать на их основе расширения конкретных предметных областей и уже с использованием расширений создать модель виртуального тренажера. Это позволяет говорить о том, что в системе автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров, реализующих данные структуры данных, можно реализовывать виртуальные тренажеры различных предметных областей, которые могут быть проанализированы с помощью системного подхода. Рассмотренные структуры данных используются в разработанной системе автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров LabCAD.

Библиографический список

1. Изотова Е. И. Тренажеры для обучения специалистов как объект современных обучающих систем // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. по материалам XXVIII междунар. науч.-практ. конф. П., 2019. С. 62–65.

2. Использование виртуальных тренажеров для работников заводских лабораторий / В. В. Белов, И. В. Образцов // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 67–71.

3. Автоматизированная система создания тренажеров / Р. Р. Ишкильдин, А. П. Веревкин, А. Ю. Корякин, А. Т. Мурзагалин, И. В. Игнатов, А. Ю. Коротченко // Университетский научный журнал. 2016. № 17. С. 70–81.

4. Матлин А. О. Автоматизация процесса создания виртуальных тренажеров : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.13.12. Волгоград, 2012. 22 с.

5. Пат. 2721897. РФ, МПК G06N 20/00. Автоматизированная система для создания сценариев обучающей виртуальной среды : № 2019138545 : заявл. 28.11.2019 : опубл. 25.05.2020 / Е. С. Кузнецов, Д. И. Захлыстов, Д. Р. Габайдуллин ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ВиАр Суперсоник». Бюл. № 15. 30 с.

6. Шувалов Н. В. Основы объектно-ориентированного программирования // Аллея науки. 2018. Т. 5. № 5. С. 1119–1122.

Программная реализация аналитики роликов YouTube в интересах образовательного учреждения

М. В. Нижегородова [a], К. И. Доманов [b]
доцент кафедры систем автоматизации управления [a]
студент группы ИТб-4301 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr21801@vyatsu.ru [a], stud097330@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В настоящее время системы аналитики пользуются большой популярностью во всех сферах жизни общества. Одной из таких сфер является образование, поскольку оно всегда нуждается в актуализации содержания основных образовательных программ.

Актуализация может проводиться на основе обработки данных, полученных с сервиса YouTube, о предпочтениях и мнениях пользователей данной платформы, о том, какие направления наиболее востребованы и интересны пользователям сети Интернет.

Целью статьи является описание программной реализации инструмента аналитики роликов YouTube, которая может быть использована в интересах образовательного учреждения.

В статье описана структура реализованного программного продукта, представляющего собой расширение для браузера Google Chrome, которое, взаимодействуя с сервером, запускает на нем python-скрипт по анализу данных. Логика данного приложения распределена между сервером и клиентом, хранение данных осуществляется преимущественно на сервере, обмен информации осуществляется по сети Интернет.

Результатом работы программы является формирование HTML-отчетов, отражающих подробную статистику в виде лайков, дизлайков, просмотров, комментариев и других статистических показателей популярности образовательных тем. В статье приведены примеры результатов работы программного продукта в виде фрагментов HTML-отчетов.

Ключевые слова: аналитический сервис, автоматизация анализа ресурсов Интернет, анализ данных, YouTube API, Python.

Введение. В современном образовательном пространстве активно используются информационные технологии, в том числе их использование обусловлено автоматизированным решением ряда образовательных задач, например изучение образовательных потребностей, анализ доступных разработанных онлайн-курсов. Одной из самых популярных платформ с образовательным контентом является сервис YouTube. По данным расчетов авторитетной компании Alexa Internet [1], данный сервис является самым популярным видеохостингом и вторым сайтом в мире по количеству посетителей. Пользователи платформы YouTube могут производить множество действий в отношении видеозаписей, в том числе просматривать, оценивать, комментировать и делиться ими.

Такое обилие функциональности и популярность данного видеохостинга порождает огромное количество данных пригодных для анализа, с помощью которого можно выявить самые популярные тренды и предпочтения пользователей всего мира.

Отслеживание предпочтений учащихся и абитуриентов перед поступлением могло бы позволить оценить популярность тех или иных технологий в образовании, направлений образовательных программ. Данная оценка предполагает обработку запросов образовательного характера к ресурсам сервиса YouTube и получение информации о количестве лайков, дизлайков, просмотров и комментариев.

Подобная информация может сильно помочь в области образования, поскольку данная сфера всегда нуждается в улучшении качества процесса обучения, которое обеспечивается путем актуализации основных и составления новых образовательных программ.

Анализ такого огромного количества данных является очень тяжелым и трудоемким, особенно по меркам современного мира, в котором технологии играют важнейшую роль.

Таким образом, было принято решение автоматизировать процесс анализа роликов YouTube в интересах образовательного учреждения, что поможет упростить сам процесс анализа и сэкономить большое количество времени при анализе образовательных тем.

Автоматизация проводится путем создания аналитического инструмента поиска востребованного видеоконтента в YouTube. Инструмент представляет собой расширение для браузера Google Chrome, которое обрабатывает запросы пользователя и передает их на сервер. Серверная часть представлена python-скриптом с большой функциональностью, включающим в себя получение информации с помощью API-функций платформы Youtube, операции с полученными данными, а также формирование итоговых HTML-отчетов с результатами анализа данных.

Существуют различные походы к интерпретации данных, полученных в итоговых HTML-отчетах, которые описаны в литературных источниках [2, 3]. На основе существующих подходов к анализу данных разработан специализированный инструмент для анализа образовательных тем видеохостинга YouTube.

Методы исследования. Получение данных сервиса YouTube зачастую проводится двумя основными способами: парсинг и обращение к специализированным API-функциям видеохостинга. При разработке алгоритма программы был выбран второй способ, так как парсинг требует больше временных затрат и сильно зависит от разметки web-страницы.

На основе выбранного способа получения данных был разработан алгоритм анализа действий пользователей платформы YouTube. Для подробного описания алгоритма данного программного обеспечения была построена IDEF0-диаграмма, предназначенная для формализации и описания бизнес-процессов. Диаграмма IDEF0 представлена на рис. 1.

Из представленной диаграммы видно, что сначала происходит процесс запуска анализа, который предполагает ввод интересующих тематических запросов пользователем аналитического сервиса в окне формы, далее запрос передается в серверную часть приложения. На данном этапе генерируется специальный электронный ключ для однозначной идентификации пользователей.

На следующем этапе серверная часть приложения запускает удаленный python-скрипт, который, в свою очередь, обращается к API-функциям платформы YouTube и получает всю необходимую статистику по данным запросам.

После получения статистических данных скрипт каждый раз должен генерировать новую базу данных для их хранения и вносить в нее все полученные значения. Данное требование реализовано для более практичного администрирования системы.

На последнем этапе производится формирование графиков зависимостей и итогового HTML-отчета, который выводится пользователю с соответствующим электронным ключом.

Для разработки программного обеспечения с описанной выше функциональностью был выбран язык программирования Python, так как он предоставляет огромное количество удобных библиотек для самых разнообразных целей, в том числе для работы с большими объемами данных. Например, библиотека *matplotlib* – для визуализации данных двумерной графикой – и библиотека

jija2 – для формирования HTML-отчета. Помимо этого Python является одним из нескольких языков программирования, которые могут получать доступ к статистическим данным платформы *YouTube Data API v3* с помощью специальных функций.

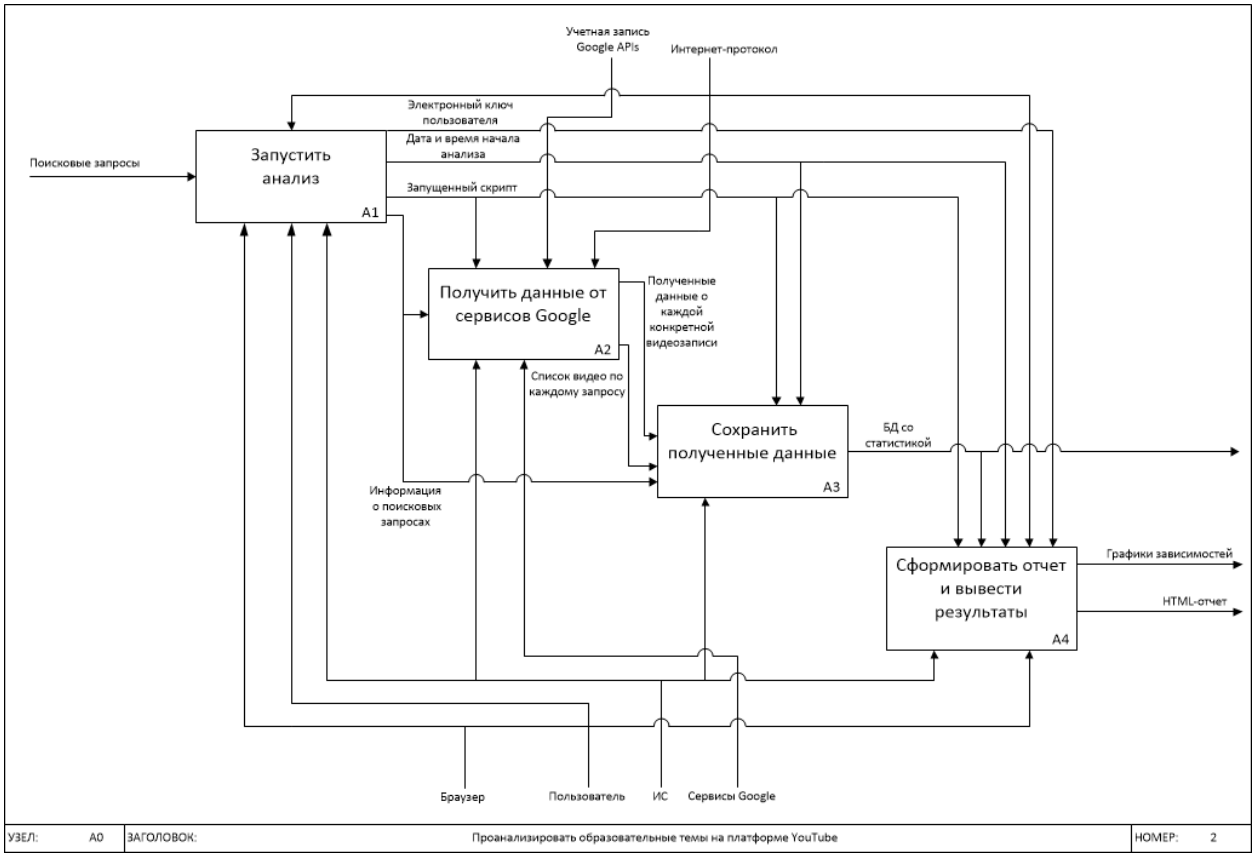
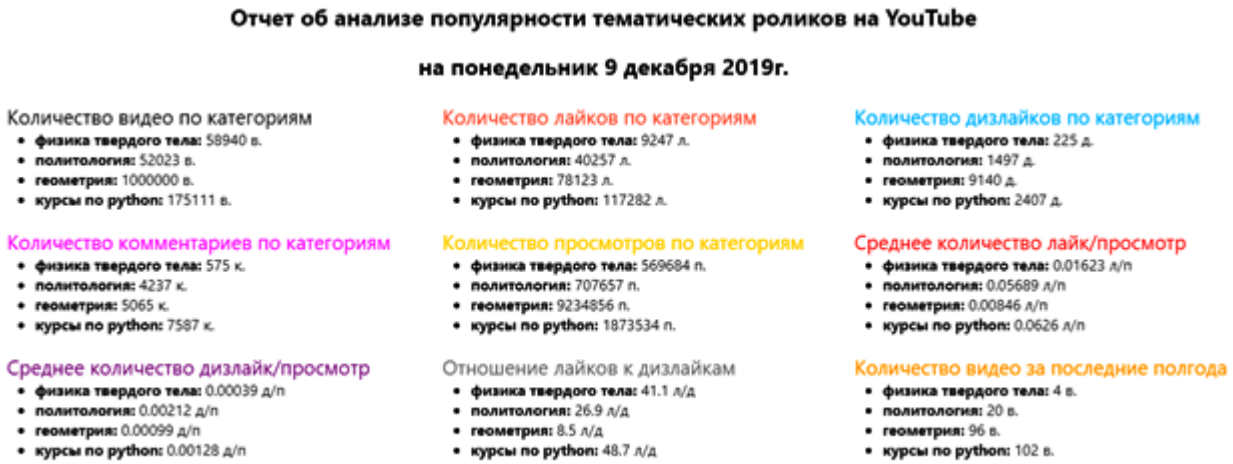


Рис. 1. IDEF0-диаграмма

Результаты исследований, их обсуждение. Полученная статистическая информация из платформы YouTube, графики и iframe-ссылки самых популярных видео отображается в HTML-отчете. Примеры HTML-отчетов показаны на рис. 2–4.

На рис. 2 отражена информация о девяти основных категориях, по которым сравниваются анализируемые запросы: количество видео по категориям, количество комментариев по категориям, среднее количество дизлайк/просмотр, количество лайков по категориям, количество просмотров по категориям, отношение лайков к дизлайкам, количество дизлайков по категориям, среднее количество лайк/просмотр, количество видео за последние полгода.



Отчет об анализе популярности тематических роликов на YouTube

на понедельник 9 декабря 2019г.

Количество видео по категориям
- **физика твердого тела:** 58940 в.
- **политология:** 52023 в.
- **геометрия:** 1000000 в.
- **курсы по python:** 175111 в.

Количество лайков по категориям
- **физика твердого тела:** 9247 л.
- **политология:** 40257 л.
- **геометрия:** 78123 л.
- **курсы по python:** 117282 л.

Количество дизлайков по категориям
- **физика твердого тела:** 225 д.
- **политология:** 1497 д.
- **геометрия:** 9140 д.
- **курсы по python:** 2407 д.

Количество комментариев по категориям
- **физика твердого тела:** 575 к.
- **политология:** 4237 к.
- **геометрия:** 5065 к.
- **курсы по python:** 7587 к.

Количество просмотров по категориям
- **физика твердого тела:** 569684 п.
- **политология:** 707657 п.
- **геометрия:** 9234856 п.
- **курсы по python:** 1873534 п.

Среднее количество лайк/просмотр
- **физика твердого тела:** 0.01623 л/п
- **политология:** 0.05689 л/п
- **геометрия:** 0.00846 л/п
- **курсы по python:** 0.0626 л/п

Среднее количество дизлайк/просмотр
- **физика твердого тела:** 0.00039 д/п
- **политология:** 0.00212 д/п
- **геометрия:** 0.00099 д/п
- **курсы по python:** 0.00128 д/п

Отношение лайков к дизлайкам
- **физика твердого тела:** 41.1 л/д
- **политология:** 26.9 л/д
- **геометрия:** 8.5 л/д
- **курсы по python:** 48.7 л/д

Количество видео за последние полгода
- **физика твердого тела:** 4 в.
- **политология:** 20 в.
- **геометрия:** 96 в.
- **курсы по python:** 102 в.

Рис. 2. Пример HTML-отчета об анализе популярности тематических роликов

Рис. 3 содержит график, представляющий количество лайков для выбранных тематик образовательных курсов.

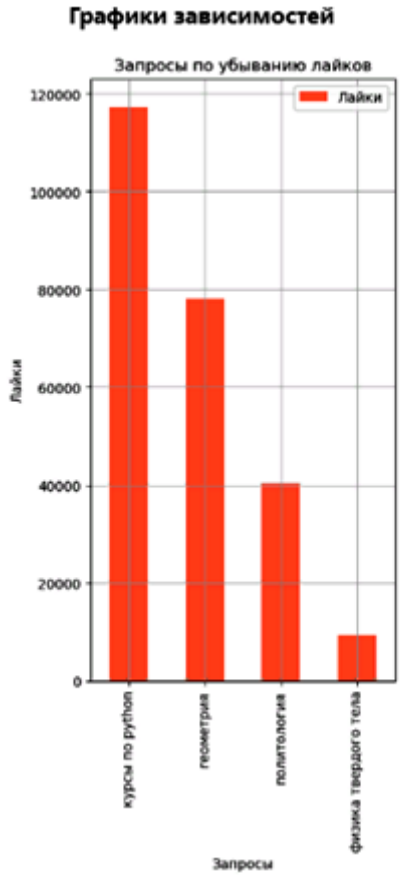


Рис. 3. Пример HTML-отчета, представляющего график зависимостей

Рис. 4 показывает популярность запросов в Google Trends за последние несколько лет, что позволяет отследить изменение интереса пользователей к определенной тематике ресурсов.

Рис. 4. Пример HTML-отчета

Все полученные статистические данные достоверны, поскольку получены с помощью API-функций платформы YouTube и проверены на достоверность опытным путем.

Выводы. В результате разработан программный аналитический инструмент, который позволяет упростить анализ образовательных тем, которые наиболее интересны пользователям сети Интернет. Данный программный продукт позволяет сформировать статистические отчеты, с помощью которых можно получить информацию об изменении трендов заинтересованности определенными направлениями в сфере обучения.

Новшество программы подтверждается тем, что сторонние сервисы дают возможность анализа только отдельных видеозаписей и каналов, в то время как разработанный программный аналитический инструмент предоставляет пользователю возможность сравнивать статистические показатели различных образовательных направлений.

Библиографический список

1. Alexa // Top 500 sites on the web, 2019. URL: https://www.alexa.com/topsites (дата обращения: 10.09.2020).

2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining : учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 336 с.

3. Рафалович В. Data Mining, или Интеллектуальный анализ данных для занятых : учеб. пособие. SmartBook, 2014. 96 с.

Проблемы и перспективы цифровой энергетики Кировской области

А. В. Новиков [a], Е. Н. Хорошинина [b], О. А. Новоселова [c], Р. П. Вальс [d]
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрических станций [a]
старший преподаватель кафедры электрических станций [b, c]
студент группы ЭиЭм-2805-05-00 [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: novikov@vyatsu.ru [a], en_horoshinina@vyatsu.ru [b], novoselova@vyatsu.ru [c], stud114493@vyatsu.ru [d]

Аннотация. В статье идёт речь об основных направлениях программы цифровизации энергетики России, планах её поэтапного выполнения. Описаны новые требования к техническим и человеческим ресурсам. Приведены примеры практической реализации задуманного в Белгородской и Кировской областях. Особое внимание уделено оценке эффективности нетрадиционных источников энергии и использованию сетевых накопителей энергии для повышения надёжности и качества электроснабжения удалённых объектов Кировской области.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровая энергетика, цифровой электромонтёр, реклоузер, беспилотный летательный аппарат, сетевой накопитель энергии.

Цифровая энергетика является частью процесса «цифровой трансформации» (ЦТ), подразумевающего не только внедрение цифровых технологий (это техническая сторона), но и коренные изменения принципов управления, повышения гибкости центров отработки данных, поддерживающих периферию. Этот процесс означает не только отказ от устаревших технологий, но и изменение общей культуры (и не только работающих в энергетике), осознание необходимости движения вперёд, ускорения процессов, обеспечиваемых ЦТ.

ЦТ сегодня считается одной из самых популярных и обсуждаемых тем [7]. На самом деле о ней в том или ином виде говорят уже более десяти лет. Но в большинстве публикаций речь идёт в основном о производителях определённой продукции. Им ЦТ просто необходима для того, чтобы выжить. Она охватывает все аспекты бизнеса и указывает пути для их совершенствования. Вместе с развитием цифровых технологий открываются новые способы получения прибыли, которые ранее были недоступны.

В рамках ЦТ утверждена и успешно реализуется программа «Цифровая энергетика» (ЦЭ) [3, 4]. Концепция цифровизации сетей была утверждена ПАО «Россети» в августе 2018 г. Важно отметить, что финансирование этого дорого-

стоящего проекта будет осуществлено из различных источников, но не предполагает рост тарифов на передачу электроэнергии сверх официального процента инфляции. Программа ЦЭ реализуется поэтапно. В России в качестве пилотных выбраны проекты цифровизации Белгородской и Калининградской энергосистем, а в Кировской области – проект цифровизации Юрьянского района.

В Программе ЦЭ существенно возрастают требования к персоналу, обслуживающему электроустановки, и его оснащению.

«Цифровой электромонтёр» (рис. 1) должен иметь:

1. Шлем дополненной реальности, синхронизированный с диспетчерской системой.

2. Датчик контроля действий с приёмником ГЛОНАС.

3. Персональный компьютер, позволяющий дистанционно оформлять наряды и допуски к работе.

Рис. 1. «Россети Центра и Приволжья» реализуют проект «Цифровой электромонтер»

Для простоты проект цифровизации предусматривает три основных направления (рис. 2):

1. Глаза – это приборы учёта электроэнергии, устройства видеонаблюдения и передачи данных.

2. Интеллект – системы управления в рабочих и аварийных режимах.

3. Руки – реклоузеры, АСУ ТП, цифровые устройства РЗиА.

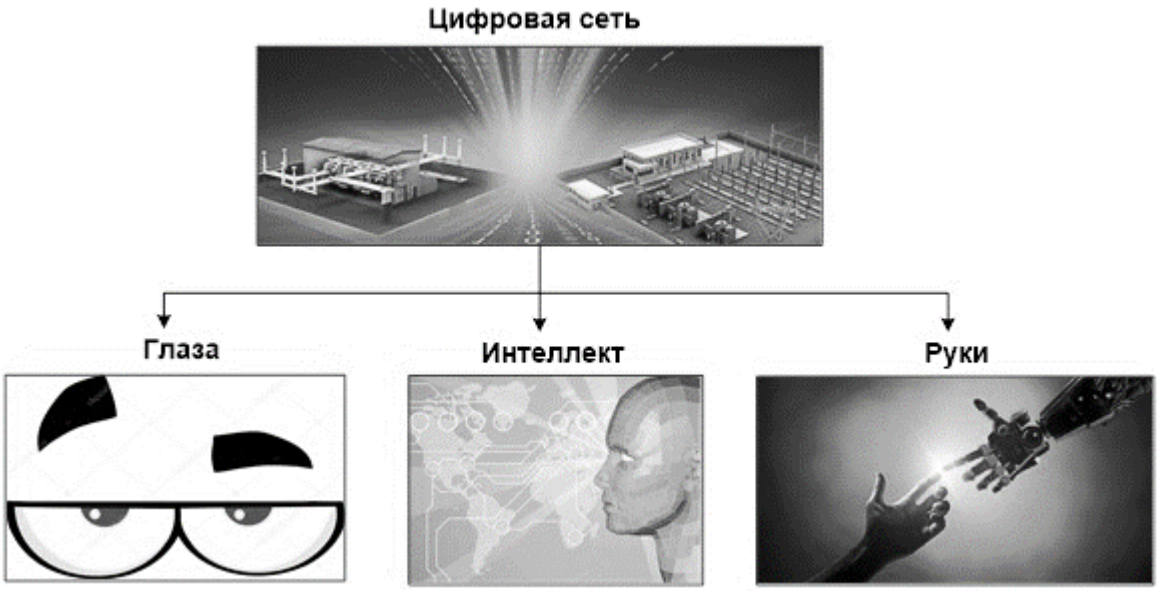


Рис. 2. Направления проекта цифровизации в энергетике

Направление «Руки» предусматривает использование принципиально новых технических устройств: реклоузеров [6], беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), накопителей электроэнергии и других.

Реклоузер – это коммутационный аппарат с вакуумным выключателем, способный автоматически отключить участок сети в случае повреждения или аварии [6]. Главными достоинствами реклоузера являются возможность дистанционного управления и продолжительная автономная работа без технического обслуживания. Кроме того, в нём встроенные измерительные трансформаторы тока и напряжения дополнены аналого-цифровыми преобразователями, необходимыми для современных микропроцессорных защит. В Юрьянском РЭС уже установлено 13 реклоузеров из 41 запланированного. Реклоузер на границах участков сетей рекомендуется применять вместе с пунктом коммерческого учета. Такое комбинированное устройство получило название «Сириус». Его рыночная цена примерно на 100 тысяч рублей меньше, чем суммарная цена этих двух устройств, приобретённых по отдельности.

В марте 2019 г. «Россети» получили разрешение на использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для плановых осмотров линий электропередач (ЛЭП) и при ликвидации аварий. Особую роль БПЛА должны играть в весенний паводок, когда электросетевые объекты могут оказаться отрезанными от «большой земли» из-за разлива рек. Воздушный мониторинг ЛЭП с помо-

щью БПЛА позволяет оценивать техническое состояние опор, изоляторов и проводов и передавать информацию о дефектах оборудования при аварийном отключении. Для контроля состояния ЛЭП длиной до 20 километров используются БПЛА вертолётного типа (дроны и квадрокоптеры), способные зависать над объектом. Возможно расширение зоны их действия путём установки на удалённых участках зарядных пунктов. Для линий большой протяжённости (длиной до 50 километров) применяются БПЛА планерного типа, позволяющие производить облёты ЛЭП с большей скоростью. Кроме того, разработаны гибридные БПЛА планерного типа с пропеллером, которые, обнаружив дефект, способны прерывать полёт для детального осмотра места повреждения. В Кировский филиал МРСК приобретено два дрона стоимостью 100 тыс. руб. Один из них уже находится в стадии опытной эксплуатации.

Важной частью Программы ЦЭ являются накопители электроэнергии. Использование таких устройств позволит решить одну из давних проблем энергетики Кировской области. Суть проблемы состоит в том, что основные источники энергии (кировские ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5) сосредоточены вблизи областного центра, а многие районы находятся на значительном от него расстоянии. Например, дефицит мощности в Мурашинском районе сдерживает заключение договоров о строительстве новых объектов иностранными инвесторами. Проблему обеспечения надёжного и качественного электроснабжения удалённых потребителей можно решить путем «малой генерации» и равномерного распределения высокоманевренных источников энергии по территории области. Такими источниками энергии могут быть газотурбинные установки небольшой мощности, дизель-генераторы, малые и микро-ГЭС, ветроагрегаты и биогенераторы.

Ещё в 2000 г. по инициативе правительства Кировской области с участием учёных ВятГУ была разработана программа «Энергосбережение 2000», в рамках которой проводился анализ целесообразности использования альтернативных источников энергии в нашем регионе. К участию в программе был привлечён проектный институт «Кировагровод», который, проанализировав водные ресурсы, предложил для строительства ГЭС сразу несколько перспективных мест на реках области. Узнав о программе, к её выполнению подключи-

лись многие энтузиасты. В селе Сошени одним из них был установлен ветрогенератор. Его недолгая эксплуатация подтвердила неэкономичность работы таких агрегатов в районах со средней скоростью ветра меньше 4 метров в секунду. В селе Русском предлагалось построить биогенератор. Совместными усилиями в деревне Татаурово была пущена в строй первая мини-ГЭС. При её эксплуатации возникли проблемы работы агрегатов, изолированных от сети, на конкретную нагрузку. Восстановлена мини-ГЭС в Белой Холунице. Студенческий проект Вятскополянской ГЭС отмечен грамотой Всероссийского энергетического форума. В последние годы были разработаны программы развития малой энергетики Кировской области с участием иностранных инвесторов. Перечисленные примеры говорят лишь о том, что обозначенная проблема актуальна и интерес к ней не угасает, но попытки её решить известными способами пока не дали желаемого результата.

Одним из возможных вариантов её решения может быть использование сетевых накопителей электроэнергии (СНЭ). Первый СНЭ мощностью 10 кВт был пущен в эксплуатацию в декабре 2019 г. в Белгородской области. На рис. 3 показан график потребления электроэнергии предприятием с явно выраженным вечерним максимумом нагрузки.

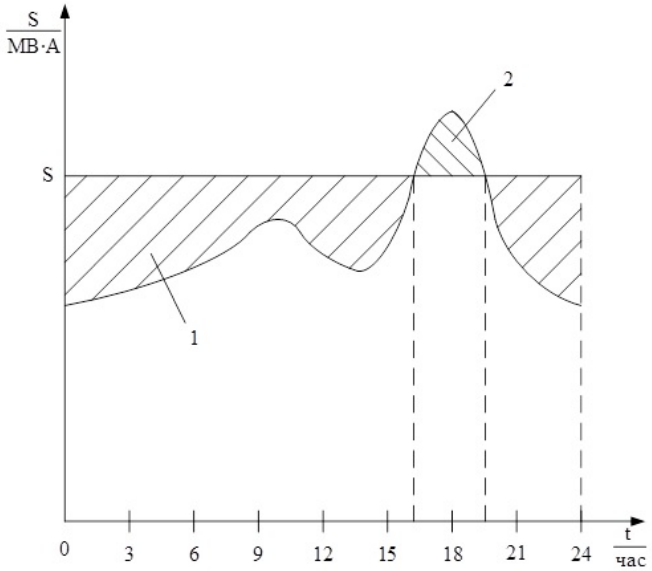


Рис. 3. Пример графика потребления электроэнергии предприятием с явно выраженным вечерним максимумом нагрузки: S – допустимая мощность трансформатора с учётом систематической перегрузки; 1 – зона накопления электроэнергии; 2 – зона выдачи электроэнергии

В ночное время, в период минимума нагрузки, СНЭ будет накапливать энергию, а в вечернее, в период максимума нагрузки, отдавать её потребителям. Известно, что силовые трансформаторы допускают систематическую перегрузку (1,3–1,4) S ном. В зоне графика, где мощность нагрузки превышает эти значения, недостающую мощность выдаёт СНЭ. Упрощенная схема его подключения к сети показана на рис. 4.

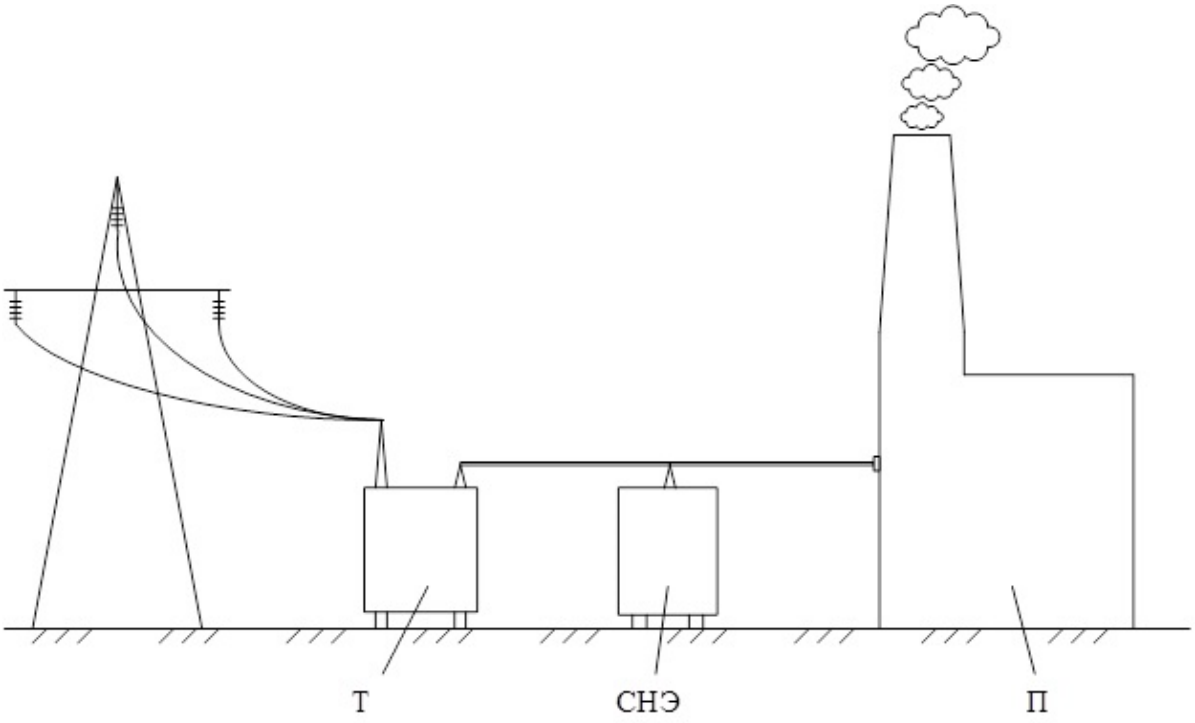


Рис. 4. Упрощенная схема подключения СНЭ: Т – трансформатор;
СНЭ – сетевой накопитель энергии; П – потребитель

Внедрение СНЭ устранит перегрузки сети, повысит надёжность и улучшит качество электроснабжения потребителей, обеспечит нормативный уровень напряжения в пиковые периоды, снизит недоотпуск и потери электроэнергии. И, главное, снимет необходимость строгой одновременности процессов производства и потребления электроэнергии. В Белохолуницком районе, испытывающем дефицит мощности, альтернативой замене существующего трансформатора на трансформатор большей мощности может быть установка СНЭ.

ПАО «Россети Центра и Приволжья» поставило перед Белгородэнерго задачу: рассмотрев оба варианта, проанализировать экономичность и целесообразность применения СНЭ. При этом недостаточно их сравнивать только по стоимости. Необходимо учесть тот факт, что токоведущие части и все сетевое

оборудование выбирается по максимальному рабочему току. Срезая пики максимума нагрузки, СНЭ уменьшает максимальный ток, что даёт возможность выбора оборудования, рассчитанного на меньшие токи, т. е. более дешевого. Руководство кировского филиала МРСКА внимательно следит за успехами белгородских энергетиков, но, пока эксперимент не завершен, принято решение для начала в качестве пилотного проекта установить зарядный агрегат для электромобилей.

Накопитель электроэнергии состоит из выпрямителя, литий-ионной аккумуляторной батареи, инвертора, системы управления, устройств защиты и учёта электроэнергии.

Генеральный директор ПАО МРСК Центра Игорь Маковский 17.12.2019 на пресс-конференции в ТАСС заявил о том, что к концу 2019 г. выполнено 30 % мероприятий первого этапа ЦТ.

Программа цифровой трансформации разработана на длительный срок, так как требует замены устаревшего оборудования, новой стратегии, новой инфраструктуры, нового программного обеспечения, источников финансирования и т. д. Указом Президента РФ от 07.05 2018 № 204 (пункт 11) цифровая трансформация энергетической инфраструктуры обозначена как одно из приоритетных направлений развития до 2024 г. [5]

Для обслуживания технических средств, используемых в цифровой трансформации, нужен специально обученный персонал. В настоящее время в ВятГУ по согласованию с работодателями с учётом новых компетенций внесены изменения в рабочие программы специальных дисциплин бакалавров. Ещё более существенные изменения претерпели учебные планы подготовки магистров, их дополнили дисциплинами, усиливающими подготовку в области релейной защиты и автоматики с упором на микропроцессорные комплексы.

Библиографический список

1. Рябин Т. В., Паринов И. А. Пилотные проекты как этап создания энергоэффективных подстанций ПАО «ФСК ЕЭС» // Энергия единой сети. 2015. № 3(20). С. 16–27.

2. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года, утверждена решением Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС». Сайт

ПАО «ФСК ЕС». URL: https//:www/https://www.fsk-ees.ru/innovation/innovative_development/innovative_development_program.

3. Программа энергосбережения ПАО ФСК ЕЭС» на период 2020–2024 гг. Утв. Решением Правления ПАО «ФСК ЕЭС» (протокол от 12.08.2019 № 1653/8).

4. Сайт ПАО «ФСК ЕЭС». URL: https://fsk-ees.ru/press_center/company_news/?ELEMENT_ID=216017.

5. Сайт Министерства энергетики РФ. URL: https://minenergo.gov.ru/node/10892.

6. Воротниций В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6 (10) кВ // Новости электротехники. 2005. № 3(33). URL: http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php.

7. Цифровой РЭС – это реальность. URL: http://www.rosseti.ru/press/news/?ELEMENT_ID=28960.

Анализ методов проектирования технологических потоков, применяемых в планировании деревоперерабатывающих производств

К. В. Онучина [a], О. А. Рублева [b]
студентка группы ТДм-1801 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: onuchinak@bk.ru [a], olga_ru@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Производство полуфабрикатов в виде пиломатериалов, древесных плит, фанеры продолжает наращивать обороты в связи с высокой востребованностью этой продукции не только на отечественном, но и на зарубежном рынке. Выпускаемые в России полуфабрикаты имеют сравнительно низкую стоимость при достаточно высоком качестве; доходность их производства в высокой степени зависит от рациональности построения производственного процесса, включающего технологические процессы. Приемы проектирования технологического потока и полученные в результате параметры являются наиболее существенными факторами при определении добавочной стоимости продукции. Цель работы – анализ существующих методов проектирования потоков и выявление наиболее применимых приемов для решения практических задач. Выявлено, что комбинация «адресация – синтез – аналог» является наиболее предпочтительной, в частности, при проектировании потоков в фанерном производстве. Полученные результаты могут быть использованы в качестве рекомендаций для специалистов в области проектирования технологических потоков деревообрабатывающих производств.

Ключевые слова: технологический поток, методы проектирования, деревоперерабатывающие производства.

Введение. В настоящее время наблюдается прогресс в деревообрабатывающей промышленности. В связи с этим строительство деревообрабатывающих предприятий только набирает обороты. Технологический поток играет главенствующую роль в проектировании предприятия. Целью данной работы является анализ известных методов проектирования технологических потов и их применения на практике.

Задачи работы:

– анализ известных методов проектирования технологических потоков;

– выявление особенностей применения этих методов на практике;

– разработка рекомендаций по выбору основного метода или совокупности методов.

Ведущий подход. В данной статье проводится сравнительный анализ известных методов проектирования технологических потоков путем сравнения их наиболее существенных характеристик и определения применимости этих ме-

тодов на основе наблюдений авторов, полученных при их практическом использовании.

Анализ методов проектирования технологических потоков. К наиболее распространенным методам проектирования технологических потоков [1–5] относятся следующие три метода, описанные ниже.

Метод синтеза считается универсальным [3, с. 1]. Его основная идея: процесс проектирования технологических процессов циклический и многоуровневый, где главные решения принимаются на первом уровне. Следующим шагом является анализ вариантов и контроль по определенному параметру. На последующих уровнях может выясниться, что прежде принятые решения неудовлетворительны. Тогда процесс проектирования совершает «шаг назад» к уровню с неудовлетворительным решением, то есть совершает цикл.

Примером применения метода служит процесс подбора оборудования по кратности производительности. Производительность одного должна обеспечивать стабильность работы как предыдущего, так и последующего станка без простоев и перегрузки.

Метод анализа имеет две разновидности: метод адресации и метод аналогов [3, с. 1].

В основе метода *адресации* лежит метод групповой обработки деталей и организации группового производства. Характерной чертой является максимальная типизация решений, что достигается использованием типовых технологических процессов. Так, изготовление строительной и мебельной фанеры производится по типовым техпроцессам. Операции для изготовления строительной фанеры выполняются на том же оборудовании, что и для изготовления мебельной. Однако сами материалы и технологические процессы имеют следующие отличия, например, строительная фанера должна обладать повышенной прочностью, поэтому для ее изготовления используется шпон большей толщины в сравнении с шпоном для мебельной фанеры, что вызывает необходимость внесения изменений в такие операции, как починка, сборка пакета, прессование и др.

В основе *метода аналогов* лежит подбор детали-аналога, который осуществляется двумя способами: вручную или по поисковой системе с помощью электронной вычислительной машины по общим параметрам детали. Для компьютерного поиска информация обо всех деталях должна быть занесена в общую базу данных. При поиске деталей-аналогов необходимо обратить внимание на особенности технологии их изготовления: она должна быть актуальной. При успешном завершении поиска детали-аналога следует вернуться к методу адресации и внести корректировки в технологический поток применительно к заданной детали.

Метод прямого проектирования основывается на типовых решениях, то есть состав индивидуального технологического потока не разрабатывается вновь. Отличительной особенностью метода является непосредственное участие пользователя в разработке технологической карты на основе базы данных. При разработке индивидуального технологического потока из типового технологического процесса обычно исключаются лишние операции и переходы.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе исследований выявлено, что каждый из рассматриваемых методов при применении их в практической деятельности, в частности при проектировании технологического потока фанерного производства, имеет свои преимущества и ограничения. Выявленные достоинства и недостатки каждого метода сведены в таблицу.

Ограничения и преимущества применения методов для проектирования технологических потоков

Наименование метода	Преимущества	Ограничения
Метод синтеза	1. Универсальность	1. Из-за сложности метода процесс проектирования занимает много времени. 2. Сложность настройки системы проектирования напрямую зависит от уровня автоматизации предприятия
Метод адресации	1. Быстрота достижения результата. 2. Простота применения	Использование возможно только в случае, если на предприятии имеется развитая групповая технология
Метод аналогов	1. Быстрота достижения результата. 2. Простота применения.	Высокая трудоемкость заполнения базы данных деталей

Окончание таблицы

Наименование метода	Преимущества	Ограничения
	3. Эффективная организация производства	
Метод прямого проектирования	1. Универсальность. 2. Эффективность организация производства	Этап разработки и адаптации САПР ТП к условиям конкретного предприятия предполагает большую подготовительную работу

В результате проведенного анализа выявлено, что каждый из рассмотренных методов имеет свои ограничения. Установлено, что совместное использование элементов этих методов будет более результативно.

Так, при проектировании производства фанеры для одного из предприятий Кировской области применена следующая очередность: метод адресации, метод синтеза, метод аналогов. При этом проектирование начинается с наиболее простого метода адресации, где используется максимальная типизация решений. Если не получается выявить оптимальный техпроцесс, следует воспользоваться универсальным методом – методом синтеза. В случае, если выявленное решение по каким-либо причинам неудовлетворительно, приступают к поиску деталей-аналогов. Далее заимствованный технологический процесс нуждается в корректировке с помощью метода адресации. Полученная последовательность является аналогом универсального метода прямого проектирования [1, с. 1].

Выводы. В ходе исследования был проведен анализ известных методов проектирования технологических потоков, выявлены преимущества и ограничения каждого из них. На основе практического применения этих методов выявлена их оптимальная комбинация. Установлено, что при разработке техпроцесса в соответствии с заданными заказчиком начальными условиями рационально применять последовательность методов «адресация – синтез – аналог». Такой способ позволяет рассмотреть больше вариантов для достижения оптимального результата.

Библиографический список

1. Методики автоматизированного проектирования технологических процессов. URL: https://studbooks.net/609001/tovarovedenie/metodiki_ avtomatizirovannogo_proektirovaniya_tehnologicheskih_protsessov (дата обращения: 21.12.2020).

2. САПР. Правила проектирования технологических процессов в условиях гибких производственных систем. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/391126/ (дата обращения: 2.12.2020).

3. Основные методы проектирования технологических процессов. URL: https://studopedia.ru/8_149936_osnovnie-metodi-proektirovaniya-tehnologicheskih-protsessov.html (дата обращения 13.01.2021).

4. Основные подходы к автоматизированному проектированию технологических процессов на основе типовых и групповых. URL: https://life-prog.ru/2_71791_osnovnie-podhodi-k-avtomatizirovannomu-proektirovaniyu-tehnologicheskih-protsessov-na-osnove-tipovih-i-gruppovih.html (дата обращения: 6.12.2020).

5. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Шагалова Т. А. Основы проектирования предприятий. Технологическое проектирование деревообрабатывающих производств. СПб. 30 с.

Моделирование радиотехнических устройств при воздействии помех

Г. П. Охоткин [a], Д. А. Игнатьев [b]
доктор технических наук, декан факультета радиоэлектроники и автоматики [a]
студент группы РМГ-01-19/1101 [b]
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Российская Федерация [a, b]
E-mail: elius@list.ru [a], dimaignatev1997@mail.ru [b]

Аннотация. В связи с ужесточением требований по электромагнитной совместимости и санитарных норм, а также увеличением числа устройств, производящих помехи, остро встаёт вопрос об актуальности исследования минимального порога сигнала, при котором ещё возможно различить объект в современных радиолокационных станциях при заданной вероятности ложной тревоги. Моделирование принимаемого сигнала при воздействии случайных и независимых помех и его дальнейшая фильтрация является основной задачей данного исследования. В процессе исследования возможности обнаружения объектов при моделировании необходимо учесть особенности возникновения и воздействия помех в сложной обстановке на радиотехнические объекты наблюдения, какими являются радиолокационные станции. В работе показаны проблемные вопросы моделирования помех, границы различимости, вероятности ложной тревоги. В итоге мы получаем решение задач, которое позволяет повысить надежность полученного сигнала.

Ключевые слова: порог обнаружения, помехи, радиолокационная станция.

Введение. В современный век сплошной цифровизации появляется актуальность слияния вычислительных алгоритмов и инструментов решения задач, нуждающихся в сравнительно малых вычислительных потребностях, и решения, подчиняющегося определённому критерию оптимальности.

В наше время высокоразвитая вычислительная техника позволяет корректировать алгоритмы в процессе отладки, что, в свою очередь, стимулирует улучшение инновационных методов и алгоритмов обработки сигналов. Существующая вычислительная техника с высокочастотными микропроцессорами позволяет в процессе вычисления использовать наиболее рациональные и эффективные способы обработки нескольких потоков полезной информации и сильнозашумлённых помехами сигналов. В свою очередь, необходимо не забывать о методе максимального правдоподобия и анализе распределения плотности вероятности.

Наиболее важная задача при проектировании РЛС – применение цифровой обработки сигналов. ЦОС, в свою очередь, обязана производить оценку параметров, опознавание объектов на фоне активных и пассивных помех.

Результаты исследований, их обсуждение. Очень важно определить нормированный порог обнаружения**.** На фоне воздействия некоррелированных помех применяем функцию fnYx2 и произведём моделирование и расчёт воздействия помех на РЛС в среде программы Matlab. Функция предназначена для расчета нормированного порога обнаружения Y* при квадратичном детектировании и заданных вероятности ложной тревоги Рлт и числе импульсов $n_и$ в принимаемой пачке импульсов.

Синтаксис в среде Matlab: y = fnYx2(f#, n %, e#)

Входные формальные параметры:

f# – вероятность ложной тревоги (Рлт);

n % – число импульсов в пачке ипульсов ($n_и$);

e# – точность (абсолютная погрешность) вычислений.

Ограничения: $10^{-1} \geq$ Рлт $\geq 10^{-12}$; $1 \leq n_и \leq 150$; $10^{-1} \geq$ e#$\geq 10^{-10}$. При выходе выходных параметров из этих пределов работа программы не гарантируется.

Значение порога обнаружения u* при заданном значении Рлт = F определяется решением уравнения относительно u*:

$$F = \int_{U_*}^{\infty} W_{ш}(u)du\,, (1.1),$$

где $W_{ш}(u)$ — плотность распределения напряжения шума на выходе приемного устройства. В расчетах обычно используют значение нормированного порога обнаружения Y* , определяемого как

$$Y_* = \frac{U_*^2}{2\sigma_{ш}^2}, (1.2),$$

где $\sigma_{ш}^2$ — дисперсия шума на выходе приемного устройства. В [1] показано, что расчет Y* при $n_и \geq 1$ для случая квадратичного детектирования можно провести путем решения уравнения:

$$\exp(-Y) = \sum_{k=0}^{n_и - 1} \frac{Y_*^K}{k!} - F = 0, (1.3).$$

Алгоритмом предусмотрено решение данного уравнения итерационным методом Чебышева. Применение данного метода приводит к следующим расчетным формулам:

$$Y_{i+1} = Y_i - c_1 Z - c_2 Z^2 - c_3 Z^3 - \cdots, (1.4)$$

Где $Z = \frac{f(Y_i)}{f'(Y_i)}; c_1 = 1; f(Y_i) = exp \sum_{k=0}^{n_и - 1} \frac{Y_i^k}{k!} - F;$

$$f(Y_i) = -\exp(-Y_i)\frac{Y_i^{n_и - 1}}{(n_и - 1)!}; c_2 = \frac{n_и - 1}{2Y_i} - \frac{1}{2}; c_3 = \frac{(2n_и - 1)(n_и - 1)}{6Y_i^2} - \frac{2(n_и - 1)}{3Y_i} + \frac{1}{3}.$$

Начальное приближение определяется по модифицированной эмпирической формуле:

$$Y_1 = -\ln F[1 + \frac{1{,}39(n_и - 1)^{0{,}905}}{(-\ln F)^{0{,}83}}], (1.5).$$

Опыт показывает, что при расчетах достаточно ограничиться первыми тремя членами формулы (1.4).

```
function z=fnYx2(ff,nn,ee)
y11=-log(ff);
if nn==1
    z=y11;
    return
end
y11=y11*(1+(1.39/y11^0.83)*(nn-1)^0.905);


while 1
    aa=exp(-y11);
    y22=aa;
    for kk=1:nn-1
        aa=aa.*y11/kk;
        y22=y22+aa;
    end
    aa=(ff-y22)/aa;
    aa=aa+(nn-1-y11)/2/y11*aa*aa;
    y22=y11-aa;
    y11=y22;

    if abs(aa)<ee
        break;
    end
end
z=y22;

end
```

Рис. 1. Листинг программы в MatLab

Для демонстрации результата работы программы, изображенной на рис. 1, в качестве исходных выберем произвольно следующие числовые величины:

f# = $1*10^{-6}$ – вероятность ложной тревоги (Рлт);

n % = 18 – число импульсов в пачке ипульсов ($n_и$);

e# = $1*10^{-3}$ – точность (абсолютная погрешность) вычислений.

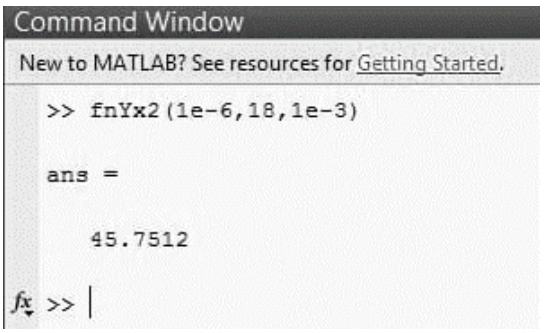


Рис. 2. Результат работы программы

На рис. 2 показаны результаты моделирования, а на рис. 3 построены зависимости порога обнаружения от вероятности ложной тревоги при n=18 и от числа импульсов в пачке при $f=1e^{-6}$.

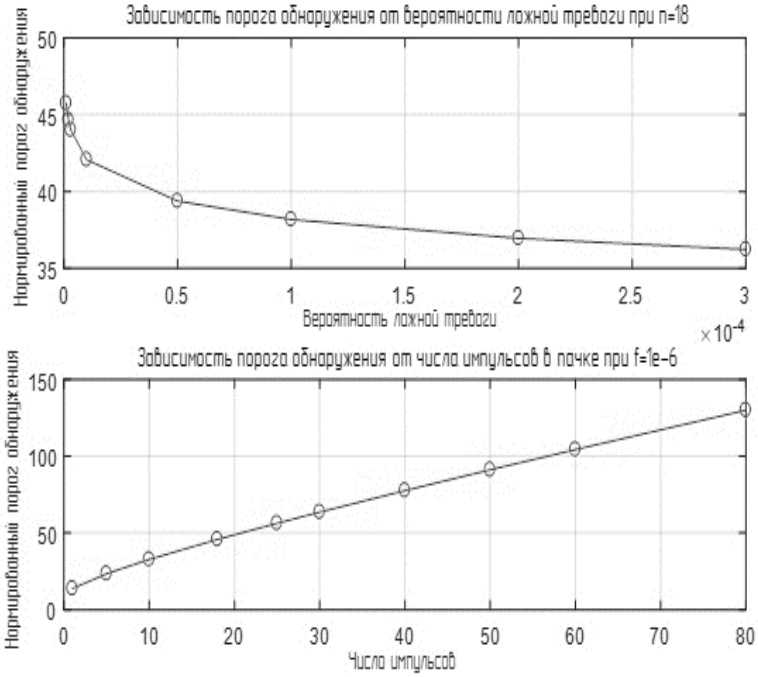


Рис. 3. Графики зависимости порога обнаружения от вероятности ложной тревоги

Основываясь на результатах работы программы и построенных графиках на рис. 3, можно утверждать, что с увеличением величины нормированного порога обнаружения (НПО) происходит резкое снижение вероятности ложной тревоги, практически до нуля при равенстве НПО 46. Однако при увеличении НПО приходится увеличивать число импульсов, что ведёт, в свою очередь, к увеличению энергопотребления РЛС, снижению времени реакции и дальности обнаружения.

Выводы. В итоге рассмотрена функция для расчета нормированного порога обнаружения Y* при квадратичном детектировании и заданных вероятности ложной тревоги Рлт и числе импульсов $n_и$ в принимаемой пачке импульсов, опыт показал, что при расчетах достаточно ограничиться первыми тремя членами формулы. Наиболее применимо это в современных цифровых РЛС, где имеются, с одной стороны, большие вычислительные мощности, а с другой – надо стараться как можно меньше записывать избыточную информацию, соблюдая при этом близкую к единице достоверность обнаружения.

Библиографический список

1. Шабалин В. Н. Математическое и программное обеспечение решения задач радиолокации на микроЭВМ «Электроника Д3-28». Л. : ВМА, 1991. 213 с.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М. : Радио и связь, 1981. 416 с.
3. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С. С. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 240 с.
4. Пудовкин Ю. Н., Панасюк Ю. Н., Чернышова Т. И. и др. Электромагнитная совместимость и помехозащищѐнность РЭС : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 92 с.
5. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов, О. Ю. Сахаров, А. С. Сорокин, Н. Б. Сорокин. М., 2014. 334 с.
6. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. М. : Радиотехника, 2003. 416 с.
7. Абраменков В.В. Накопление сигнала при использовании современных методов цифрового спектрального оценивания // Радиотехника. 2002. №12. С. 88–91.
8. Игнатьев Д. А., Михайлов А. Л. Реализация удалённого доступа по радиоканалу с цифровым блоком РЗА реклоузера // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. С. 30–33.
9. Игнатьев Д. А., Михайлов А. Л., Охоткин Г. П. Эксплуатация РРЛ-22 и интеграция каналов связи с системой ТМ СТН-3000 САПР и моделирование в современной электронике : сб. науч. тр. VI междунар. науч.-практ. конф. Брянск : Изд-во Брянского гос. техн. ун-та, 2003.
10. Скосырев В. Г., Слукин Г. П., Ильин Е. М. Тенденции и пути внедрения технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2009. № 1. С. 40.
11. Marks W. S. , Perkins O. D. , Clark W. R. Radio-Relay Communication Systems in the United States Army, 1945. 502 – 522. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/1696905/citations# citations (published: 05.02.2021).
12. Chunmei Li, Zheng Dou, Guangzhen Si, Meiyu Wang A Novel Digital-Analog Integrated Communication System Based on the PARATUCK-2 Model 2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP) URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8631571 (published: 05.02.2021).
13. Kolumban G., Kennedy M. P., Chua L. O. The role of synchronization in digital communications using chaos. I. Fundamentals of digital communications IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications Volume: 44, Issue: 10, Oct 1997. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/633882 (published: 05.02.2021).

14. Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства радиорелейных систем связи : учеб. пособие / В.А. Григорьев [и др.]. СПб. : Университет ИТМО, 2013. 150 с. ISBN 2227-8397. Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : http://www.iprbookshop.ru/68682.html (дата обращения: 07.02.2021).

15. Помехи и обман радаров Помехи и обман радаров. URL: https://ru.qaz.wiki/wiki/Radar_jamming_and_deception (дата обращения: 07.02.2021).

16. Приказ Минкомсвязи России от 10.07.2014 № 200 «Об утверждении Правил применения систем радиорелейной связи. Часть VI. Правила применения цифровых радиорелейных систем связи, передающих пакетные данные» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.07.2014 № 33384). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

17. ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии», принят 13.07.2009; действ. с 01.01.2010. М., 2009. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53363-2009 (дата обращения: 07.02.2021).

18. ГОСТ Р 50933-96 Каналы и тракты внутризоновых радиорелейных линий. Основные параметры и методы измерений принят 8.08.1996; действ. с 01.07.1997. М., 2009. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200027306 (дата обращения: 07.02.2021).

19. Правила технической эксплуатации первичных сетей взаимоувязанной сети связи Российской Федерации Приказом Госкомсвязи России от № 187: принят 25.06.97: действ. с 19.10.98. М., 1997. Доступ из норм.-техн. системы «Техэксперт».

20. Шлюгаев Ю. В. Радиолокационное исследование среднеширотной мезосферы в КВ диапазоне: дис. ... канд. техн. наук : 01.04.03. СПб., 1998. 113 с.

21. Пат. США, МПК6 G01S 013/52. Doppler discrimination of aircraft targets: pat. 4389647 / Fanuele, A. Michael. (TomsRiver, NJ), McCray, A. Joseph. (Freehold, NJ), Rittenbach, F. Otto. (Neptune, NJ). – № 219455; заявлено 22.12.80; опубл. 21.06.83, НПК342/192.

Оценка применимости модернизации технологической радиорелейной связи

Г. П. Охоткин [a], Д. А. Игнатьев [b]
доктор технических наук, декан факультета радиоэлектроники и автоматики [a]
студент группы РМГ-01-19/1101 [b]
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Российская Федерация [a, b]
E-mail: elius@list.ru [a], dimaignatev1997@mail.ru [b]

Аннотация. Данная статья ориентирована на описание проблем реконструкции эксплуатируемой в настоящий момент технологической аналоговой радиорелейной связи на участке газопровода Уренгой – Ужгород с опорой на современные цифровые технологии. На сегодняшний день, кроме возведения новых радиорелейных линий связи вдоль магистральных газопроводов, происходит процесс модернизации старых аналоговых РРС, построенных в начале 80-х годов XX века. Так, в нынешнее время обширное применение получило цифровое оборудование радиорелейных линий, которое позволяет повысить как скорость передачи информации, так и помехозащищённость. ЦРРЛ имеют возможность ретранслировать информацию с необходимой надёжностью. Необходима модернизация систем связи, которая позволит повысить эффективность использования частотного диапазона РРЛ, а также дальность приёма-передачи, снизить энергопотребление оборудования, увеличить качество и надежность работы. В итоге мы приходим к модернизированной системе, основанной на цифровизации связи.

Ключевые слова: технологическая связь, радиорелейная линия, цифровизация.

Введение. Радиорелейная связь – это способ передачи информации из одного места в другое. В антеннах радиорелейной связи радиоволны связываются вместе с несущей частотой и передаются на приемник в микроволновом диапазоне (в основном между 1 и 40 ГГц). Используются высоконаправленные антенны, установленные в подходящих местах, чтобы они могли покрывать большие расстояния (квазиоптическое соединение в пределах прямой видимости). Типичная антенна – параболический рефлектор. Направленные антенны позволяют экономно использовать доступный частотный спектр, несмотря на широкую полосу пропускания.

Из истории сооружения технологической связи РРЛ газопровода Уренгой – Ужгород заметно, что эксплуатируемое более 40 лет аналоговое оборудование Томсон TFH-250 сильно устарело морально и физически, ремонт и покупка запасных импортных частей практически не возможны. Из-за длительной эксплуатации и старения радиоэлементов сильно ухудшились технические характеристики используемой аппаратуры, что приводит к ухудшению показателей надежности технологической связи.

С данная система реализована с различными дополнительными концентраторами источников и многочисленными вспомогательными целевыми узлами. Качество обслуживания – это в основном возможности, которые могут быть улучшены за счет правильного распределения ресурсов. Значение канала сохраняется, поддерживая SNR выше порога, называемого минимальным защитным отношением. Радиорелейная система используется для расширения диапазона для достижения большей емкости. CRN расшифровывается как сеть когнитивного радио. Сетевое кодирование уровня доступа к среде (MALNC) связано с двумя видами полнодуплексной передачи, а именно: усиление и пересылка (AF), декодирование и пересылка (DF) для плодотворной передачи данных. Идентификация данных на сборщике ожидается несколькими группами диапазонов. Использование MALNC сокращает количество вакансий, необходимых для переписки. Типовые средства транспортировки журналов используются для исследования параметров отклонения в пределах видимости затемнения знака из-за огромных помех в разносторонней радиопереписке. Вероятность затемнения изображена для размытия канала. Для создания эффективной основы выполняются различные оценки среднего значения, флуктуации и скорости передачи.

Радиорелейная связь, рожденная необходимостью мобильности, стала выдающимся достижением в области связи Второй мировой войны. Были разработаны и использовались наборы, использующие частотную модуляцию и методы несущей, а также наборы радиорелейной передачи, в которых использовались методы передачи и приема радиолокационных импульсов и методы мультиплексирования с временным разделением для получения множества речевых каналов от одной несущей радиосвязи.

В последние годы войны в результате исследований и разработок во все возрастающих количествах появлялись новые и улучшенные средства связи и электронные устройства.

Были достигнуты успехи в области связи проводных и радиорелейных систем, а также в улучшенных электронных средствах навигации.

Значения готовности и показателей качества находятся в зависимости от характеристик системы связи, расчёт которых регламентируется в МСЭ-Т G.801, G.821, G.826 и ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии».

В стандарте G.801 описывается теоретическая модель эталонного соединения цифровой сети заданной длины и состава.

Преимущества заключаются в замене антенн на простые воздушные провода, приемники настроены для наилучших условий работы. Радиорелейная станция способна транслировать всем абонентам две или три независимые программы. Все жизненно важные точки системы дублируются, и организация может быстро и эффективно устранять неисправности и жалобы по мере их возникновения.

На её основе происходит анализ общих показателей качества и стандартизация. В виде показателя качества системы связи рассматривают исключительно цифровую передачу сигнала со скоростью соединения 64 кбит/с.

ЦРРЛ признаётся не готовой при наличии более 10 последовательных секунд отсутствия передачи информации либо наличия в каждой секунде BER хуже 10^{-3}.

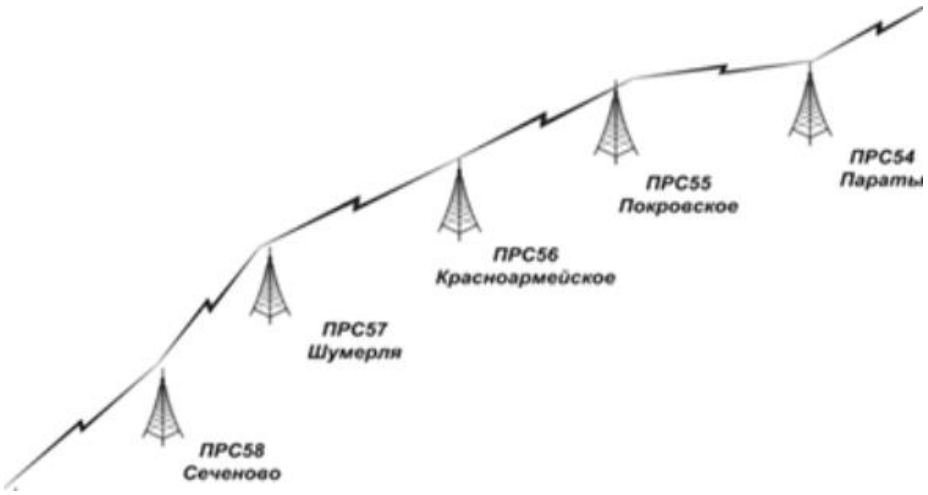


Рис. 1. Участок линии связи газопровода Уренгой – Ужгород

Сутью своей работы считаем замену аналогового оборудования на цифровое МИК-РЛ4РМ с сохранением существующих опор. Рассмотрим процесс на примере трассы ПРС56-57, изображённом на рис. 1.

Результаты исследований, их обсуждение. Только тогда, когда связь находится в работе, возможна оценка показателей качества по ошибкам. Анализ характеристик показателей качества производят на основе следующих параметров:

– ES – число секунд передачи с ошибками (интервал длительностью 1 секунда, в продолжительности которого замечаются ошибки в одном или нескольких битах);

– SES – число секунд, пораженных ошибками (интервал длительностью 1 секунда, во время которого величина ошибок по битам превосходит 10^{-3}).

Для решения проблемы энергетических ограничений и нехватки спектра для когнитивных радиосетей беспроводных датчиков (CR-WSN) рассматривается схема ретрансляции с декодированием и прямой ретрансляцией, в которой ограниченный по энергии вторичный источник и узлы ретрансляции способны собирать энергию из многоантенного силового маяка (PB) и использовать собранную энергию для пересылки информации об источнике в пункт назначения. Основываясь на архитектуре приемника с переключением времени, три протокола ретрансляции, а именно гибридный частичный выбор ретрансляции (H-PRS), традиционный альтернативный выбор ретрансляции (C-ORS) и наилучший альтернативный выбор ретранслятора (B-ORS), рассматриваются для улучшения сквозных характеристик при совместном воздействии максимального ограничения помех и ухудшения оборудования приемопередатчика. Для оценки и сравнения производительности мы выводим точные и асимптотические выражения в замкнутой форме для вероятности сбоя (OP) и пропускной способности (TP), чтобы обеспечить существенное понимание влияния предлагаемых нами протоколов на производительность системы в канале с рэлеевскими замираниями. Наконец, результаты моделирования подтверждают теоретические результаты.

Параметрами же являются:

– ESR – коэффициент секунд с ошибками;

– отношение числа ES к общему числу секунд в период готовности в продолжительности установленного диапазона измерений;

– SESR – число сильнопоражённых секунд;

– отношение числа SES к общему количеству секунд в период готовности в продолжение фиксированного интервала измерений.

Расчет и построение трассы ЦРРС сделаны в программе MathCAD. Слева на рис. 2 ПРС-56 Красноармейское, справа ПРС-57 Шумерля.

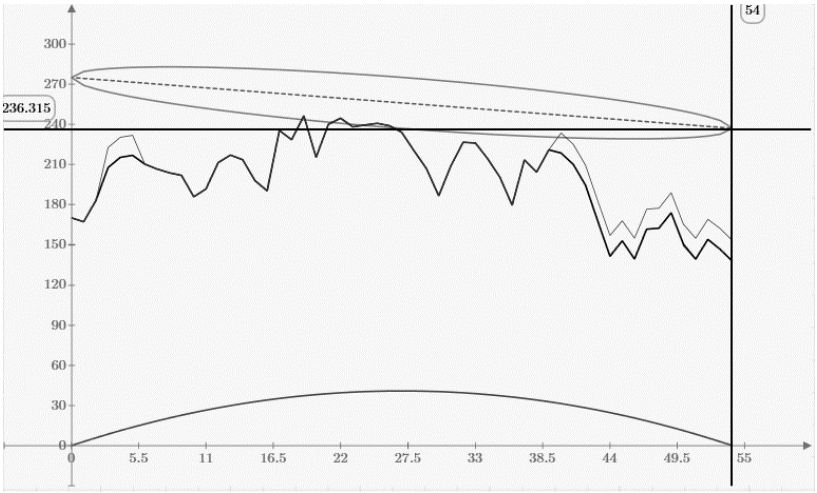


Рис. 2. Трасса радиорелейной связи ПРС-56-57

Как видно из приведённого рисунка, перекрытия первой зоны Френеля не происходит. Из этого можно сделать вывод, что новое смонтированное цифровое оборудование будет работать на максимальной скорости и с максимальной для данного расстояния отдачей.

Вычислим коэффициент неготовности линии для ЦРРС МИК-РЛ4РМ по следующей формуле:

$$K_{\text{нг}} = P_{\text{сум}} + P_{\text{дож}} + P_{\text{обор}} = 1.57 \cdot 10^{-5} + 8 \cdot 10^{-7} + 0 = 1.65 \cdot 10^{-5}. \quad (1)$$

В формуле (1): $P_{СУМ}$ – суммарная вероятность срыва радиосвязи, порождённая многолучевым замиранием;

$P_{ДОЖ}$ – вероятность срыва радиосвязи, порожденная дождем; $P_{ОБОР}$ – вероятность срывы радиосвязи, порождённая отказом оборудования.

Регламентируемое рекомендуемое значение $К_{НГ}$ = 0.0125. Так как полученное значение в выражении (1) меньше оптимального (регламентируемого) значения, то с точки зрения коэффициента неготовности трасса удовлетворяет выдвигаемым к ней требованиям.

Как известно, вторичная система должна удовлетворять требованиям к более высокой скорости передачи, большее расстояние передачи неизбежно потребляет большое количество мощности передачи и оказывается неэффективным. Предлагается комбинированная схема с целью минимизировать энергопотребление сети с учетом конкретного ограничения производительности обнаружения. Показано, что такая система позволяет достичь высокой экономии энергии. Результат передается только в том случае, если он считается информативным.

Вычислить величину SESR для нового оборудования необходимо по следующей формуле:

$$SESR = \left(\frac{K_{инт}-1}{\varphi_{инт}} + 1\right) \cdot T_{инт} \cdot \varphi_{инт} + T_0 \cdot \varphi_0 . \quad (2)$$

В формуле (2): $T_{инт}$ – это % времени, в течение которого величина коэффициента ошибок на выходе цифровой РРЛ превосходит максимально допустимый коэффициент ошибок из-за многолучевых (интерференционных) замираний на трассе;

T_0 – это % времени, в течение которого величина коэффициента ошибок на выходе цифровой РРЛ превышает максимально допустимый коэффициент ошибок из-за субрефракционных замираний, случающихся по причине экранирующего воздействия препятствий при субрефракции;

$К_{инт}$ – коэффициент интерференции (обычно $К_{инт}$ =1);

$\varphi_{инт}$ – коэффициент готовности при интерференционных замираниях;

φ_0 – коэффициент готовности при субрефракционных замираниях.

Основываясь на рекомендации МСЭ-Т G.821, события SESR фиксируем при $К_{ОШ} \leq 10^{-3}$. В то же время при учёте стандарта G.826 необходимое условие фиксации события SESR – присутствие свыше 30 % блоков с ошибками.

Значения параметров имитационного эксперимента

Необходимо построить также график зависимости вероятности обнаружения от коэффициента распределения времени обнаружения для традиционной аналоговой системы и системы ЦРРС. Производительность ЦРРС улучшается по сравнению с аналоговой системой из-за меньшего времени локального обнару-

жения и отчетности о принятии решений. Однако минимальный разрыв в производительности невелик. Кроме того, такой разрыв в производительности становится меньше по мере увеличения частоты. Таким образом, при разумных требованиях к вероятности обнаружения ошибок может не только поддерживать точность измерения, но и сокращать накладные расходы на энергию измерения. Однако вероятность обнаружения увеличивается с ростом частоты. Мы также видим, что это можно оптимизировать, чтобы минимизировать вероятность обнаружения промаха для ЦРРС. Кроме того, вероятность вторичного сбоя может быть минимизирована путем выбора конкретного распределения мощности.

Вычисление в программе выводит полученное значение SESR: SESR (худший месяц) = 0,00301 при условии, что нормой является 0.003 для РРС протяженностью около 50 км. Следовательно, SESR цифровой радиорелейной станции удовлетворяет нормативным рекомендациям и требованиям, и никакое разнесение не нужно. Следовательно, новое оборудование применимо.

Выводы. Линия связи является частью вдольтрассовых коммуникаций магистрального трубопровода, из-за чего при выборе оборудования упор сделан на возможность получения и передачи большого объема сигналов. На момент написания статьи радиосвязь на участке выполняется при помощи устаревшей аналоговой станции, поэтому необходимость модернизации системы радиокоммуникации стоит особенно остро. Следовательно, данные результаты могут быть применимы на практике для последующей модернизации всей системы связи. Руководствуясь данной статьёй, можно утверждать, что модернизация оборудования на базе цифровой радиорелейной станции МИК-РЛ4РМ возможна, причем без больших финансовых затрат.

Библиографический список

1. Сергиенко А. Б. Цифровая связь. СПб. : Издательство «ЛЭТИ», 2012. 164 с.

2. Муравьев В. В., Липкович Э.Б. Спутниковые и радиорелейные системы передачи. Минск: БГУИР, 2007. – 213 с.

3. Каменский Н. Н., Модель А. М., Надененко Б. С. Справочник по радиорелейной связи. М. : Издательство «Радио и связь», 1981. 211 с.

4. Немировский А. С., Данилович О. С., Маримонт Ю. И. и др. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. М. : Издательство «Радио и связь», 1986. 392 с.

5. Быховский М. А., Кирик Ю. М., Носов В. И., Сахаров О. Ю., Сорокин А. С., Сорокин Н. Б. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи. М., 2014. 334 с.

6. Теоретические основы многоканальной связи / под ред. М. В. Гитлиц, А. Ю. Лев. М. : Издательство «Радио и связь», 1985. 248 с.

7. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки. Решения задач GPS // Электроника: наука, технология, бизнес. 2009. № 1. С. 74–78.

8. Игнатьев Д. А., Михайлов А. Л. Реализация удалённого доступа по радиоканалу с цифровым блоком РЗА реклоузера //Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы VI междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. С. 30–33.

9. Игнатьев Д. А., Михайлов А. Л., Охоткин Г. П. Эксплуатация РРЛ-22 и интеграция каналов связи с системой ТМ СТН-3000 САПР и моделирование в современной электронике // Сборник науч. тр. VI межд. науч.-практ. конф. Брянск : Изд-во Брянского гос. техн. ун-та.

10. Бакытов А. Б., Нурпеисова Д. А., Медеуов С. А., Дарменалы П. Е. Критерии качества связи цифровых радиорелейных линий связи // Технические науки: теория и практика : материалы III Международной научной конференции. Сер. «Молодой ученый”, 2016. С. 32–35.

11. Marks W. S., Perkins O. D., Clark W. R. Radio-Relay Communication Systems in the United States Army, 1945. 502 – 522. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/1696905/ citations#citations (published: 05.02.2021).

12. Chunmei Li, Zheng Dou, Guangzhen Si, Meiyu Wang A Novel Digital-Analog Integrated Communication System Based on the PARATUCK-2 Model 2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP). URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8631571 (published: 05.02.2021).

13. Kolumban G., Kennedy M. P., Chua L. O. The role of synchronization in digital communications using chaos. I. Fundamentals of digital communications IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications Volume: 44, Issue: 10, Oct 1997. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/633882 (published: 05.02.2021).

14. Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства радиорелейных систем связи : учеб. пособие / В.А. Григорьев [и др.].. СПб. : Университет ИТМО, 2013. 150 с. ISBN 2227-8397. Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : http://www.iprbookshop.ru/68682.html (дата обращения: 07.02.2021).

15. Зачем нужна радиорелейная связь. URL: https://www.kommersant.ru/doc/2975638 (дата обращения: 07.02.2021).

16. Приказ Минкомсвязи России от 10.07.2014 № 200 «Об утверждении Правил применения систем радиорелейной связи. Часть VI. Правила применения цифровых радиорелейных систем связи, передающих пакетные данные» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.07.2014 N 33384). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

17. ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии», принят 13.07.2009; действ. с 01.01.2010. М., 2009. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53363-2009 (дата обращения: 07.02.2021).

18. ГОСТ Р 50933-96 Каналы и тракты внутризоновых радиорелейных линий. Основные параметры и методы измерений принят 8.08.1996; действ. с 01.07.1997. М., 2009. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200027306 (дата обращения: 07.02.2021).

19. Правила технической эксплуатации первичных сетей взаимоувязанной сети связи Российской Федерации Приказом Госкомсвязи России от № 187: принят 25.06.97: действ. с 19.10.98. М., 1997. Доступ из норм.-техн. системы «Техэксперт».

20. Гумбинас А. Ю. Оптимизация параметров радиорелейного оборудования на цифровых РРЛ с учетом помех от сигналов обратного направления: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01. СПб., 2003. 133 с.

21. Пат. 191499. РФ,Ухта Блок контроля для проверки и ремонта синтезаторов частот радиорелейного оборудования: № 2019110415: заявл. 09.04.2019: опубл. 08.08.2019 / И. Е. Беляковский; патентообладатель Газпром трангаз Ухта.

Выбор типа фундамента для здания с монолитным железобетонным каркасом в зависимости от напряженно-деформированного состояния

О. Р. Пахмурин [a], Д. В. Чуржакова [b]
кандидат технических наук, доцент [a]
магистрант группы М08.20/24-1 [b]
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Российская Федерация [a, b]
E-mail: orpahmurin@mail.ru [a], dinamit251@gmail.com [b]

Аннотация. Вариаций устройства нулевого цикла здания много. В соответствии с геологическими условиями и конструктивом сооружения определяется и тип фундамента. Программный комплекс SCAD Office способен смоделировать надземную и подземную части объекта, а также рассчитать их взаимное влияние. Таким образом, был осуществлен расчет монолитного железобетонного каркаса с учетом всех нагрузок с двумя разными фундаментами: плитным и мелкого заложения. Сравнительный анализ результатов напряженно-деформированного состояния здания показал, что наиболее оптимальным будет использование плитного фундамента, поскольку он имеет меньшие вертикальные перемещения и эксцентриситеты.

Ключевые слова: промышленное здание, каркасное, плитный фундамент, фундамент мелкого заложения, программный комплекс SCAD Office, коэффициент постели.

Введение. Промышленные здания конструктивно более сложные по сравнению с гражданскими. Это связано с рядом дополнительных нагрузок и воздействий, которые оказывают значительное влияние на каркас сооружения. Вес оборудования, тормозные усилия от мостовых кранов, вибрация, агрессивная среда, высокая температура, недостаточная или избыточная влажность – неполный список всего, что может стать причиной аварии или несчастного случая, поэтому так важно учитывать каждое загружение и делать допускаемый нормами запас прочности. Имея полную картину воздействий, можно рассчитать конструктив надземной части здания.

Рассмотрим четырехэтажное производственное здание с монолитным железобетонным каркасом. Шаг колон в обоих направлениях нерегулярный. Объект в плане имеет прямоугольную форму с габаритными размерами по осям 58,92х26,8 м (рис. 1). Он объединяется с соседним корпусом посредством переходной галереи на отметке (+6,000). На первом этаже здания оборудованы парковка, входные группы и помещения инженерных систем. На втором этаже – производственные помещения, не классифицируемые по чистоте. На третьем и

четвертом этажах – производственные помещения, классифицируемые по чистоте с входными гардеробными группами. Третий и четвертый этажи имеют металлические антресоли, занимающие не более 40 % этажа, на которых расположены технические помещения для размещения вентиляционных систем «чистых» помещений. Для сообщения между этажами предусмотрены две лестницы первого типа и лифт грузоподъемностью 2000 кг. Также имеется подъемник грузоподъемностью 100 кг. На крыше расположены надстройки, предусмотренные для эвакуации людей по лестнице на крышу и обслуживания лифтового оборудования.

Внутренние усилия в надземной части здания и инженерно-геологические условия площадки играют главную роль при подборе типа фундамента. Поскольку верхние слои инженерно-геологического разреза представлены равномерно расположенными супесями (3,3–4,9 м), расчетная глубина сезонного промерзания грунтов по расчету равна 1,56 м, а подземные воды расположены на глубине 10,5–11 м, то риск негативного влияния сил морозного пучения практически сводится к нулю, и мы можем принять любой тип фундамента: плитный, мелкого заложения или свайный. В связи с тем что сооружение пристраивается к уже существующему, применение свайных фундаментов технологически усложняет процесс, поэтому примем к рассмотрению: плитный и отдельно стоящий мелкого заложения.

Методы исследования. Данное здание рассчитаем дважды в программном комплексе SCAD Office с приложением всех действующих нагрузок: собственный вес сооружения, временные от типа помещения, снеговые и ветровые, от оборудования. Влияние грунтов в расчетной схеме смоделируем при помощи учета коэффициентов постели (С1 = 879,09 кН/м3, С2 = 37279,8 кН/м) [3]. Применим их совместно со связями конечной жесткости по осям X, Y для исключения сдвига здания в горизонтальной плоскости. В противном случае SCAD++ не сможет рассчитать матрицу и задача решена не будет. Различие двух расчетных схем заключается в разных типах фундамента. В первом случае используется плитный фундамент толщиной 600 мм (рис. 2 а). Второй тип фундамента –

отдельно стоящие мелкого заложения под колонну (рис. 2 б). В обоих случаях колонна в месте сопряжения с фундаментом имеет отметку (–1,500). Заглубление необходимо для удовлетворения условия устройства фундаментов в пучинистых грунтах: глубина заложения назначается не менее расчетной глубины промерзания [2].

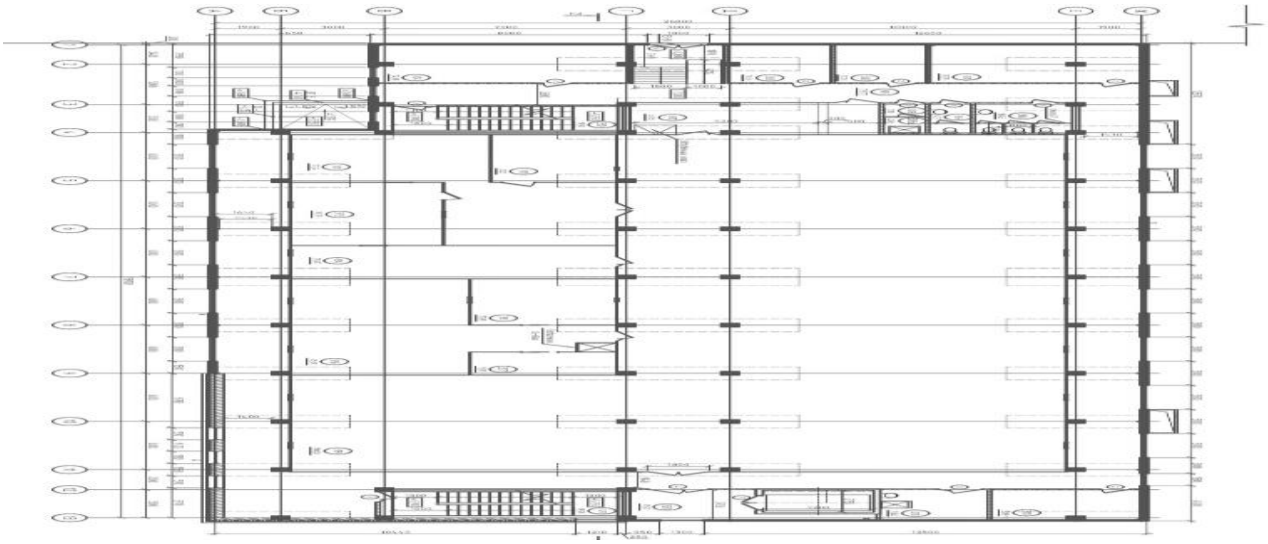


Рис. 1. План этажа на отмостке (+7,200)

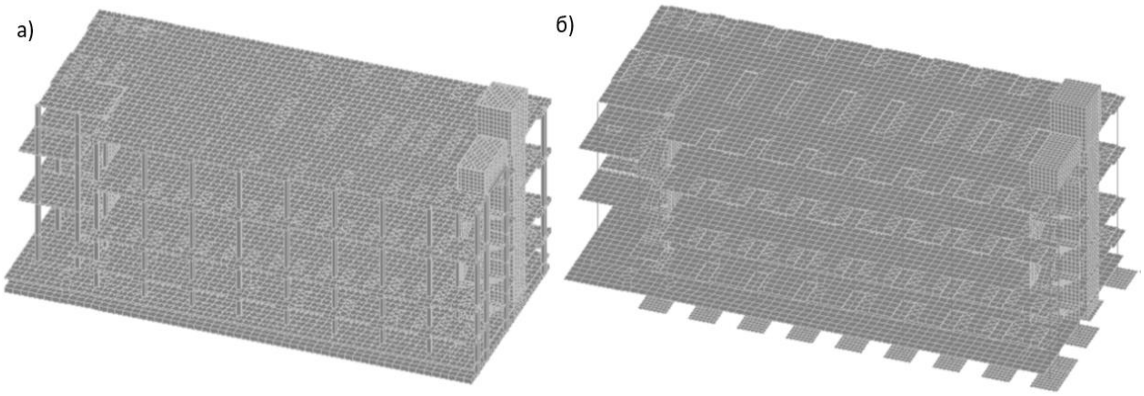


Рис. 2. Расчетные схемы здания с плитным фундаментом (а),
с фундаментом мелкого заложения (б)

Результаты исследований, их обсуждение. Расчетная схема с плитным фундаментом послужила исходными данными для определения габаритных размеров фундаментов мелкого заложения. Фундаментная плита находится на отметке (–1,800). На отметке (0,000) запроектировано монолитное перекрытие толщиной 200 мм (общая толщина с учетом гидроизоляции и устройства полов первого этажа составила 400 мм). Она устраивается по грунту, нагрузки от нее

передаются на колонны, торцы которых находятся на отметке (–1,500). Они опираются на подземную фундаментную плиту 600 мм. Из расчета были получены данные РСУ и сделана выборка наиболее неблагоприятных сочетаний: Nmax M, Mmax N. Применяя значения этих расчетных нагрузок и характеристик грунта, были вычислены длина и ширина подошв фундаментов. Далее из первой расчетной схемы удаляется плита и заменяется на подушки, имеющие жесткое защемление с колоннами и воспринимающие через них нагрузку от надземной части здания.

Сравнительный анализ полученных значений показал, что сжимающие продольные усилия в колоннах, замоноличенных в отдельно стоящие фундаменты (рис. 3), имеют меньшее максимальное значение (–3106,697 кН), чем в колоннах с плитным фундаментом (–4207,538 кН) (рис. 4). Колонна работает на сжатие. Она собирает всю нагрузку с перекрытий и передает ее на фундамент, а тот, в свою очередь, на грунт. Поскольку площадь фундаментной плиты в плане больше суммарной площади всех отдельно стоящих фундаментов и приложена неравномерно при идентичной толщине фундаментной подушки, то среднее давление под подошвой плитного фундамента будем меньше, что, в свою очередь, уменьшает осадки. Это подтверждается анализом перемещений фундамента относительно проектного положения. Плитный тип устройства подземной части объекта оказался менее податлив к вертикальным перемещениям 62,41 мм < 128,87 мм, чем отдельно стоящие фундаменты.

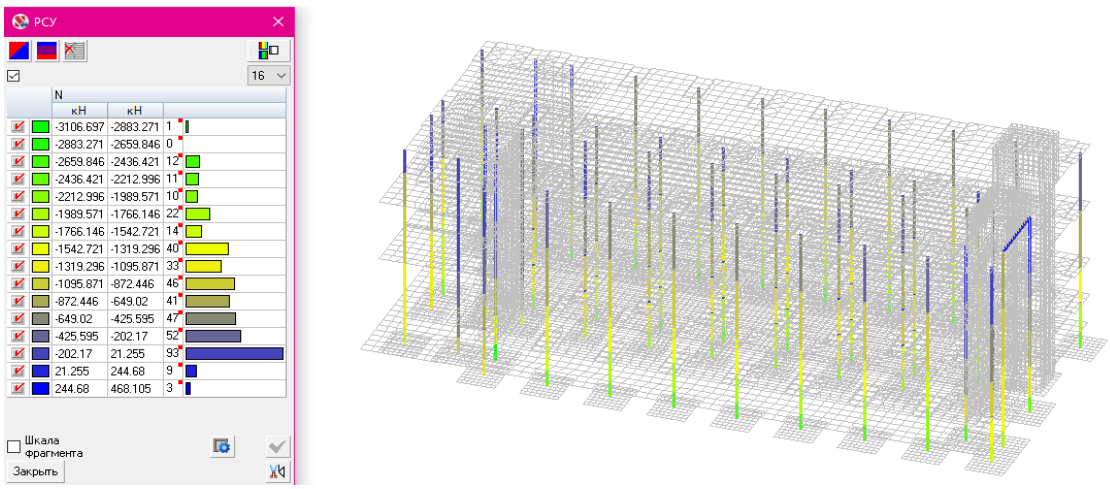


Рис. 3. Величина продольных усилий в колоннах здания с фундаментом мелкого заложения

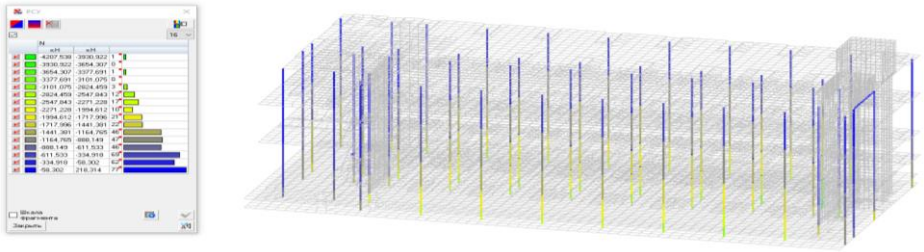


Рис. 4. Величина продольных усилий в колоннах здания с плитным фундаментом

Максимальный изгибающий момент в месте сопряжения колонн с фундаментом мелкого заложения равен (–142,809 кН·м) (рис. 5), что больше (–114,39 кН·м) – в колоннах каркаса здания с плитным фундаментом (рис. 6). Колонны сжаты внецентренно, это связано с ветровой нагрузкой, нагрузкой от ограждающих конструкций, оборудования, сложной формой антресолей в плане. Изгибающий момент во внецентренно сжатых элементах находится в прямой зависимости от продольных усилий в колонне и эксцентриситета его приложения. Таким образом, эксцентриситет приложения N в колонне с плитным фундаментом равен 27 мм, а в колоннах замоноличенных в отдельно стоящие фундаменты – 45 мм.

Аналогичные тенденции изменения претерпевают и величины поперечных усилий (рис. 7 и рис. 8), поскольку между поперечной силой и изгибающим моментом имеется дифференциальная зависимость, по которой при возрастании изгибающего момента возрастает и поперечная сила.

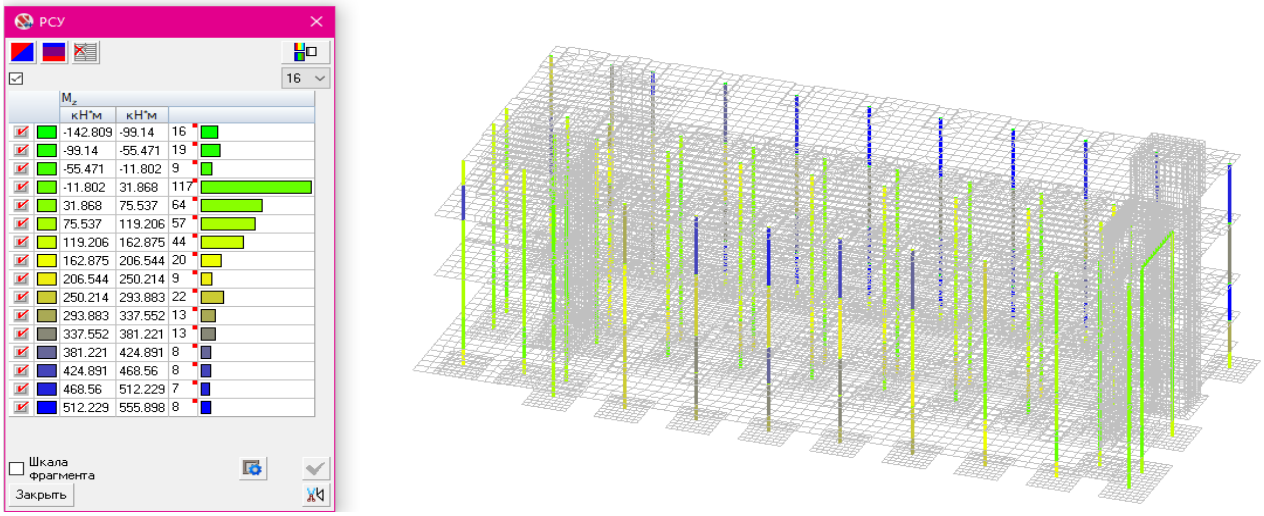


Рис. 5. Величина изгибающих моментов в колоннах здания
с фундаментом мелкого заложения

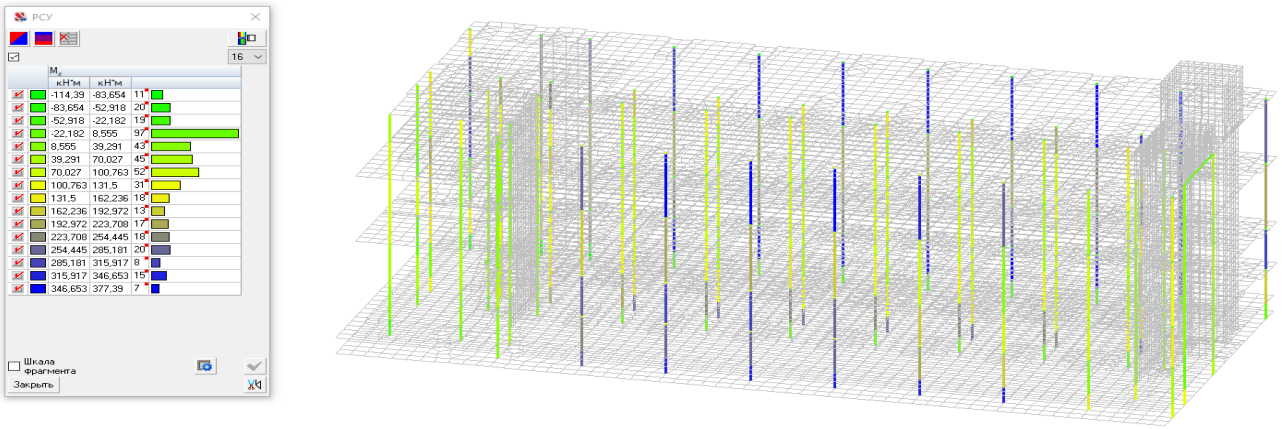


Рис. 6. Величина изгибающих моментов в колоннах здания с плитным фундаментом

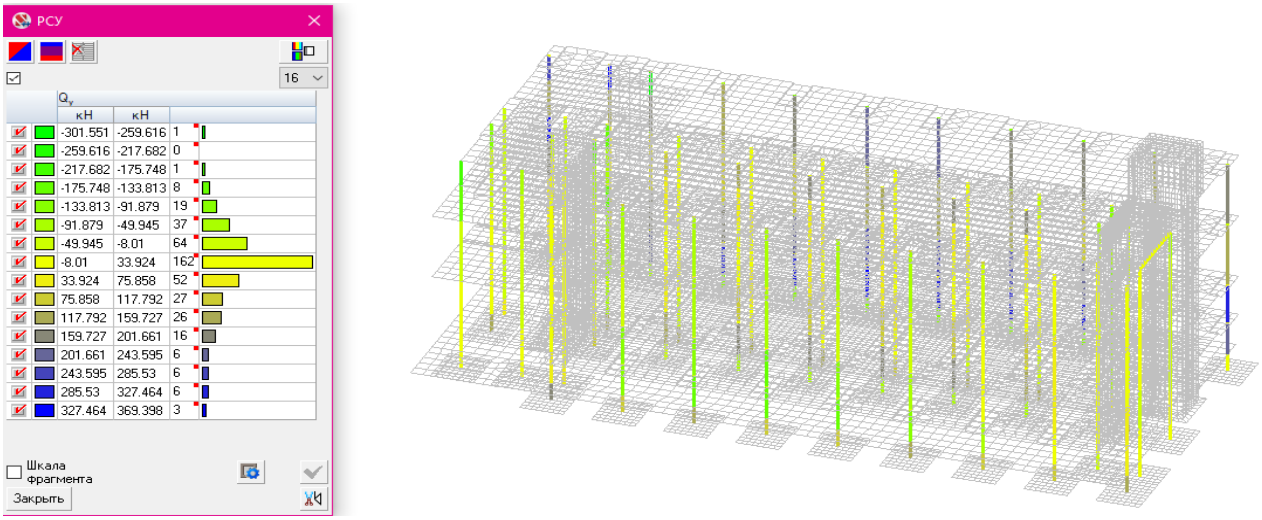


Рис. 7. Величина поперечных усилий в колоннах здания
с фундаментом мелкого заложения

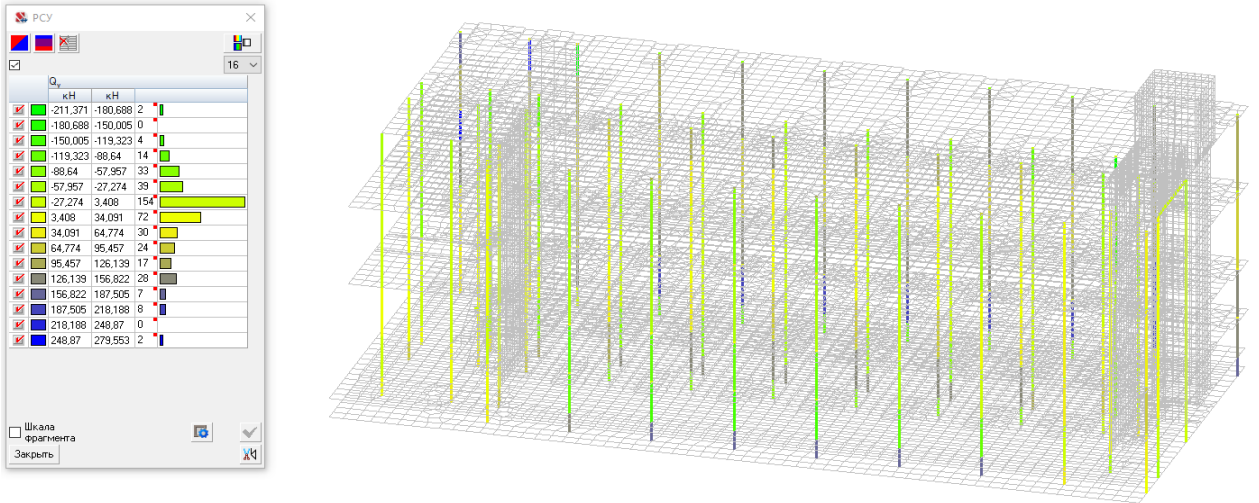


Рис. 8. Величина поперечных усилий
в колоннах здания с плитным фундаментом

Все вышеизложенные данные сведены в таблицу.

Сводная таблица сравнения плитного и отдельно стоящих фундаментов мелкого заложения

Показатель сравнения	Плитный фундамент	Отдельно стоящие фундаменты мелкого заложения
Продольные усилия в колоннах, кН	–4207,538	–3106,697
Изгибающие моменты в колоннах, кН·м	–114,39	–142,809
Поперечные усилия в колоннах, кН	–211,371	–301,551
Вертикальные перемещения, мм	62,41	128,87
Эксцентриситет, мм	27	45

Выводы. Проведенный численный анализ и сравнение полученных результатов показывают, что значительные вертикальные перемещения и величина эксцентриситетов приложения вертикальных усилий к колоннам каркаса в месте их сопряжения с фундаментами позволяют сделать вывод о том, что более рациональным к исполнению является исполнение каркасного здания с плитными фундаментами под сооружением.

Библиографический список

1. Пастернак П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М. : Госстройиздат, 1954. 56 с.

2. Пахмурин О. Р., Чуржакова Д. В. К вопросу о влиянии типа фундаментов на напряженно-деформированное состояние здания с монолитным железобетонным каркасом // Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2020. С. 52–56.

3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : актуализир. ред. СНиП 2.01.07-85* : с Изменениями № 1, 2 : принят 01.07.2016 : действ. с 04.06.2017. М., 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/456044318 (дата обращения 20.01.2021).

4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализир. ред. СНиП 2.02.01-83* : с Изменениями № 1, 2, 3 : принят 16.12.2016 : действ. с 17.06.2017. М., 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/456054206 (дата обращения 20.01.2021).

Исследование выбросов отработавших газов при работе двигателя 4ЧН 11,0/12,5 на максимальном крутящем моменте

С. А. Плотников [a], М. В. Мотовилова [b], Е.Д. Петухович [c]
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения [a]
аспирант кафедры технологии машиностроения [b]
студент, III курс, автотракторный факультет [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b]
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь [c]
E-mail: sa_plotnikov@vyatsu.ru [a], mv_motovilova@vyatsu.ru [b], eg.610or@yandex.by [c]

Аннотация. Двигатель внутреннего сгорания является самым распространенным и массовым источником энергии для транспортных средств. В процессе эксплуатации к двигателям наряду с эксплуатационными показателями предъявляются высокие экологические требования по эмиссии отработавших газов в окружающую среду. Работа двигателя с использованием активированного топлива позволяет обеспечить данные требования. Активация дизельного топлива производится на линии высокого давления между ТНВД и форсункой [9]. Проведенные стендовые (лабораторные) испытания позволяют сделать вывод о работе дизеля на активированном топливе без ухудшения экологических показателей в отработавших газах. Однако при этом выявлены изменения параметров токсичности и дымности отработавших газов при разных значениях среднего эффективного давления. Приведены графики показателей дымности и токсичности в отработавших газах при разных значениях среднего эффективного давления.

Ключевые слова: отработавшие газы, токсичность, дымность, высокоактивированное топливо.

Транспорт имеет не только непосредственное отношение ко всем отраслям промышленности, но и является одним из основных источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Автотракторные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в процессе эксплуатации выделяют токсичные и вредные компоненты с отработавшими газами (ОГ) (рис. 1). В ОГ для каждого компонента существуют предельно допустимые концентрации, которые нормируются по принципу полного отсутствия их воздействия на человека.

В связи с введением норм экологической безопасности для наземного транспорта к тепловым двигателям предъявляются высокие экологические и эксплуатационные требования. Количественный и качественный состав ОГ зависит от режимов работы двигателя, конструкции двигателя, процесса сгорания, качества используемого топлива, равномерности распределения топливной смеси в цилиндре, регулировки топливоподающей аппаратуры и многих других факторов.

Рис. 1. Полевые работы

В последнее время увеличилось число работ по совершенствованию рабочего процесса в дизельных двигателях с непосредственным впрыском топлива. Работы по улучшению рабочего процесса двигателя проводятся в ФГБОУ ВО КГТУ (исследуется предварительный подогрев маловязкого топлива до 60 °С в линии низкого давления), в ФГБОУ ВО «ТИУ» (применение нагревательного элемента в воздушном фильтре для нагрева воздуха до 67 °С), в ФГБОУ ВО «ВГУВТ» (проведение исследований по предварительному подогреву топлива до 200 °С), а также в ФГБОУ ВО «ВятГУ» при сотрудничестве с Белорусской государственной сельскохозяйственной академией (БГСХА) [10, 11].

Процесс сгорания является сложным и многостадийным процессом, в течение которого осуществляется ряд последовательных реакций с образованием химически активных радикалов и промежуточных продуктов окисления. Скорость сгорания неоднородных смесей зависит от скорости химических реакций, а также от скорости образования топливовоздушной смеси и подвода ее в зону горения. Процессу сгорания предшествует процесс образования топливной смеси – испарение топлива и перемешивание его паров с воздухом. Одним из способов интенсификации рабочего процесса является создание условий для лучшего смесеобразования за счет уменьшения времени на испарение мелкодисперсного и активированного топлива. Это возможно при уменьшении диаметра капель впрыскиваемого топлива, так как общая поверхность всех капель увеличивается обратно пропорционально их диаметру [1, 2, 5, 6]. Время на смесеобразование уменьшается за счет увеличения скорости испарения мелкодис-

персного и подогретого ДТ. При использовании активированного топлива происходит изменение физико-механических свойств ДТ, а это ведет к изменению геометрических параметров топливного факела (угол топливного факела, длина топливной струи, средний диаметр капель ДТ при впрыске по Заутеру, скорость впрыскивания топлива) и самого процесса сгорания.

Экспериментальные исследования дизельного двигателя проводились на экспериментальной установке. В состав данной установки входит двигатель Д-245.5S2, электротормозной стенд RAPIDO SAK N670 с балансирной маятниковой машиной, комплект измерительных приборов по определению компонентов в ОГ и система вывода данных на монитор компьютера. Испытания проводились на ДТ без подогрева и с подогревом до 300 °С. Методика испытаний соответствовала ГОСТ 18509-88, ГОСТ 305-2013 [3, 4].

На рис. 2, 3, 4 представлены графики экологических показателей неполного сгорания топлива (CO, C_xH_y, C). Увеличение содержания CO (подъем линии графиков) наблюдается при увеличении среднего эффективного давления (рис. 2). Численные значения оксида углерода при значении среднего эффективного давления 0,9 P_e при работе двигателя на ДТ без подогрева и активированном топливе до 300 °С составляют 0,02 %. Монооксид углерода является основным промежуточным соединением в процессе сгорания углеводородов.

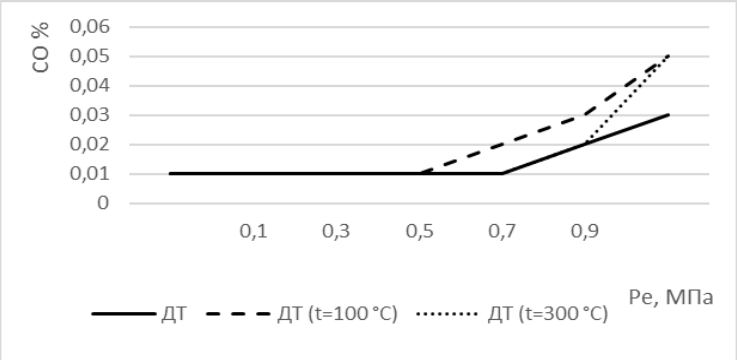


Рис. 2. Показатель уровня CO в ОГ при максимальном крутящем моменте (n = 1400 мин$^{-1}$)

Предполагается, что образование монооксида углерода происходит при неравномерном распределении топлива в зоне горения и низком коэффициенте избытка воздуха [1, 7, 8].

При работе двигателя на режиме максимального крутящего момента показатели C_xH_y уменьшаются при нагреве ДТ (рис. 3). По экспериментальным данным при значении среднего эффективного давления 0,9 P_e значение показателя углеводородов составляет 8 %, 6 %, 6 % для ДТ без подогрева, при работе дизельного двигателя с подогревом топлива 100 ºС и 300 ºС соответственно. Предполагается, что качество смесеобразования при впрыскивании мелкодисперсного подогретого топлива улучшается и смесь становится более однородной. Высокая скорость диффузии окислителя приводит к быстрому окислению средних и легких молекул углеводородов.

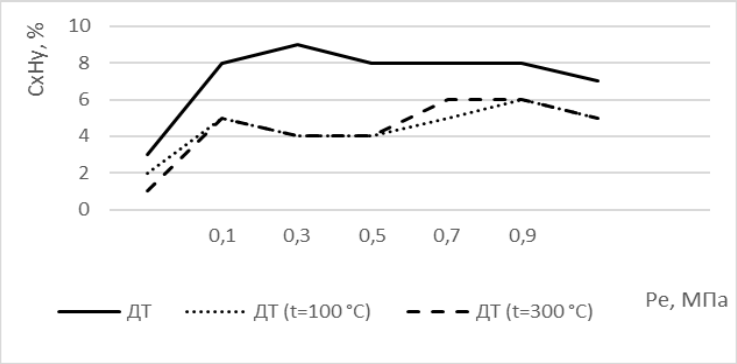


Рис. 3. Показатель уровня C_xH_y в ОГ при максимальном крутящем моменте (n = 1400 мин$^{-1}$)

Сажа является твердой частицей, на поверхности которой адсорбируются тяжелые углеводороды, зольные частицы, продукты износа и т. п. Показатель уровня сажи в отработавших газах при работе на ДТ с подогревом увеличивается (рис. 4) при увеличении среднего эффективного давления (характер подъема линии графика). При значении среднего эффективного давления 0,9 P_e значение показателя углерода составляет 5,3 % для ДТ без подогрева, а при работе дизельного двигателя с подогревом топлива 100 ºС и 300 ºС соответственно 6,45 % и 7,1 %.

Можно предположить, что в камере сгорания имеются зоны (ядро струи топлива) неравномерного распределения топлива, которые приводят к локальному переобогащению смеси и недостаточной диффузии с окислителем – происходит процесс термического разложения углеводородов. С увеличением температуры и давления в локальной зоне пиролиза количество частиц сажи увеличивается, и разложение молекул идет по формуле [1, 7, 8]:

$$C_nH_m \leftrightarrow nC + 0.5\mathrm{m}H_2 \quad (1)$$

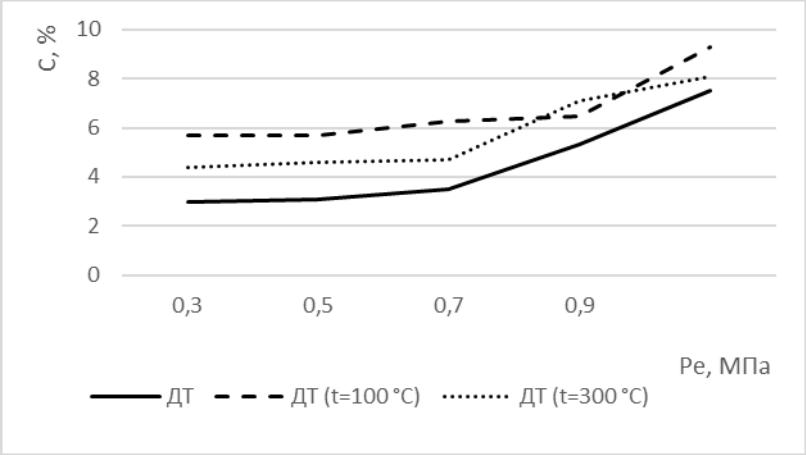


Рис. 4. Показатель уровня сажи в ОГ при максимальном крутящем моменте (n = 1400 мин$^{-1}$).

Сильный экологический вред приходится на оксиды азота NO_x. Из суммарного содержания оксидов азота в ОГ дизелей 80–90 % приходится на монооксид углерода и 10–20 % на диоксид углерода. При работе двигателя с частотой вращения коленчатого вала n = 1400 мин$^{-1}$ содержание оксидов азота увеличивается при увеличении среднего эффективного давления (характер подъема линии графика). Численные значения NO_x увеличиваются с 1491 ppm до 1560 ppm при активации топлива до 300 ºС при среднем эффективном давлении, равном 0,9 P_e.

Согласно термической теории Я. Б. Зельдовича увеличение показателя NO_x происходит при высокой локальной температуре в зоне горения при наличии свободных радикалов кислорода и азота. Скорость образования монооксида углерода меньше скорости сгорания, поэтому основная концентрация NO образуется в зонах сгорания бедной смеси на поздних стадиях горения [1, 2, 8].

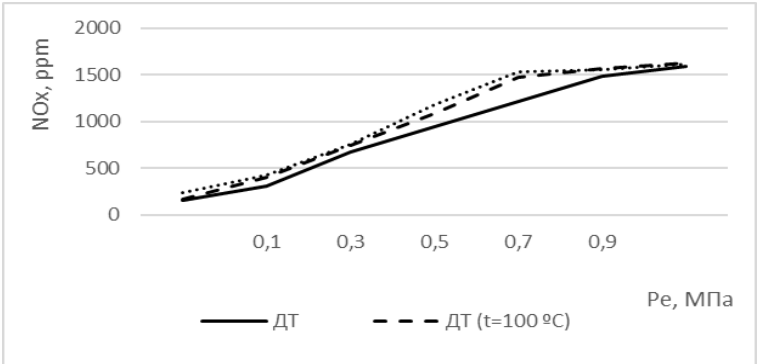


Рис. 5. Показатель уровня NO_x в ОГ при максимальном крутящем моменте (n = 1400 мин$^{-1}$)

К попутным компонентам в ОГ относится диоксид углерода (CO_2). Согласно графикам (рис. 6) наблюдается повышение выбросов диоксида углерода в ОГ с повышением среднего эффективного давления. Численные значения CO_2 при активации топлива до 300 ºС при среднем эффективном давлении, равном 0,9 P_e, составляют 8,29 %, что на 1,8 % меньше по сравнению с ДТ без подогрева.

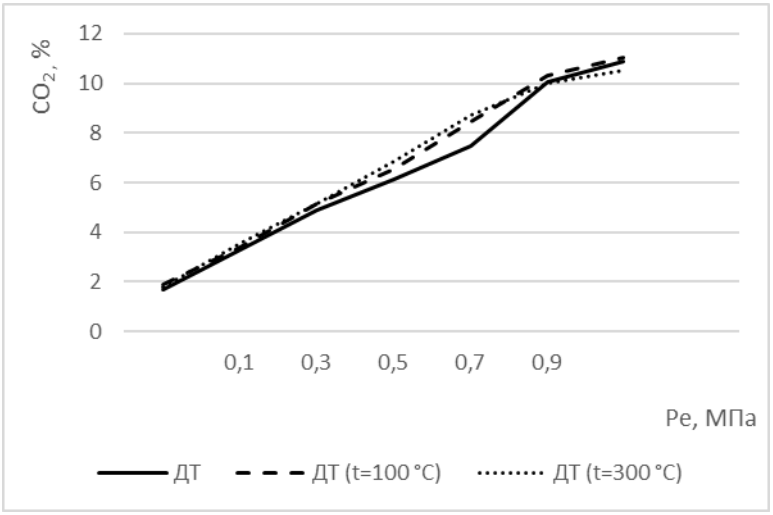


Рис. 6. Показатель уровня CO_2 в ОГ при максимальном крутящем моменте (n = 1400 мин$^{-1}$)

Предполагается, что снижение концентрации CO_2 в ОГ дизеля оказывает влияние на наличие зон бедной смеси в цилиндре двигателя [1].

Выводы:

1. Стендовые (лабораторные) испытания позволили сделать вывод о возможности работы дизеля на активированном топливе без ухудшения экологических показателей в ОГ. При этом выявлены изменения экологических параметров ОГ от разных значений среднего эффективного давления.

2. Использование активированного топлива до 300 ºС позволяет уменьшить эмиссию CO_2 на 1,8 %, а C_xH_y на 2 % по сравнению с ДТ без подогрева.

3. Эмиссия токсических компонентов в отработавших газах при работе дизельного двигателя не превышает предельно допустимой концентрации.

Библиографический список

1. Альфредович В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. Ч. 1: Анализ состава отработавших газов. Минск : БНТУ, 2016. 64с.

2. Ассад М. С., Пенязьков О. Г. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент. Минск : Беларусь, Наука, 2010. 305 с.

3. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые методы стендовых испытаний: принят принят 24.03.1988 ; действ. 01.01.1990. М. : Госстандарт России, 2001. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200010002 (дата обращения 22.01.2021).

4. ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное. Технические условия : принят 14.11.2013; действ. 01.01.2015. М. : ОАО «ВНИИ НП», 2015. URL: http://docs.cntd.ru/document/842501075 (дата обращения 22.01.2021).

5. Двигатели внутреннего сгорания / А. С. Орлин, Д. Н. Вырубов, Г. Г. Калиш и др. ; под ред. А. С. Орлина. М. : Машгиз, 1957. Т. 1. 396 с.

6. Лышевский А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. М. : Машгиз, 1963. 281 с.

7. Марков В. А., Баширов Р. М., Габитов И. И. Токсичность отработавших газов дизелей : монография. М. : МГТУ им. Э. Баумана, 2002. 378 с.

8. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени / Н. А. Чигир, Р. Дж. Вейнберг, К. Т. Боумэн и др. ; пер. с англ. под ред. Ю. Ф. Дитякина. М. : Машиностроение, 1981. 407 с.

9. Патент RU 2688131 Российская Федерация, МПК F02M 31/00, F02M 31/12, H05B 6/00, H05B 6/10 Индукционный нагреватель топлива. заявл. 09.07.2018: опубл. 17.05.2019 / Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова, П. Ю. Малышкин, А. Н. Карташевич: патентообладатель ВятГУ. 7 с.

10. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Атаманюк В. Ф. Исследование показателей работы дизеля с термофорсированием // Журнал Вестник Марийского государственного университета. 2015. С. 39–43.

11. 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.

Методы распознавания мультиспектральных изображений поверхности Земли

М. А. Погудин [a], Е. В. Медведева [b]
аспирант группы ЭРСа-1301-02-00 [a]
доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных средств [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud127070@vyatsu.ru [a], medvedeva@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Мультиспектральные изображения представляют большой интерес для решения ряда задач: мониторинга состояния почвы, растительности и водоёмов; мониторинга и оценки эффективности лесовосстановительной деятельности; контроля природопользования; выявления очагов лесных пожаров; создания геокарт и т. д. Для автоматизированного решения данных задач используют методы распознавания изображений.

Цель статьи – провести анализ методов распознавания мультиспектральных изображений и определить факторы, от которых зависит эффективность распознавания объектов на спутниковых снимках.

В работе проведен анализ разных типов данных, полученных с помощью датчиков, установленных на спутниках, самолетах и беспилотных летательных аппаратах. Обозначены требования, предъявляемые к автоматизированным системам распознавания изображений. Проанализированы характерные признаки, используемые для распознавания объектов на мульти- и гиперспектральных изображениях. Рассмотрены методы, которые используются для распределения характерных признаков пикселов по классам объектов на спутниковых снимках. Приведен сравнительный анализ характеристик некоторых известных методов распознавания изображений. Перечислены факторы, от которых зависит эффективность распознавания объектов на спутниковых снимках.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения, дистанционное зондирование Земли, методы распознавания, характерные признаки изображений.

Введение. Мультиспектральные изображения представляют большой интерес для решения ряда задач: определения типов земной поверхности (растительности, водных объектов, горных пород, почв и т. д.); оценки площадей землепользования, лесного хозяйства, затопления, природных пожаров, нефтяных загрязнений, льда; создания геокарт и т. п. Для автоматизированного решения данных задач используют методы распознавания изображений. Основными требованиями, предъявляемыми к методам распознавания в автоматизированных системах, являются точность распознавания интересующих объектов и скорость обработки данных. Эффективность распознавания мультиспектральных изображений является сложной задачей и зависит от ряда факторов: характерных признаков объектов, их размеров и количества распознаваемых классов, искажений, вызванных шумами, наличием теней, облаков и т. п. В настоящее время разработано множество методов распознавания изображений, которые

имеют свои достоинства и недостатки. В данной статье проведен анализ известных подходов и методов, применяемых для распознавания мультиспектральных изображений, с целью выбора наилучшего метода для конкретной задачи и дальнейшего его совершенствования.

Анализ методов распознавания мультиспектральных изображений. Методы распознавания спутниковых снимков определяются типом данных датчиков, которые устанавливаются на спутниках, самолетах, беспилотных летательных аппаратах. Используемые для съемки датчики делятся на две большие группы: активные и пассивные [1]. Активные датчики: лазеры, радары – испускают сигналы, которые отражаются от объектов и добавляют информацию о них в общее хранилище. Такие датчики могут видеть сквозь облака и выявлять объекты, которые невозможно обнаружить другими средствами, позволяют детектировать границы затененных объектов, а также выполнять съемку в ночное время. Пассивные датчики собирают информацию об объектах от естественного источника излучения и могут работать как в видимом диапазоне, так и за его пределами.

Пассивные датчики, в свою очередь, подразделяются на мультиспектральные и гиперспектральные. Мультиспектральные датчики собирают информацию в трех-десяти широкополосных диапазонах отражения, а гиперспектральные системы используют несколько сотен узкополосных каналов, что делает возможным наблюдение более детальных спектральных сигнатур [1]. Снимки в видимом спектре представляют собой наборы пикселов, выраженных как глубина красного, зеленого и синего цветов (RGB). Изображения в естественной цветовой гамме не так ярки, как другие типы изображений. Видимость объектов на изображениях зависит от комбинации используемых спектральных каналов. Это связано с тем, что объекты разных типов по-разному отражают и поглощают электромагнитное излучение в том или ином диапазоне длин волн. При комбинировании разных каналов можно узнать информацию о горных породах, растительном покрове, состоянии водоемов, о типах сельскохозяйственных посевов и пр. Например, в видимом красном спектральном канале (длина волны 0,63–

0,69 мкм) можно различать множество разновидностей растений, определять границы почв [1, 2]. А видимый синий канал (длина волны 0,45–0,52 мкм) предназначен для отображения побережий, наносов; дифференциации грунта от растительности, картографирования типов леса, обнаружения искусственных сооружений [1, 2]. Поэтому для лучшей визуализации и распознавания определенных типов объектов используют подход на основе преобразования цвета или комбинации трех или четырех разных спектральных каналов.

Основой методов распознавания является определение отличительных признаков объектов спутниковых снимков, составление вектора значений признаков и распределение объектов по классам признаков. Признаки должны обладать хорошей способностью разделять объекты разных классов, сближая при этом объекты одного класса, и быть устойчивыми к внешним изменениям.

Для выделения характерных признаков выполняют пространственное или спектральное преобразование мульти- или гиперспектрального изображения [6, 8].

Для обнаружения на спутниковых снимках объектов, имеющих четкие границы и незначительное изменение яркости пикселей внутри объекта (дорог, рек, искусственных строений), выполняют оценку контуров, их геометрические признаки, а также яркость или цвет. Для обнаружения контуров используют методы: Робертса, Превитта, Собела, Лапласа, Лапласиана Гауссиана, Канни, Харриса и другие [1, 3]. Наиболее общим способом нахождения контуров является свертка яркостей изображения в пределах скользящего окна с весовыми коэффициентами маски, вычисление характерной величины (первой, второй производной, контрастности, энтропии и т. д.), которая может принимать широкий спектр значений, и сравнение ее с порогом. Методы, использующие информацию о контурах, не требуют проведения обучения или заготовки специальных шаблонов и позволяют обнаруживать границы объектов любых размеров и форм. Также контурные точки составляют незначительную часть всех точек на изображениях, работа с ними позволяет сократить объем обрабатываемой информации и повысить быстродействие систем обработки изображений. Недостатком контурных методов является их низкая устойчивость к шуму, изменению освещенности и т. п.

Для обнаружения областей с нечетко выраженными границами и характерной текстурой, таких как растительность, поля, почва, горные массивы, применяют методы на основе извлечения признаков текстуры. Существуют различные подходы к обнаружению текстурных областей [1, 3–10]:

– на основе вычисления статистических характеристик (контрастности, второго углового момента – ASM, момента обратных разностей, корреляции, дисперсии, энтропии и т. п.) [1];

– на основе алгоритмов обработки сигналов для извлечения признаков текстуры (дискретного косинусного, вейвлет- и шиарлет-преобразований) [6, 8, 10];

– на основе описания текстур как примитивов с некоторыми свойствами (средней интенсивности яркостей элементов, периметра, площади, ориентации и т. п.) и сравнение их с шаблоном для каждой текстуры [1, 6];

– на основе моделей, включающих фрактальные методы, авторегрессионную модель [1, 6].

Для спутниковых изображений характерно, что текстурные области достаточно протяженны, имеют однородные статистические характеристики внутри области и различные для разных областей. В этом случае весьма эффективным показал себя метод на основе многомерных цепей Маркова с двумя состояниями и матрицами вероятностей переходов размером 2×2 [3–5]. При использовании математической модели на основе двумерной цепи Маркова и вероятностей переходов между элементами изображения отличных на 0,15 для разных текстурных областей ошибка классификации не превышала 6 % [3–5].

Многие из известных методов позволяют выделять объекты интереса ограниченного класса с вектором признаков небольшой размерности. Для повышения точности выделения областей интереса используют совокупность различных методов обнаружения или больший набор признаков, что усложняет обработку данных.

Вектор значений признаков применяется для маркировки всех пикселов и распределения объектов по классам признаков. Для распределения характерных признаков пикселов по классам используются методы [1, 11–13]: кластериза-

ции, метод главных компонент, факторный анализ, линейный дискриминантный анализ, метод опорных векторов.

В последнее время новым подходом к распознаванию мультиспектральных снимков стало использование искусственных нейронных сетей, позволяющих получить высокую точность обнаружения и распознавания объектов интереса на определенном наборе данных [14, 15]. С точки зрения нейросетевого подхода задачу распознавания изображения можно рассматривать как задачу аппроксимации функции n переменных. Известно, что многослойный персептрон способен сформировать на выходе произвольную многомерную функцию, что и обусловливает возможность применения сети данного типа для задач выделения и распознавания объектов. К недостаткам нейросетевых методов следует отнести наличие большого объема выборки данных для обучения алгоритма и значительных вычислительных мощностей. Также методы на основе нейронных сетей имеют недостаточную гибкость. Например, в случае необходимости выделения объектов, относящихся к другому биому на мультиспектральных изображениях, возникает необходимость повторного обучения сети на новых изображениях.

Все методы обладают своими достоинствами и недостатками. В таблице приведены характеристики некоторых известных методов распознавания объектов на мульти- и гиперспектральных изображениях.

Характеристики распознавания объектов известными методами

Методы	Описание изображения	Точность, %	Время обработки	Конфигурация компьютера
Кластерный анализ и метод опорных векторов [11]	RGB-композит, 610x340, 9 классов	82	2 мин	Intel Core i5 с 2.2 GHz и 2 GB RAM
Комбинирование метрического, байесовских классификаторов и метода опорных векторов [12]	4 класса пород деревьев 1200x500	70-97	–	–
Метод максимального правдоподобия [13]	Оптический диапазон	84.3	–	–
Трехмерная сверточная нейронная сеть (3D-CNN) [14, 15]	16 классов различных поверхностей	99.07	–	–
Извлечение цветовых и текстурных признаков [4, 5]	400x350 класса	92.6	16.4 сек	–

Выводы. Значительный рост объемов обрабатываемой информации, получаемой с помощью средств ДЗЗ, требует совершенствования известных и разработки новых методов для эффективной обработки поступающих данных. Из анализа известных подходов и методов распознавания мультиспектральных снимков следует, что эффективность распознавания объектов зависит от выбранных спектрально-пространственных признаков, от комбинации спектральных каналов, от применяемых алгоритмов классификации. Повысить точность распознавания объектов можно за счет комплексной обработки данных от разных типов датчиков за счет снижения влияния теней, заслонения облаками и т. п. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку метода распознавания целевых объектов на спутниковых снимках, использующего подход на основе комбинации разных спектральных каналов и комплексной обработки разных типов данных.

Библиографический список

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М. : Техносфера, 2010. 594 с.
2. Иванов Е. С. Некоторые приложения сегментации снимков ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 105–116.
3. Medvedeva E., Kurbatova E. Image segmentation based on two-dimensional markov chains // Intelligent Systems Reference Library. 2015. Т. 75. С. 277–295.
4. Improving the accuracy of detecting the edges of texture objects in remote sensing images / E. V. Medvedeva, A. I. Evdokimova. // Proceedings of the 5th Information Technology and Nanotechnology 2019: Image Processing and Earth Remote Sensing, Samara, Russia, 21–24 May. 2019. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2391/paper48.pdf (accessed 04.02.2021).
5. Медведева Е. В., Курбатова Е. Е., Окулова А. А. Текстурная сегментация зашумленных изображений поверхности земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 20–28.
6. A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: the Role of Spatio-contextual Information / M. Li., S. Zang, B. Zhang, S. Li, C. Wu // European Journal of Remote Sensing. 2014. Vol. 47. P. 389–411.
7. Borne F. Texture-based classification for characterizing regions on remote sensing images // Journal of Applied Remote Sensing. 2017. Vol. 11 (3). P. 16.
8. Analysis of wavelet packet and statistical textures for object-oriented classification of forest-agriculture ecotones using SPOT 5 imagery / W. Su, C. Zhang, J. Yang, H. Wu et al. // International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33 (11). P. 3557–3579.
9. Yuan, J., Wang D. L. Remote sensing image segmentation by combining spectral and texture features // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2014. Vol. 52 (1). P. 16–24.
10. Симонов К. В., Кириллова С. В., Кадена Л. Анализ данных экологического мониторинга на основе шиарлет-преобразования // Информатизация и Связь. 2013. № 2. С. 125–127.
11. Бериков В. Б., Пестунов И. А., Караев Н. М., Тевари А. Распознавание гиперспектральных изображений с использованием кластерного ансамбля и частично контроли-

руемого обучения // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов : труды всероссийской конференции. Новосибирск. 2017. С. 60–64.

12. Дмитриев Е. В., Дементьев А. О., Козодеров В. В. Комплексирование классификаторов в задаче тематической обработки гиперспектральных аэрокосмических изображений // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов : труды всероссийской конференции. Новосибирск. 2017. С. 80–87.

13. Борзов С. М., Потатуркин О. И., Гурьянов М. А. Комплексная классификация трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным изображениям // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов: труды всероссийской конференции. Новосибирск, 2017. С. 80–87.

14. Иванов Е. С., Тищенко И. П., Виноградов А. Н. Сегментация мультиспектральных снимков с применением свёрточных нейронных сетей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 25–34.

15. Li Y., Zhang H., Shen Q. Spectral-spatial classification of hyperspectral imagery with 3D convolutional neural network // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. № 1. P. 67.

Использование лазерной обработки для управления свойствами материалов

А. С. Погудина [a], Д. В. Остальцева [b], М. З. Певзнер [c]
аспирант группы МСа-1802-05-00 [a]
студент группы МСм-1801-02-00 [b]
кандидат технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a ,b, c]
E-mail: stud127063@vyatsu.ru [a], stud123756@vyatsu.ru [b], usr07911@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Передовые инновационные технологии находят все большее применение в современном производстве. Лазерная обработка материалов – одна из них. Особенностью, определяющей современный уровень производства, является внедрение наукоемких технологий. Использование лазерных технологий обеспечивает высокое качество обрабатываемых поверхностей, заданную производительность процессов, экологическую чистоту и экономное расходование материальных ресурсов. Лазерные технологии позволяют нанести покрытие или изменить свойства различных материалов: металлов, пластмасс, древесины, бумаги. Улучшение эксплуатационных свойств изделий из металла при различных видах лазерной обработки связано с изменением структурного состояния, фазового и химического составов поверхностных слоев. Лазерный луч как концентрированный источник тепла позволяет выполнять различные виды локальной термической обработки. Его применение в процессе обработки поверхностей металлических деталей повышает их твердость и износостойкость. При использовании лазерных технологий глубинные слои детали не нагреваются, не возникают внутренние напряжения, отсутствует деформация и изменение геометрических размеров. В работе рассмотрены классификация методов лазерной обработки по технологическим признакам.

Ключевые слова: лазерная обработка, лазерное упрочнение, поверхностная обработка.

Введение. Лазерная обработка позволяет обрабатывать многие материалы, включая большинство металлов и их сплавы, независимо от их теплопроводности и физических свойств. При лазерной обработке отсутствует механическое воздействие на материал, в результате чего появляется возможность выполнения обработки материала с высочайшей точностью, включая нежесткие и легкодеформируемые материалы.

Одной из проблем в машиностроении, которая актуальна и в настоящее время, является разработка эффективных технологий обработки, при которых обеспечиваются требуемые свойства рабочих поверхностей деталей

Целью данного исследования является рассмотрение возможности использования лазерной обработки для управления свойствами материалов.

Методы исследования Требования к процессу обработки: получение слоя на поверхности материала с заданными свойствами; локальность процесса упрочнения; отсутствие коробления; получение нужной шероховатости по-

верхности; улучшение износостойкости и коррозионной стойкости; автоматизация процесса.

Данные свойства материала можно получить двумя путями:

– изменяя технологию выполнения работ;

– изменяя уровень плотности мощности лазерного излучения.

Методы лазерной обработки можно классифицировать по технологическим признакам (см. рисунок) [1].

Классификация методов поверхностной лазерной обработки по технологическим признакам

Термическая обработка с использованием лазерного излучения включает в себя лазерную закалку, отжиг и отпуск.

Для проведения процесса лазерной закалки локальный участок поверхности крупной детали нагревают с помощью излучения до сверхкритических температур. По окончании воздействия излучения на деталь, в результате теплоотвода во внутренние слои металла, происходит охлаждение обработанного участка с большой скоростью. При этом в сплавах образуются закалочные структуры с высокой твердостью поверхности.

Лазерный отжиг применяют для обработки тонких деталей. Их толщина должна быть соизмерима с размерами зоны лазерного воздействия. Данная тех-

нологическая операция заключается в нагреве лазерным лучом закаленных деталей до температур ниже критических.

Лазерный отпуск представляет собой высокоскоростной нагрев металла. Данную операцию используют с целью повышения пластичности в локальных участках закаленных деталей.

Лазерное оплавление – это технологическая операция, служащая для улучшения качества поверхности обрабатываемой детали. С помощью лазерной установки производят оплавление поверхности детали. При этом режимы обработки подбирают таким образом, чтобы получить наилучшую микрогеометрию поверхности, соответствующую требованиям [2]. Скорость охлаждения при этом, как правило, не регламентируется. Отсутствие требований обусловлено тем, что при процессе аморфизации скорость охлаждения должна быть максимальной для получения аморфного состояния в оплавленном слое, поэтому глубина оплавления не должна превышать 50 мкм.

Оплавление поверхности как технологический процесс используется для повышения качества поверхности, при этом уменьшаются размеры пор в материале, получаем необходимую шероховатость, улучшаются антикоррозионные свойства.

Для получения поверхностных покрытий деталей, как правило, используют такие методы, как легирование поверхности и наплавка. В данном случае технологический процесс заключается в следующем: участок поверхности нагревают до температуры выше температуры плавления. Далее в зону оплавления вводят легирующие компоненты. В результате данной операции образуется поверхностный слой с химическим составом, отличным от состава основного металла.

Вакуумно-лазерное напыление представляет собой процесс испарения материала с участка поверхности используемого материала под воздействием лазерного излучения в вакууме и процесс конденсации испарившихся продуктов на поверхности обрабатываемого изделия.

Ударное воздействие лазерного излучения – это одна из технологий лазерного упрочнения. Данный способ обработки материалов называют наклепом. Технологический процесс проведения лазерного ударного упрочнения представ-

ляет собой следующее: поверхность, которую необходимо подвергнуть обработке, покрывают непрозрачным для лазерного излучения слоем, обладающим низкой температурой испарения [3]. Такими свойствами обладает черная краска, металлическая фольга или лента. Поверх «непрозрачного слоя» размещают «прозрачный слой», роль которого наиболее часто выполняет вода. Энергия лазерного импульса поглощается непрозрачным слоем, что вызывает его нагрев, испарение и формирование высокотемпературной плазмы. Данный слой ограничен, с одной стороны, поверхностью материала, а с другой – прозрачным слоем, который сдерживает распространение высокой температуры плазмы. Вследствие ограниченности объема давление газа резко возрастает до высоких значений и воздействует на металл, создавая в нем ударную волну, приводящую к появлению в материале сжимающих напряжений. Лазерное ударное упрочнение повышает сопротивление усталости, способствует длительной прочности, повышает стойкость к коррозионному растрескиванию деталей, эксплуатируемых в условиях повышенных температур и циклических нагрузок [4, 5].

Результаты исследований, их обсуждение. Объектом данной статьи является лазерное упрочнение ленточнопильной стали 9ХВ на станке с твердотельным ND+3:YAG-кристаллическим лазером. При решении поставленных в статье задач использовались следующие методы: механические испытания, металлография, методы математической статистики для обработки экспериментальных данных и полный факторный эксперимент. Статистический анализ экспериментальных данных проводился с помощью программы MS Excel на основе теоретических рекомендаций. Для этого был запланирован и проведен полный факторный эксперимент с целью изучения влияния трех основных факторов (плотности мощности лазера, частоты лазерных импульсов и скорости лазерной головки). Для нахождения оптимальных режимов лазерной закалки, влияющих на качество закалки, был проведен полный факторный эксперимент, учитывающий влияние трех основных производственных факторов: скорости движения υ, частоты следования импульсов f и энергии лазерного импульса W. Измеренное значение y – это глубина затвердевшего слоя. Ток насоса I = 50 А.

Постоянным параметром является диаметр сфокусированного лазерного излучения d = 1 мм. Условия эксперимента были определены на основе предварительного эксперимента и анализа текущего состояния исследуемой задачи.

Однородность дисперсии проверялась с помощью критерия Кокрейна. Для расчета коэффициентов регрессионного уравнения использовался метод наименьших квадратов. Гипотеза о статической значимости коэффициентов регрессии была выдвинута с помощью критерия Стьюдента. Полученная математическая модель оценивалась с помощью критерия Фишера.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была подтверждена дисперсионная однородность образцов, то есть корреляция между рассматриваемыми значениями.

Анализ, проведенный по критерию Фишера, дал положительный результат.

Выводы. На основе полученной математической модели установлена возможность регулирования глубины упрочнения участка ленточных металлообрабатывающих пил путем изменения параметров энергии импульса и скорости движения. Частота повторения импульсов в выбранном диапазоне не оказывает существенного статистического эффекта. По мере увеличения энергии импульса температура в зонах лазерного луча увеличивается, при этом увеличивается и глубина упрочненной области. В данном случае скорость движения лазерной головки влияет на время воздействия лазерного излучения; чем выше его значение, тем меньше глубина затвердевшего участка. Однако с увеличением скорости абсолютные значения поверхностной твердости становятся выше.

Библиографический список

1. Овчинников В. В. Технология термической обработки : учеб. М. : ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФА-М, 2016. 320 с.

2. Костюк Г. И., Руденко Н. В. Лазерное упрочнение легированных сталей // Авиационно-космическая техника и технология. 2012. № 2. С. 23–27.

3. Балдаев Л. Х., Ишмухаметов Д. З., Ершов М. В., Шарыгин В. С. Особенности процесса лазерного оплавления газотермических покрытий // ТПА. 2014. № 6(75). С. 40–42.

4. Sergeev D. G., Marinin E. A., Marinina N. I., Durseneva M. D. The choice of pulse laser radiation modes for hardening a metal cutting saw // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 971(3). P. 032024.

5. Marinin E., Sergeev D., Marinina N. The capability of pulsed laser radiation for cutting band saws hardening // MATEC Web of Conferences. 2017. 129. P. 01013.

Алгоритм автоматизированного нормоконтроля работ обучающихся образовательного учреждения

В. Н. Поздин [a], Е. А. Выймова [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления [a]
студент группы ИТм-1301 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00324@vyatsu.ru [a], stud123722@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В документообороте университета содержится огромное количество данных в виде документов, поступающих от студентов на проверку преподавателям. Эти документы подлежат обязательной проверке на правильность оформления, однако ручная проверка работ, как правило, занимает немало времени проверяющего, и существование программного обеспечения, которое способно в кратчайшие сроки выявить все ошибки, могло бы очень помочь преподавателям. Таким образом, цель статьи – разработать подход к обработке учебных документов, позволяющий проверять их на правильность оформления. Рассматривается подход к решению данной проблемы путем парсинга html-документа с применением регулярных выражений; для дальнейшей формализации результатов проверки выбран дополнительный метод, который заключается в применении готового макроса, написанного на языке Visual Basic for Application. На основе данного подхода составлен алгоритм, который заложен в основу реализации проекта.

Ключевые слова: нормоконтроль, правила оформления, парсинг, регулярные выражения, макрос.

Введение. Активное использование большого количества данных прослеживается во всех сферах общественной жизни. В частности, огромную важность имеет организация работы с документами в сфере образования. Деятельность любого образовательного учреждения подразумевает использование большой массы локальных и федеральных (муниципальных) нормативных документов, учетных и отчетных документов в сфере хозяйственной деятельности, методической и учебной документации в сфере основной учебной деятельности.

При этом подавляющая часть этого списка, а именно: пояснительные записки выпускных квалификационных работ, курсовых работ и проектов, а также отчеты по лабораторным работам и практикам – подлежит как обязательной проверке преподавателем на содержание, так и обязательному нормоконтролю, поскольку каждый документ должен быть оформлен в соответствии с определенными требованиями и нормами.

У каждого университета свои правила оформления, определяемые локальными нормативными актами, ссылающимися на государственные стандарты документации, и все документы, оформляемые студентами вуза, должны со-

ответствовать данным правилам. Однако на самом деле это требование выполняют далеко не все, и ручная проверка работ с целью выявления ошибок, как правило, занимает у преподавателя немало времени, поэтому задача является на данный момент актуальной. Характерным явлением современности стало одновременное ужесточение требований к соблюдению нормативов документирования и автоматизация обработки электронной документации, в отсутствие которой выполнение этих требований становится просто невозможным.

Решением данного вопроса является программное приложение, автоматически проверяющее работу обучающегося образовательного учреждение на соответствие правилам данного учреждения. Поскольку на данный момент нет готовых решений, необходимо составить новый подход, который должен быть заложен в основу программной реализации.

Ведущий подход. Поскольку отчеты и пояснительные записки, как правило, присылаются студентами в форматах .doc, .docx и .rtf, следует главным образом рассматривать методы работы с word-документами, среди которых можно выделить три основных.

Один из методов заключается в работе с деревом документа Word посредством языка Visual Basic for Application (далее – VBA). Этот язык позволяет создавать программы, выполняемые в среде Microsoft Office [3].

Для работы таким способом нужно создать или загрузить готовый макрос. После его вызова макрос должен обработать текст и найти ошибки оформления, затем сформировать список ошибок и вывести его в виде примечаний в исходном документе.

При вызове готового макроса из проекта в макрос можно передать необходимые параметры, однако затем макрос работает автономно с документом. Следовательно, результаты проверки отображаются сразу в документе, тогда как данные результаты нужны и проекту для формирования общей статистики. Поэтому данный метод нельзя использовать как основной.

Однако метод можно использовать как вспомогательный, поскольку он с помощью макросов позволяет изменять структуру word-документов и благода-

ря простому добавлению примечаний позволяет самым наглядным образом представлять пользователю, где находится ошибка и в чем ее суть.

Второй метод заключается в работе со структурой документа. Если переименовать любой файл .docx в .zip, а затем открыть, то можно увидеть структуру docx-файла. Каждый docx-файл может представлять собой zip-архив. В этом архиве находится папка word, в которой находятся общие настройки документа, а именно файл document.xml, который представляет собой файл с содержимым Office Open XML. Именно этот файл содержит в себе непосредственно содержимое документа [4].

Поскольку в данном файле находится структура документа на языке разметки XML, работать при использовании данного способа необходимо с тэгированным текстом. Поскольку к тэгированному тексту достаточно просто составить шаблоны, а для парсинга языков разметки есть изрядное количество библиотек во многих языках программирования, то для работы с тэгированным текстом лучше всего подходит метод применения парсинга совместно с регулярными выражениями [1, 2].

Следовательно, данную структуру текста можно обработать методом использования парсинга совместно с регулярными выражениями, заключающимся в использовании заранее составленных шаблонов, после чего программой формируется список ошибок, который должен выводиться пользователю.

Таким образом, структуру можно посмотреть только у файлов формата .docx, однако отчеты нужно обрабатывать также форматах .doc и .rtf.

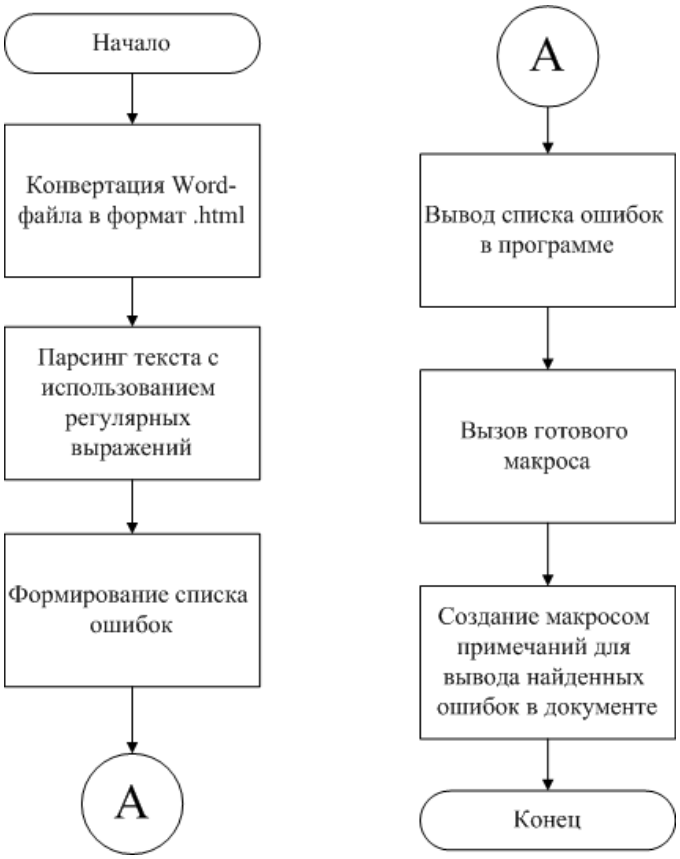
Третий метод – это работа со структурой документа, представленного в формате .html. Предварительно программа должна конвертировать присланный отчет в формате .doc, .docx или .rtf в формат .html. Далее новый документ сохраняется в папку Temp, после чего осуществляется его парсинг с применением регулярных выражений. В структуре документа, представленного в формате .html, прописаны необходимые для проверки отчета параметры, такие как начертание, размер шрифта, размер верхнего и нижнего отступа, выравнивание и т. д. Таким образом, на основе строго структурированного документа можно составить уни-

версальные шаблоны, которые применимы к отчетам в любом формате, а далее обработать текст ранее упомянутым методом парсинга совместно с регулярными выражениями, в результате которого сформируется список ошибок.

Результат – метод работы с документом, представленном на языке HTML, наиболее подходящий для создания программы, позволяющей проверять правильность оформления отчетов и пояснительных записок студентов. Совместно с ним можно использовать метод с использованием языка VBA, который позволяет осуществлять вызов макросов для последующей формализации результатов поиска ошибок в документе.

Таким образом, можно составить алгоритм поиска ошибок оформления в отчетах и пояснительных записках (см. рисунок).

Его суть заключается в парсинге документа формата .html с применением регулярных выражений для непосредственного поиска ошибок, после чего необходимо запустить заранее подготовленный макрос, написанный на языке VBA, для наглядного вывода пользователю информации о найденных ошибках.



Итоговый алгоритм поиска ошибок оформления

Также на базе данного алгоритма был разработан прототип, для которого предусмотрена возможность гибкой настройки шаблонов с помощью использования ini-файлов, которые хранят заданные пользователем параметры приложения.

Выводы. В статье изучена проблема избытка данных в документообороте университета и отсутствия средств для их автоматизированной проверки на соответствие правилам оформления. Также рассмотрены способы работы с word-документами, на основе которых составлен алгоритм поиска ошибок оформления в отчетах и пояснительных записках студентов, суть которого заключается в парсинге документа формата .html с применением регулярных выражений и в последующем применении макроса, написанного на языке программирования Visual Basic for Application.

На основе составленного алгоритма необходимо разработать программное приложение, которое позволит осуществлять автоматизированную проверку текста на соответствие правилам оформления. Данные правила составлены с помощью кастомизированных шаблонов. В результате проверки формируется список ошибок, который далее наглядно представляется пользователю в виде комментариев в исходном проверяемом документе.

Библиографический список

1. Денисова Д. С. Регулярные выражения // Научная гипотеза. 2018. № 5. С. 37–43.
2. Курова Д. Н., Ушаева Д. В. Анализ методов парсинга XML на языке программирования C# // Вестник Дмитровградского инженерно-технологического института. 2017. № 1 (12). С. 69–73.
3. Пустовалова Н. Н., Коровкина Н. П. Использование компьютерных технологий в преподавании инженерных дисциплин // Вышэйшая школа: навукова-метадычны і публіцыстычны часопіс. 2013. № 3 (95). С. 36–39.
4. Честная генерация DOCX на PHP. Часть 1. URL: https://habr.com/ru/post/138666/ (дата обращения: 01.12.2020).

Основные тренды развития беспроводных сетей передачи данных

Д. Е. Прозоров [a], Е. А. Романенко [b]
доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных средств [a]
аспирант группы ЭРСа-2301-02-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00338@vyatsu.ru[a], stud118213@vyatsu.ru[b],

Аннотация. Рассмотрены основные стандарты и протоколы физического, канального и сетевого уровней беспроводных сетей передачи данных (БСПД). Выполнен анализ основных трендов развития технологий передачи данных БСПД. Представлены приоритеты разработок беспроводных технологий, стандартов и протоколов следующего поколения, к которым относятся: серия стандартов 802.11, в первую очередь – 802.11ax; 5G-технологии и протоколы передачи данных; высокоскоростные стандарты и протоколы беспроводной передачи данных (WiGig, FWA mmW, высокоскоростной Bluetooth); стандарты и протоколы персональных сетей и интернета вещей (WPAN и LPWAN) в части улучшения интеграции с Wi-Fi-сетями, улучшения роуминга IoT-устройств, развитие Edge Computing – периферийных вычислений; стандарты и протоколы, направленные на конвергенцию сетей Wi-Fi с сотовыми и мобильными сетями.

Ключевые слова: беспроводные технологии, протокол, OSI.

Введение. Разработчикам и пользователям оборудования инфокоммуникационных сетей важно ориентироваться в текущем состоянии и основных тенденциях развития систем и средств передачи данных. В данной статье кратко обозначены тренды развития беспроводных сетей передачи данных (БСПД), обозначенные альянсом производителей беспроводного оборудования WBA[1] и консорциумом 3GPP [2], разрабатывающим технические спецификации и отчеты в области сетевых технологий и радиодоступа в мобильных системах.

В соответствии со стандартной моделью OSI выделяют следующие функциональные уровни: физический, канальный, сетевой, транспортный, сеансовый, представления, прикладной. Некоторые авторы дополнительно добавляют верхний – «пользовательский», или «политический», уровень, который делится на уровень 8 (индивид), 9 (организация) и 10 (государство или правовые нормы) [1, 2].

В данной статье акцент смещен на вопросы передачи данных (уровни L1/L2), маршрутизации (уровень L3) и безопасности (в основном уровни 6–8).

[1] Wireless Broadband Alliance.
[2] 3rd Generation Partnership Project.

Основные технологии БСПД

На текущий момент БСПД могут быть построены на базе широкого спектра протоколов L1/L2-уровней, среди которых наиболее распространены:

– IEEE 802.11 – базовый стандарт WiFi и его разновидности: 802.11 a/b/g/n/ac; обеспечивают скорости передачи данных от 2 Мбит/с (802.11) до 1.3 Гбит/с (802.11ac) в частотных диапазонах 2.4 ГГц (802.11 a/b/g) и 5 ГГц (802.11n/ac).

– IEEE 802.11ad (WiGig) – стандарт широкополосной беспроводной связи в нелицензируемой полосе частот 60 ГГц; обеспечивает передачу данных до 7 Гбит/с на расстояниях до 10 метров.

– IEEE 802.11s (т.н. «Mesh-сети») – стандарт частично затрагивает сетевой уровень; поддержка маршрутизации осуществляется в основном на базе протокола HWMP (хотя стандарт предусматривает возможность использования и других протоколов маршрутизации).

– IEEE 802.15.1 – персональные сети WPAN/Bluetooth; радиус действия – до 100 м, скорость передачи данных – до 5 Мбит/с (v.5). Существуют реализации как для энергоэффективных, так и для высокоскоростных приложений. Bluetooth 5.x имеет высокую совместимость с протоколами интернета вещей (IoT). Bluetooth 5.1 поддерживает оценку расстояния и направления до Bluetooth-устройств.

– IEEE 802.15.3 – стандарт высокопроизводительных персональных беспроводных сетей (High Rate WPAN). 802.15.3c поддерживает высокоскоростную (5 Гбит/с) передачу данных в диапазоне (57...66 ГГц).

– IEEE 802.15.4 a/b/c/d – серия спецификаций ZigBee, ориентированных на реализацию масштабируемых БСПД с невысокой скоростью передачи данных. Радиус действия передатчиков – до 80 м, низкое энергопотребление, скорость передачи данных – до 250 кбит/с.

– IEEE 802.15.5 – разрабатываемый стандарт; позволяет строить WPAN-устройств совместимые, стабильные и масштабируемые БСПД.

– IEEE 802.16 d/e/m – стандарты WiMAX, WiMAX2, в том числе с поддержкой технологий WirelessMAN-SC, WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM,

WirelessMANOFDMA, WirelessHUMAN. Предназначены для высокоскоростной связи на больших расстояниях. При использовании MIMO-технологий обеспечивает скорость до 75 Мбит/с при дальности линии связи 80 км.

Менее распространены:

– UWB – ультрасверхширокополосные сети;

– HiperMAN – стандарт, созданный Европейским институтом стандартизации электросвязи (ETSI); является европейской альтернативой WiMAX (IEEE 802.16) и корейской технологии WiBro.

Отдельно следует отметить технологии, основанные на других физических принципах:

– Li-Fi (light-fidelity) на основе оптических каналов связи; используется в том числе для систем повышенной конфиденциальности;

– квантовые (оптические и радио) сети передачи данных – используют механизмы квантового распределения ключей (QKD) для минимизации вероятности несанкционированного доступа.

Одним из наиболее быстро развивающихся сегментов БСПД являются т. н. сенсорные сети. Основные технологии и стандарты сенсорных сетей: DASH7, Z-Wave, Insteon, EnOcean, ISA100.11a (промышленные сенсорные сети, сети датчиков и приводов), WirelessHART, MiWi, 6LoWPAN, One-Net (для автоматизации зданий и управления распределёнными объектами), Wavenis.

Сенсорные сети по сфере применения сильно пересекаются с интернетом вещей (IoT) и технологиями M2M (межмашинного взаимодействия). В сетях IoT, помимо технологий сенсорных сетей, используются стандарты NB-IoT (Narrow Band Internet of Things), EC-GSM-IoT, eMTC (enhanced Machine Type Communication), LoRa, SIGFOX, Weightless W/N/P/H, СТРИЖ (российская разработка на основе LPWAN).

Тренды развития технологий L1/L2-уровней БСПД

Оценка масштабов распространения оборудования, поддерживающего основные беспроводные стандарты (на основе опросов производителей), представлена на рис. 1. В перспективе до 2024 г. предполагается наибольший рост в части поставок оборудования с поддержкой 802.11ax (Wi-Fi 6) [3, 4].

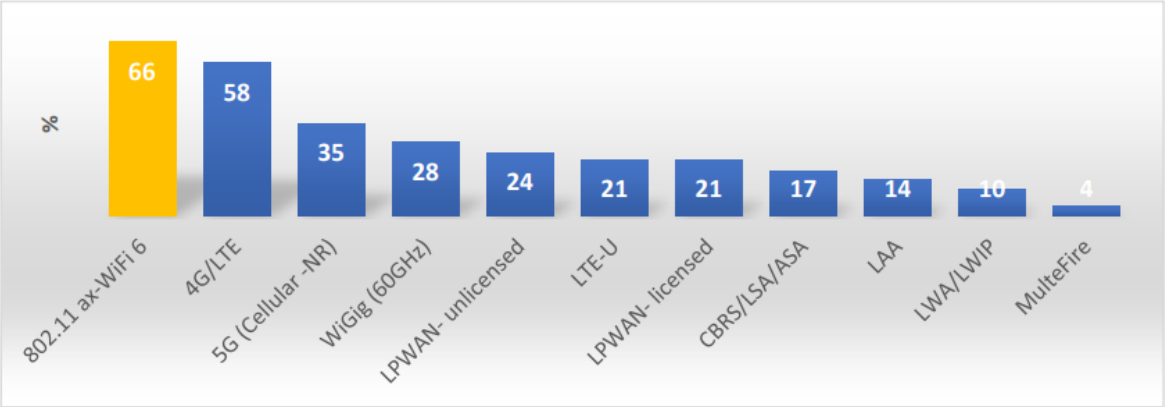


Рис. 1. Прогноз распространения беспроводных стандартов [5]

Анализ показывает, что производители нацелены на расширение зон покрытия БСПД, конвергенцию WiFi-сетей с сотовыми сетями, развитие различных типов децентрализованных БСПД и сетей межмашинного взаимодействия: M2M, IoT, adhoc, MANet, VANet и т. п. [6] Основными ориентирами при этом являются:

– обеспечение скорости передачи данных 1–10 Гбит/с;

– снижение задержек доставки данных до 1 мс;

– десяти-стократное увеличение количества подсоединенных устройств;

– достижение коэффициента доступности до 99,999 %;

– обеспечение100 %-го покрытия;

– 90 %-е сокращение потребления энергии сетевыми устройствами;

– увеличение жизни батарей до десяти лет для энергоэффективных M2M-приложений.

Ежегодные отчеты альянса Wireless Broadband Alliance (WBA) – альянса производителей WiFi – показывают ориентацию на достижение следующих целей.

1) Развитие WiFi-сетей следующего поколения:

– внедрение стандарта WiFi 6 (802.11ax);

– использование высокочастотных диапазонов: Millimeter wave for Fixed Wireless Access (FWA mmW) – 60 ГГц, 802.11ad/ay;

– внедрение «умных» устройств (когнитивные технологии) и услуг на основе определения местоположения;

– развитие технологий связи между транспортными средствами;

– внедрение технологий Edge Computing (периферийных вычислений), поддержка обработки данных узлами сети – смартфонами, датчиками и проч. Edge computing позволяет распределить вычислительные затраты на обработку собираемой информации. Ещё одна сфера применения – мониторинг сетевой безопасности.

2) Расширение сервисов:

– дальнейшее развертывание точек доступа нового поколения NGH (Next Generation Hotspot), WRIX (стандартов роуминга), RadSec (защищенного протокола передачи данных сервера RADIUS); улучшение протоколов взаимодействия NGH;

– оптимизация архитектуры WiFi для голосовых вызовов;

– продолжение работ над реализацией глобальной сети передачи данных на основе летательных аппаратов;

– конвергенция 5G-сетей и RAN (сетей доступа);

– развитие протоколов многопутевой передачи данных (многопутевая маршрутизация).

3) Развитие IoT (интернета вещей):

– развитие протоколов динамической маршрутизации IoT WiFi;

– интеграция IoT и LoRa-протоколов;

– расширение технологий NGH, WRIX и Passpoint для включения устройств и услуг IoT.

4) Расширение сотрудничества:

– сотрудничество NGMN (Next Generation Mobile Networks – ассоциации мобильных телекоммуникаций), GSMA (ассоциации операторов GSM), 3GPP, альянса WiFi и IEEE в сфере стандартизации, промышленных задач.

5) Повышение безопасности и конфиденциальности в БСПД

Предполагается, что инфраструктурные СПД пятого поколения (5G), интегрированные с широкополосными WiFi-сетями, будут использовать частоты выше 6 ГГц, потенциально до 300 ГГц. Поскольку повышение частоты ведет к уменьшению радиуса действия приемо-передающих устройств, ожидается качественный скачок роста беспроводных устройств и улучшения характеристик

используемых беспроводных стандартов и технологий (что особенно актуально для топологически сложных БСПД).

Эра 5G будет характеризоваться серией высокоскоростных 802.11 Wi Fi стандартов (802.11n/ac, 802.11ax, WiGig) и беспроводных технологий малой дальности, работающих в нелицензированных диапазонах (Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN, Thread и др.). Традиционная концепция разделения спектра на лицензируемые и нелицензируемые участки будет постепенно смещаться к концепции совместного использования спектра, на основе централизованно-скоординированного совместного доступа федеральными и/или другими коммерческими пользователями. Будет увеличиваться роль когнитивных беспроводных систем и систем (WiFi, WiGig и др.), интегрированных в 4G/5G-сети, связи за счет плавного бесшовного роуминга.

План интеграции технологий и стандартов 802.11 WiFi с беспроводными мобильными сетями представлен в табл. 1 [5].

Таблица 1

План «интеграции» беспроводных технологий

Показатель	3GPP (v.16)	3GPP (v.17)	IEEE 802.11
Полоса/ скорость	> 1Гбит/с		> 1Гбит/с
Мультимедиа-данные	Приоритет мультимедиа-сервисам, кодеки		V2X следующего поколения
Расширение спектра	Расширение до 20–50 ГГц	Диапазон 52.6 ГГц	20 Гбит/с на частотах 60 ГГц
Нелицензируемые участки спектра	Нелицензируемые участки спектра	Совместное использование лицензируемых и нелицензируемых участков спектра	Оптические линии связи
V2X	Уровень приложений V2X	V2X сценарии	V2X следующего поколения
IoT	IoT оптимизация	Индустриальный IoT, ультра-низкопотребляющие беспроводные СПД	ультра-низкопотребляющий IoT
Другое	– 5G-спутниковый доступ. – Конвергенция беспроводных и проводных сетей. – Автоматизация процессов в сетях. – Повышенная информационная безопасность	5G VR	– Расширенные возможности позиционирования – Повышенная спектральная эффективность

WiFi и сотовая связь имеют множество различий, однако в следующих поколениях WiFi и 5G разрыв между технологиями сужается. Обе технологии расширяют полосы частот: WiFi начинает использовать диапазон 60 ГГц (WiGig), 5G переходит к mmW (миллиметровым) частотным полосам. Имеется тенденция разгрузки (дорогих) мобильных сетей связи за счет использования (дешевых) WiFi-сетей доступа. Существенную роль в этом играют протоколы роуминга последнего поколения. Предполагается возможность реализации беспроводных сетей доступа на больших географических площадях для обеспечения услуг связи (в основном за счет решений NGH/Passpoint Hotspot).

Среди технологий, направленных на совместное использование частотных ресурсов сетями WiFi и 5G, можно отметить MulteFire, LAA, CBRS.

Интеграция WiFi в сотовые сети может быть реализована на нескольких уровнях – «устройство», «доступ» и «ядро»:

– LTE агрегирование WLAN (LWA) и LTE WLAN интеграция «уровня радио» с туннелем IPsec (LWIP). Лицензированный сотовый канал используется для управления, а WiFi используется для передачи трафика пользовательских данных.

– Dual connectivity (двойная связь). Мобильные устройства могут установить активное соединение с несколькими радиоинтерфейсами, что позволяет мобильному устройству быть одновременно подключенным к WiFi-точке доступа и сети LTE.

– Расширенный SaMOG. SaMOG определяет взаимодействие между WiFi на уровне ядра сотовой сети. Доверенные сети WiFi могут использовать шлюз доступа WLAN для отправки трафика непосредственно в Интернет или в 3GPP-ядро сети мобильной связи.

– Обнаружение сети доступа и функция выбора (ANDSF). С ANDSF мобильные устройства самостоятельно выбирают, соединиться ли с сотовой сетью или с WiFi, когда обе доступны.

– Многопутевой (multipath) TCP. IETF работает над многопутевым протоколом управления передачей (TCP), чтобы позволить мобильным устрой-

ствам соединяться больше чем с одним радиоинтерфейсом одновременно. Многопутевой TCP разрешает использование нескольких радио-технологий доступа. С multipath TCP мобильное устройство может быть подключено к сотовой связи и сети WiFi одновременно.

Из беспроводных технологий серии 802.11 наибольшее внимание WBA уделяет перспективному стандарту WiFi 802.11ax. Производство чипов 802.11ax развернуто Quantenna (сейчас ONSemi), Qualcomm, Intel, Mediatek, Broadcom и другими компаниями. Консорциум IEEE указал, что стандарт 802.11ax (WiFi 6) соответствует требованиям канального/физического уровней 5G-приложений (точек доступа) IMT-2020, что способствует конвергенции сетей мобильной связи и WiFi СПД [7].

Таблица 2

Основные особенности технологии 802.11ax

Особенность	Описание	Преимущество
OFDMA восходящий и нисходящий каналы	Увеличивает эффективность и уменьшает задержки при конкурентном использовании устройствами частотных ресурсов	Улучшает производительность сетей при высокой плотности узлов и большом трафике (например, на стадионах и аудиториях)
Планирование передач данных	Разделение временных ресурсов при передаче данных	Увеличивает эффективность и уменьшает задержки в сетях 802.11ax
Многопользовательские MIMO восходящие и нисходящие каналы	Повышенная производительность сети за счет применения многоантенной 8x8 технологии	Обслуживание до 8 пользователей одновременно. Возможность использования в зданиях, на публичных мероприятиях и в промышленности
Пиковые скорости	Схемы 1024-QAM модуляции позволяют достичь гигабитных скоростей (в 4–6 раз быстрее 802.11ac) – до 4.8 Гбит/с	Поддержка новых технологий, таких как UHD Video, AR/VR, и электронное обучение следующего поколения (Next-gen e-Classrooms)
Гибкое управление каналами и ресурсами связи	Размеры канала выбираются в зависимости от приложений (20/40/80/160MHz). Каналы на 20 МГц могут быть разделены на меньшие, по 2 МГц	Более эффективная поддержка IoT (когда требуются более низкие скорости передачи данных), что позволяет устройствам потреблять меньше энергии или поддерживать большие диапазоны покрытия
Время ожидания	Организация «времени сна» узлов для уменьшения конкуренции доступа к разделяемой среде	Оптимизация потребления энергии устройствами IoT
Spatial Reuse / Color Codes (повторное использование каналов с учетом «цвета» (идентификатора физ. уровня) узла/точки доступа	Дифференцирует передачи соседних сетей. Позволяет точкам доступа более эффективно совместно использовать каналы	Уменьшение коллизий между сигналами соседних сетей. Полезно для мероприятий с большой плотностью узлов

Окончание табл. 2

Особенность	Описание	Преимущество
Двухчастотный диапазон	Использование 2.4 и 5 ГГц диапазонов	Обратная совместимость с предыдущими версиями 802.11
Увеличенный защитный интервал и циклический префикс	Повышение производительности сети при наличии эффекта Доплера	Улучшает характеристики «уличных» сетей и сетей с мобильными клиентами
Новые частотные диапазоны	Поддерживаемые частотные диапазоны 802.11ax были расширены включением полосы на 6 ГГц	Повышение производительности СПД

WiFi 6 (802.11ax) существенно переработан по сравнению с WiFi 5 (802.11ac). Наиболее важной целью было повышение показателей качества QoE в зонах с высокой плотностью трафика для обеспечения высокой пропускной способности. Один из ключевых моментов – открытие нелицензируемого участка спектра в диапазоне 6 ГГц в рамках развития стандарта WiFi 6. WiFi 6 будет включать новые возможности для индустриального интернета вещей (IoT), «умного» дома.

Направления развития L2/L3-протоколов маршрутизации и роуминга

Как будет показано далее, существенную долю БСПД в ближайшем будущем составят многошаговые сети передачи данных с децентрализованным управлением (СПДДУ) типа M2M, IoT, adhoc и др.

Известно более 100 протоколов маршрутизации, ориентированных на использование в многошаговых СПДДУ. Такое разнообразие вызвано большим количеством «степеней свободы» СПДДУ – целевых показателей, на которые ориентируются разработчики:

– Размер БСПД, размер сегментов/кластеров БСПД, количество сегментов/кластеров БСПД.

– Модель мобильности узлов: скорость изменения топологии сети; характер движения узлов (групповая мобильность, случайные блуждания и т. д.).

– Метод получения информации о местоположении сетевых узлов.

– Пропускная способность (емкость каналов) – эффективная скорость соединения, измеренная в бит/сек, после учета потерь из-за множественного доступа, кодирования, кадрирования и т. д.

– Связность сети и доля однонаправленных связей.

– Модель трафика (тип и характеристика распределения трафика).

– Частота перехода узлов в спящее состояние – позволяет оценить эффективность функционирования протокола в присутствии спящих и пробуждающихся узлов.

– Энергоэффективность (ориентированность решения на автономное или сетевое питание).

– Наличие возможности проактивной маршрутизации. Реактивная маршрутизация позволяет более эффективно использовать полосу пропускания каналов связи и снизить требования к энергоемкости узлов. Недостаток – повышенная задержка открытия маршрута. В тех ситуациях, когда дополнительные задержки при открытии маршрутов неприемлемы, применяют проактивную маршрутизацию.

– Время прокладки маршрута. Данный параметр протокола представляет интерес при анализе реактивных алгоритмов маршрутизации. Параметр равен времени, необходимому для создания маршрута (-ов) по запросу.

– Информационная безопасность. Без использования мер безопасности на сетевом или канальном уровне протоколы маршрутизации СПДДУ являются уязвимыми для многих типов атак. При отсутствии мер безопасности сравнительно просто осуществить: наблюдение за сетевым трафиком, повтор передачи, внесение изменений в заголовки пакетов, перенаправление сообщений.

– Требуемый коэффициент доставки пакетов (или коэффициент потерь);

– Задержка доставки пакетов «из конца в конец». Поддержка показателей качества QoS.

– Накладные расходы на маршрутизацию. Отношение (среднее число переданных пакетов, содержащих служебную информацию и пакетов с данными) / (доставленные пакеты с данными). Если служебный трафик и данные передаются по одному и тому же каналу ограниченной емкости, то чрезмерный рост служебного трафика часто оказывает значительное влияние на производительность (эффективность) маршрутизации.

– Возможность сохранять основные характеристики СПДДУ при изменении количества и плотности сетевых узлов.

В целом разработчики нацелены на достижение следующих характеристик протоколов маршрутизации беспроводных СПДДУ:

– надежная доставка пакетов (в IP-based протоколах) при изменении топологии сети, когда использование классических механизмов гарантированной доставки затруднено;

– минимальное время построения маршрутов;

– наличие механизмов оперативного обнаружения разрывов маршрутов и их восстановления;

– борьба с циклами в маршрутах;

– снижение накладных расходов на маршрутизацию (объема рассылаемых служебных данных);

– высокая масштабируемость;

– защита передаваемых данных и служебной/маршрутной информации.

Из интересных протоколов, поддерживающих основные тренды развития протоколов маршрутизации СПДДУ, можно отметить гибридный протокол HWMP, реализованный в рамках стандарта 802.11s (Mesh-сети), протоколы поддержки когнитивных сетей (MSCRP, CogNet, …), протоколы с поддержкой криптозащиты (Bmx7/SEMTOR, SHWMP, IBC-HWMP, …), проприетарные протоколы (Cisco AWPP и др.).

Для обеспечения возможности передачи данных между логически или географически разнесенными WiFi-сегментами СПДДУ используются протоколы роуминга. Альянс WBA в течение последних нескольких лет концентрировался на реализации плавного WiFi роуминга. Результатом стал стандарт WRIX (Wireless Roaming Intermediary eXchange), который предлагает модульный набор стандартных услуг для обеспечения роуминга между операторами не хуже LTE. Точки доступа следующего поколения (NGH) постепенно объединяются в операторскую сеть с возможностью бесшовного роуминга.

На улучшение роуминга направлены протоколы IEEE 802.11k/v/r/u/ai/aq, обеспечивающие:

– лучшее управление частотными ресурсами в реальном времени;

– поддержку соединений при высокой мобильности устройств сети;

– повышение безопасности и качества обслуживания (QoS) при роуминге;

– обнаружение наилучшего варианта соединения с видимыми сетями/точками доступа.

Технология EasyMesh, сертифицированная WBA, стандартизирует подходы для создания и объединения домашних, промышленных и прочих сетей доступа формата СПДДУ [8]. Альянс выпустил спецификацию 1.0 для мультиточек доступа (MAP) в июне 2018. Цель этой спецификации – обеспечение совместимости сегментов СПДДУ, построенных на базе оборудования разных производителей – рис. 2 [9].

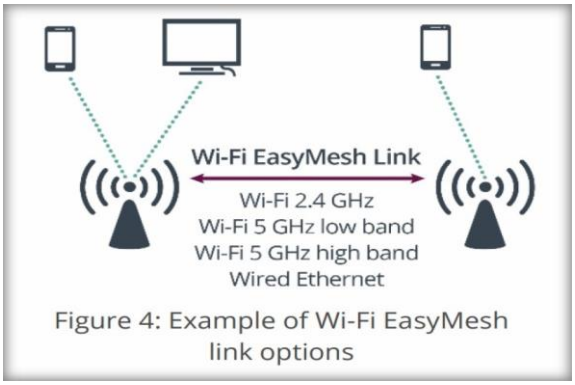


Рис. 2. Концепция EasyMesh

Эта спецификация определяет протоколы управления между точками доступа сегментов СПДДУ и механизм маршрутизации трафика между сегментами СПДДУ. Одно устройство в сети действует как контроллер WiFi EasyMesh. Контроллеры WiFi EasyMesh часто располагаются в основном шлюзе, который подключает домашнюю сеть к инфраструктуре поставщика услуг.

Информационная безопасность БСПД

Введение протокола WPA3 в июне 2018 г. было основным обновлением безопасности WiFi-сетей. В настоящий момент продолжаются работы по совершенствованию протоколов аутентификации (EAP) и внедрению систем NGH (Next Gen Hotspot – точек доступа нового поколения) 2.0/Passpoint. NGH, в со-

ответствии со спецификацией от альянса Wi-Fi (WFA), будут иметь улучшенные варианты аутентификации EAP и расширенные возможности роуминга для повышения производительности сетей (уже поддерживаются некоторыми смартфонами, планшетами, ноутбуками и устройствами IoT). Технология Passpoint предназначена для автоматизации процессов подключения к точкам доступа по сертификату (без введения пароля). При этом шифруется весь поток передаваемых данных.

В течение нескольких лет планируется переход устройств и инфраструктуры к протоколу безопасности WPA3. Как и в WPA2, существует две версии WPA3:

– WPA3-personal для жилых помещений и малых предприятий. Метод SAE, допускающий слабые пароли и использующий длинные ключи шифрования.

– WPA3-enterprise для защиты предприятий, правительств и тактических сетей. Использует 192-разрядное шифрование для защиты сетей с самыми высокими требованиями к безопасности.

Для устройств IoT разрабатывается протокол безопасности DPP для взаимной аутентификации.

WBA разрабатывает «инфраструктуру открытых ключей» (PKI). Инфраструктура открытых ключей (PKI) является рядом политик и процедур создания, управления, распределения, использования цифровых сертификатов и публичных ключей. PKI является основой таких технологий, как цифровые подписи и шифрование для больших распределенных сетей.

Традиционно VPN IPSec была предпочтительным методом защиты интерфейсов, гарантируя конфиденциальность данных с предварительно розданными и согласованными ключами. В настоящий момент WBA выбрал RadSec/TLS (RFC 6614 IETF) для управления безопасностью сетей с RADIUS.

Разрабатывается технология анонимной аутентификации на основе «цифровых идентификационных данных». Цифровой профиль включает в себя результаты статистического анализа поведения абонента. Используя исторические сведения о поведении узла (посещаемые сайты, динамика трафика, местополо-

жение и проч.), цифровые идентификационные данные устанавливают соответствие в реальном времени между людьми и связанными с ними устройствами. Предполагается развитие этой технологии для определения вернувшихся в сеть пользователей с 95-процентной точностью. Сфера применения: электронная коммерция, банки, игры, государственные службы или здравоохранение.

«Боковые» тренды

Весной 2019 г. ассоциация (WBA) объявила о старте программы «Wi-Fi 6 Industrial Enterprise & IoT Trial» как части продолжающейся программы развития Wi-Fi 6 [11]. Данная программа направлена на реализацию концепции Wi-Fi как ключевого фактора коммуникаций между промышленными предприятиями, операторами связи и потребителями услуг и предусматривает предоставление услуг «потоковое видео», мониторинг/телеметрия в реальном масштабе времени, передачу данных с датчиков машин, передачу данных сенсорных сетей.

Наблюдается расширение «присутствия» новых медиасервисов, таких как VR и 8K-видео, что требует соответствующего увеличения скорости передачи данных и снижения задержек. WiGig (802.11ad, 802.11ay) обеспечит возможность соединений в полосе на 60 ГГц там, где приложения или устройства требуют очень высокой пропускной способности на коротких расстояниях (например, AR/VR, видео сверхвысокого разрешения). WiGig будет также использоваться в средах с повышенной интенсивностью трафика (например, Terragraph Facebook – альтернатива фиксированному доступу). Во втором поколении WiGig, 802.11ay обеспечивает пиковые скорости передачи данных сверх 100 Гбит/с.

Еще одним трендом является рост количества программно-определяемых беспроводных сетей (SD-WAN) по отношению к традиционным [7]. SD-WAN-сети рассматриваются как одна из перспективных технологий IoT.

Интересным направлением развития WiFI является HaLow (802.11ah) – развитие технологии Wi-Fi в противоположном «основному сценарию» направлении – передаче данных на низких несущих частотах, больших расстояниях, низкой мощности и низкой пропускной способности – для связи с устройствами IoT.

Другие разрабатываемые протоколы 802.11 со специфическими требованиями:

– 802.11ay – поддержка 20 Гбит/с в полосе на 60 ГГц;

– 802.11az – второе поколение протоколов с функциями, зависящими от местоположения;

– 802.11ba – «слабое» радио с низкой мощностью для приложений IoT;

– 802.11bb – оптические коммуникации;

– 802.11bc – стандарт с расширением широковещательных (broadband) услуг;

– 802.11bd – расширение V2X;

– 802.11be – сверхвысокая пропускная способность (за счет использования 2.4 ГГц и 5/6G ГГц диапазонов).

Наблюдается быстрое увеличение количества IoT-соединений в мире – рис. 3.

Cisco предсказывает, что в 2021 г. M2M-соединения IoT будут составлять более половины беспроводных соединений. Ожидается продолжение и, скорее всего, ускорение роста IoT – рис. 3. IEEE 802.11ax может работать с существующими устройствами IoT и не требует перехода на новую архитектуру устройств IoT.

Поддержка приложений IoT (с протоколом аутентификации EAP) реализована в том числе в NGH/Passpoint и WRIX.

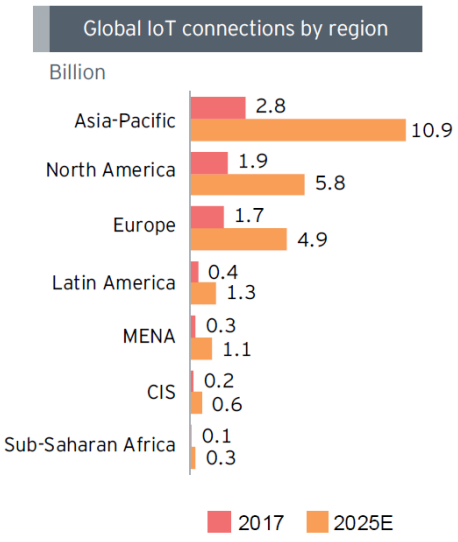


Рис. 3. Прогноз количества IoT-соединений по регионам (млрд) [10]

Новые технологии

«Нарезка» сетевых ресурсов (Network slicing – опция 802.11ax) – разделение/нарезка сетевых ресурсов – позволяет операторам создавать отдельные потоки трафика, которыми можно управлять независимо для оптимизации использования сетевых ресурсов. Например, оператор может удостовериться, что трафик для решения ответственных задач присвоен сетевой части с самым высоким приоритетом, в то время как приложениям IoT могут выделяться ресурсы с низким приоритетом.

Оптимизация может определяться несколькими параметрами: приоритет, задержка, пропускная способность, политика и безопасность, мобильность, надежность, энергия и проч.

Управление сетями Wi-Fi со сложной топологией и их оптимизация занимают время и требуют опытного штата. Операторы услуг беспроводных сетей продвигают использование решений на основе искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) для обнаружения проблем функционирования сетей, устранения причин сбоев.

Сейчас на рынке доступны несколько решений, использующих искусственный интеллект:

– Aruba использует программное обеспечение NetInsight (как сервис SaaS) для поиска и устранения неисправностей сетей Wi-Fi.

– KodaCloud использует AI для оптимизации частотного плана, оптимизации размера ячеек сетей, контроля и планирования каналов доступа к точкам доступа. Решение основано на облачных технологиях.

– Mojo предоставляет операторам Wi-Fi возможности по оптимизации производительности сети и сервисы для поиска и устранения неисправностей в режиме реального времени.

– Mist, провайдер Wi-Fi, разработал платформу, которая использует AI для оптимизации и диагностирования сетей Wi-Fi в режиме реального времени.

Одна из наиболее технологически передовых технологий физического уровня – квантовые сети передачи данных, позволяющие обеспечить макси-

мальный уровень защищенности от несанкционированного доступа [12]. Данная область быстро развивается. Наиболее длинная сеть имеется в Китае – более 2000 км (от Шанхая до Пекина). Эксперименты с низкоорбитальными спутниковыми сетями проводятся в Китае и Японии. В Европе развиваются проекты SECoQC и SwissQuantum. В США сформирована карта развития спутниковых квантовых сетей (НАСА). Исследования проводятся также в Ю. Корее, Австрии, Швейцарии, Италии, Испании, Великобритании, Польше, Канаде, Южной Африке.

Квантовые сети обладают высоким уровнем защищенности, но не позволяют передавать данные с высокими скоростями. Типичными скоростями являются 1–10 кбит/с.

Выводы. Приоритеты разработок беспроводных технологий, стандартов и протоколов следующего поколения (в порядке приоритета):

– Серия стандартов 802.11, в первую очередь 802.11ax.

– 5G-технологии и протоколы передачи данных.

– Высокоскоростные стандарты и протоколы беспроводной передачи данных (WiGig, FWA mmW, высокоскоростной Bluetooth).

– Стандарты и протоколы персональных сетей и интернета вещей (WPAN и LPWAN) в части улучшения интеграции с Wi-Fi-сетями, улучшения роуминга IoT-устройств, Edge Computing – периферийных вычислений.

– Стандарты и протоколы, направленные на конвергенцию сетей Wi-Fi с сотовыми и мобильными сетями.

Основные тренды развития Wi-Fi БСПД:

– Внедрение стандарта Wi-Fi 6 (802.11ax).

– Использование новых полос на частотах 6 ГГц (802.11ax) и 60 ГГц (FWA mmW).

– Развитие сервисов, связанных с локацией устройств.

– Развитие технологий IoT (интернет вещей) и M2M (межмашинного взаимодействия) – динамический роуминг; расширения NGH, WRIX и Passpoint для подключения устройств и услуг IoT.

– Развитие Edge Computing – периферийных вычислений (поддержки обработки данных узлами сети – смартфонами, датчиками и проч.).

– Бесшовное покрытие Wi-Fi-сетями больших географических зон за счет использования технологий NGH (Next Generation Hotspot – точка доступа нового поколения), WRIX (стандартов бесшовного роуминга IEEE 802.11k/v/r/u/ai/aq).

– Конвергенция Wi-Fi с сотовыми и мобильными сетями – LTE агрегирование WLAN (LWA) и LTE WLAN интеграция «уровня радио» с туннелем IPsec (LWIP); Dual connectivity (двойная связь); мобильность поверх GTP (SaMOG); обнаружение сети доступа и функция выбора (ANDSF); многопутевый (multipath) TCP.

– Повышение информационной безопасности Wi-Fi сетей за счет использования технологий: NGH/Passpoint, RadSec/TLS, протоколов безопасности WPA3 с улучшенным протоколом аутентификации EAP; AI-систем мониторинга (NetInsight, KodaCloud); технологий анонимной аутентификации на основе «цифровых идентификационных данных».

– «Неклассические» протоколы для специализированных приложений: 802.11ay – до 20 Гбит/с на 60 ГГц; 802.11az – улучшенные функции, зависящие от местоположения; 802.11ba – «слабое» радио с низкой мощностью для приложений IoT; 802.11bb – оптические коммуникации; 802.11bc – стандарт с расширением широковещательных (broadband) услуг; 802.11bd – расширение V2X; 802.11be – сверхвысокая пропускная способность (за счет использования 2.4 ГГц и 5/6G ГГц диапазонов).

– Разработка технологии EasyMesh для создания и объединения домашних, промышленных и прочих сетей доступа формата СПДДУ на базе оборудования различных производителей.

Следует также отметить возможность реализации отдельных сегментов СПДДУ на базе технологий с квантовым распределением ключей (QKD).

Библиографический список

1. Layer 8. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Layer_8 (дата обращения 01.02.2021).

2. Bauer B., Patrick A. S. A Human Factors Extension to the Seven-Layer OSI Reference Model. URL: https://www.andrewpatrick.ca/OSI/10layer.html (дата обращения 01.02.2021).

3. Рост мирового рынка WLAN достиг 7 %. URL: https://ko.com.ua/rost_mirovogo_rynka_wlan_dostig_7_128950 (дата обращения 01.02.2021).

4. Worldwide Enterprise WLAN Market Continues Moderate Growth in the First Quarter of 2019, According to IDC. URL: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45115219 (дата обращения 10.01.2020).

5. WBA Annual Industry Report 2019. URL: https://www.wballiance.com/wp-content/ uploads/2018/10/WBA-Annual-Industry-Report-2019.pdf (дата обращения 10.01.2020).

6. Global Mobile Trends. What's driving the mobile industry? URL: https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=8535289e1005eb248a54069d82ceb824&download (дата обращения 01.02.2021).

7. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html (дата обращения 01.02.2021).

8. Wi-Fi EasyMesh. URL: https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-easymesh (дата обращения 01.02.2021).

9. EasyMesh, the standard for interoperability of meshed Wi-Fi networks. URL: https://newsbeezer.com/franceeng/easymesh-the-standard-for-interoperability-of-meshed-wi-fi-networks (дата обращения 01.02.2021).

10. Future of IoT URL: https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Future_of_IoT/$FILE/EY- future-of-lot.pdf (дата обращения 10.01.2020).

11. World's First Wi-Fi 6 Industrial Enterprise & IoT Trial Announced. URL: https://diarioti.com/worlds-first-wi-fi-6-industrial-enterprise-iot-trial-announced/109294 (дата обращения 01.02.2021).

12. Quantum Key Distribution in-field implementations. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118150/quantum_communication_state-of-the-art__review_4.0_final.pdf (дата обращения 01.02.2021).

Анализ и сравнение методик расчёта башенных градирен для разработки совместной математической модели «градирня-конденсатор»

Н. М. Прокашев [a], А. Г. Шемпелев [b]
аспирант группы ЭиТа-2801-02-00 [a]
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и гидравлика» [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: gk.nikitos.13@mail.ru [a], agshem@mail.ru [b]

Аннотация. Одним из основных критериев для оценки эффективности работы цикла паротурбинной установки является температура циркуляционной воды на выходе из градирен. В этих условиях для оперативного контроля над работой системы «конденсатор-градирня» и принятия оптимальных решений по повышению эффективности эксплуатации этой системы наиболее эффективным инструментом является ее математическая модель. Для разработки такой модели нужна достоверная расчетная методика расчета градирен. Целью данной работы является проведение анализа и сравнение методик расчёта башенных градирен для разработки совместной математической модели «градирня-конденсатор». Ведущим подходом данного исследования является анализ и сравнение методик расчета градирни. Проведен анализ методик расчета башенных градирен с целью их пригодности для разработки предполагаемой математической модели. В результате проведенного анализа для разработки математической модели «градирня-конденсатор» была выбрана методика теплового баланса на основе метода Л. Д. Бермана как наиболее пригодная для решения поставленной задачи по исходным данным с использованием достоверных балансных методов.

Ключевые слова: градирня, циркуляционная вода, конденсатор, математическая модель

Введение. Одним из основных факторов, определяющих экономичность и надежность ТЭС, является поддержание глубокого вакуума в конденсаторах турбоустановок в широком диапазоне режимов работы турбоустановок. Известно, что давление в конденсаторе определяется рядом параметров, важнейшими из которых являются температура охлаждающей воды на входе в конденсатор и ее расход. Поддержание этих параметров на экономически целесообразном уровне обеспечивается составом и эффективностью работы гидроохладителей ТЭС, в качестве которых в системах оборотного водоснабжения чаще всего используются башенные градирни. Режимы работы градирен, в свою очередь, определяются их тепловой нагрузкой, которая напрямую зависит от режимов работы конденсаторов. Разработка математической модели «градирня-конденсатор» позволила бы оперативно и с высокой степенью точности получить данные для ведения эффективных режимов эксплуатации ТЭЦ, а также достоверных сведений для выбора оптимальных решений при реконструкции и строительстве новых градирен. К настоящему времени на кафедре ТиГ ВятГУ разработаны ма-

тематические модели конденсаторов [1, 2], позволяющие включать их в математическую модель любой турбоустановки, а для градирен таких моделей к настоящему времени нет. Для разработки такой модели требуется выбрать методику их расчета, обеспечивающую возможность включения ее в общую модель.

К настоящему времени разработан ряд методик, позволяющих определять параметры работы градирен при заданных расходе и температуре воды на входе и параметрах атмосферного воздуха.

Целью настоящей работы является анализ и сравнение методик расчёта башенных градирен для разработки совместной математической модели «градирня-конденсатор»

Задачей исследования является сравнение методик расчета градирен, чтобы определить подходящую для создания совместной математической модели «градирня-конденсатор» при определении сезонных ограничений. Описываются имеющиеся методики расчета градирен, определяются критерии отбора методики для выбора единственной подходящей для решения задачи методики.

Ведущий подход. В качестве объекта исследования выбрана башенная градирня на ТЭС. Предметом исследования является методика расчета градирен.

Для решения поставленной задачи исследования были описаны основные методики расчета градирен. Ведущим подходом данного исследования является анализ и сравнение методик расчета градирни. Сравнение методик производится по критерию пригодности использования в математической модели «градирня-конденсатор». Рассмотрение возможности использования каждой методики сопровождается необходимостью оценки адаптации методики к математической модели.

Для сравнения выбраны следующие методики расчета градирен: нормативные характеристики, технологический расчет и тепловой расчет. Был произведён анализ каждой методики, выделены преимущества и недостатки для применения в математической модели. Была выбрана методика, наиболее подходящая для создания математической модели «градирня-конденсатор».

Результаты исследований и их обсуждение. Методика построения нормативных характеристик представлена в [1]. Ее особенностью является порядок

определения температуры циркуляционной воды на выходе из градирни путем применения построенных зависимостей параметров рабочей среды (температура циркуляционной воды) от параметров окружающей среды, определяемых климатическими условиями.

Процесс теплообмена в градирне можно охарактеризовать при помощи следующих графиков:

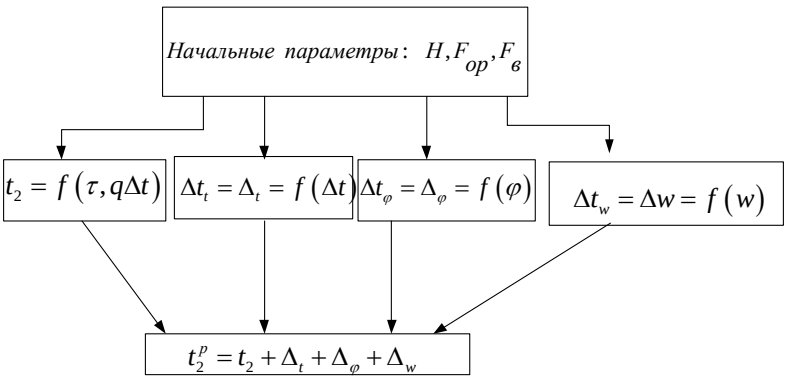
1) основного: зависимости температуры охлажденной воды от температуры окружающей среды;

2) поправочных, в которых учитываются основные климатические параметры: скорость ветра, влажность воздуха и перепад температур.

Данные графики позволяют определять температуру охлажденной воды в реальных климатических и эксплуатационных условиях. Это важно в случае, когда необходимо провести модернизацию или техническое переоснащение оборудования, а также при изменении климатических условий эксплуатации.

Графики охлажденной воды для каждого типа градирен индивидуальны, но особый интерес для рассмотрения представляют башенные градирни испарительного типа. Данный тип градирен является наиболее распространенным в регионах, имеющих проблему сезонных ограничений и связанных с невозможностью охладить до достаточной температуры циркуляционную воду.

Определение температур охлажденной воды по температурным характеристикам можно представить в виде следующего алгоритма [5], представленного на рисунке:



Алгоритм определения температуры охлажденной воды

Описание величин и зависимостей для алгоритма для алгоритма определения температуры охлажденной воды представлено в таблице.

Описание величин и зависимостей для алгоритма

Зависимость для построения графика	Тип графика	Определяемая величина	Переменный параметр зависимости
$t_2 = f(\tau, q\Delta t)$	Основной	Температура охлажденной воды t_2	Температура воздуха по смоченному термометру τ, значения удельной тепловой нагрузки qδt
$\Delta t_t = \Delta_t = f(\Delta t)$	Поправочный	Поправка δt на температуру воздуха	Температурный перепад δt
$\Delta t_{\Delta\varphi} = \Delta_\varphi = f(\Delta\varphi)$	Поправочный	Поправка δφ на влажность воздуха	Влажность воздуха φ
$\Delta t_{\Delta w} = \Delta_w = f(\Delta w)$	Поправочный	Поправка δw на скорость ветра	Скорость ветра w

Величины, после определения их по графикам зависимостей, суммируются друг с другом. Расчетная температура охлажденной воды, таким образом, будет определяться по формуле (1):

$$t_2^{\text{р}} = t_2 + \Delta_t + \Delta_\varphi + \Delta_w \quad (1)$$

По данной методике можно определить температуру охлажденной воды t_2 на выходе из градирни. Особенностью данной методики является использование поправочных коэффициентов, которые отражают влияние влажности воздуха, скорости ветра, температуры воздуха на температуру охлажденной воды. Измеренные в условиях эксплуатации значения температуры воды на выходе из градирни можно сравнить с рассчитанными нормативными значениями характеристик и сделать вывод о необходимости внесения изменений в конструкцию градирни (а именно конструкцию оросителя и ограждающих конструкций градирни).

Недостаток этой методики заключается в том, что она разработана только для градирен испарительного типа и для использования методики при расчёте характеристик градирен других типов необходима ее соответствующая доработка. Например, в случае расчёта градирни закрытого типа можно исключить поправки на влажность воздуха и на скорость ветра, а также в качестве начальных данных принять суммарную площадь теплообменников $F_{тр}$ (система трубо-

проводов), суммарный объем теплообменников $V_{тр}$, производительность вентиляторов $H_{вент}$. Температурный график зависимости также должен быть рассчитан с учетом типа градирни.

Задачей технологического расчёта градирни является определение температуры охлажденной в градирне воды. Основной является методика, изложенная в работе [2]. Она лежит в основе проектирования различных типов конструкций градирен: вентиляторных, башенных, открытых и радиаторных. Преимуществом данной методики расчёта является прямое определение температуры охлажденной воды на выходе из градирни за наименьшее количество расчётных операций.

Недостатком данного расчёта является трудность использования его для градирен с конструкционными характеристиками, отличными от типовых. Для таких градирен погрешность определения температуры охлаждающей воды может быть значительной, если значение конструктивного параметра отличается от соответствующего типовому проекту. Но следует учитывать, что расчетные графики для градирен могут быть уточнены по результатам натурных исследований.

Таким образом, эмпирические графики охлаждения могут быть использованы только для привязки существующих проектов градирен к местным условиям.

Тепловой расчёт градирен основан на методе расчета теплового баланса, разработанном Б. В. Проскуряковым [6, 7] и основанным на приближенном интегрировании уравнения теплового баланса для процесса теплообмена между циркуляционной водой и воздухом, проходящим через насадки. Для дальнейшего исследования процесса снятия сезонных ограничений работы ТЭС необходимо оценить охладительный эффект от разбрызгивания воды в градирне [9]. При решении этой задачи необходимо использовать методики определения теплового баланса. При использовании данной методики [7] существуют сложности при определении температуры циркуляционной воды на выходе из градирни. Данные трудности связаны с использованием формул расчета температуры циркуляционной воды на выходе из градирни. Вначале определяется сум-

марное гидравлическое сопротивление градирни, влияющее на интенсивность протекания процесса тепломассобмена между водой и воздухом в градирне. Из этого следует, что при тепловом расчете градирни необходимо также учитывать и гидравлический режим её работы.

Метод расчета теплового баланса, разработанный Л. Д. Берманом [3, с. 38], дает возможность непосредственно определять конечные значения искомых величин, состояние воздуха и температуры воды на основе приближенного решения основных уравнений теплового баланса [8].

Для того чтобы произвести расчет теплового баланса, задаются следующие исходные данные [10, 11]: расход воды, тепловая нагрузка, температура поступающей воды, состояние наружного воздуха температура и влажность воздуха. На основании исходных данных производится гидравлический расчет для градирен с насадками, а в безнасадочных градирнях вместо гидравлического расчета определяется гидравлический режим разбрызгивания воды из сопел. По результатам гидравлического расчета составляется тепловой баланс градирни. Значения температуры воды на выходе из градирни определяются из уравнения теплового баланса.

Метод расчета теплового баланса, разработанный Меркелем [3, с. 32], имеет широкое применение для расчета теплового баланса градирни. Меркель предложил уравнение, в котором в качестве обобщенной движущей силы процесса испарительного охлаждения воды принимается разность энтальпий влажного воздуха на поверхности пленки воды и в ядре потока.

Выводы. В процессе анализа методик расчета градирен для расчета совместной модели «конденсатор-градирня» можно сделать вывод о том, что для решения данной задачи наиболее подходит методика, основанная на расчете теплового баланса (метод определения величины среднего перепада энтальпии) на основе метода Л. Д. Бермана [3, с. 38, 10, 11]. Эмпирический метод и метод технологического расчета не рекомендуются к использованию для расчета совместной модели «конденсатор-градирня», поскольку их основным недостатком является наличие ограниченного применения данных методов, так как они ос-

новываются на имеющихся технологических характеристиках градирен. Помимо этого недостатка данные методы имеют трудности адаптации с математической моделью работы «конденсатор-градирня».

Библиографический список

1. СО 34.22.302-2005. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа. М. : ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005. URL: http://www.gosthelp.ru/text/S034223022005Metodikapost.html.

2. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения») // ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. М. : ЦИТП, 1989.

3. Лаптев А. Г., Ведьгаева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен : монография. Казань : КГЭУ, 2004. 180 с.

5. Арефьев Ю. И., Пономаренко В. С. Технологические расчеты башенных градирен // Водоснабжения и санитарная техника. 2000. № 7. С. 17–20.

6 . Справочник по теплообменникам : в 2 т. / пер. с англ. ; под ред. О. Г. Мартыненко и др. М. : Энергоатомиздат, 1987.

7. Проскуряков Б. В. Теория термического режима пленочной градирни // Известия НИИГ. 1935. Т. 16. С. 112.

8. Берман Л. Д. Упрощение теплового расчета градирен // Известия ВТИ. 1941. № 2.

9. Берман Л. Д. Градирни. М. : ВТИ им. Дзержинского, 1941. 209 с.

10. Берман Л. Д. Определение средней разности энтальпий воздуха при расчете градирен и мокрых кондиционеров // Холодильная техника. 1960. № 5.

11. Берман Л. Д. Упрощенный метод теплового расчета градирен // Тепловое хозяйство. 1938. № 11. С. 34.

Влияние содержания стеарина на свойства модельных восков

Е. С. Рублева [a], О. Б. Лисовская [b]
студентка группы ПТКс-3801-02-00 [a]
кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой
«Материаловедение и основы конструирования»
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud106784@vyatsu.ru [a], ob_lisovskaya@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Литье по выплавляемым моделям является одним из наиболее популярных методов получения отливок сложных форм, имеющих высокую детализацию. Для мелкосерийного производства нерациональна покупка большой партии модельного воска и предпочтительно использование самостоятельно изготовленных составов. Целью исследования является оценка влияния содержания стеариновой кислоты на свойства восков, применяемых для литья по выплавляемым моделям. Сравнение характеристик существующих аналогов проведено с использованием методов анализа. Для оценки свойств составов использовали методы наблюдения и эксперимента. Два из трех экспериментальных составов, содержащих парафин, пчелиный воск и стеарин, могут быть использованы в качестве модельных восков. В составе восков для литья по выплавляемым моделям парафин придает пластичность и упругость, препятствует образованию трещин, пчелиный воск выступает в качестве пластификатора, стеарин повышает теплостойкость и прочность моделей. С увеличением процента стеариновой кислоты в составе модельных восков повышается их твердость и снижается пластичность и упругость. Результаты данного исследования могут быть применены при изготовлении восков для литья по выплавляемым моделям в мелкосерийном производстве.

Ключевые слова: модельный воск, стеарин, литье.

Введение. Существуют различные способы получения деталей из металла. Одним из них является литье по выплавляемым моделям. Данный метод позволяет точно передать мелкие элементы отливаемой формы любой конфигурации.

Выплавляемая модель – одноразовая литейная модель, служащая для образования оболочковой формы. Выплавляемые модели изготовляют из легкоплавких материалов (парафина, стеарина, буроугольного воска и других веществ), которые плавятся при 50–60° С [1].

Воск для моделей в большинстве случаев используют покупной. Он имеет высокую стоимость и продается в больших объемах, что удобно только в случае изготовления большого количества отливок. В штучном производстве покупка крупной партии воска может не окупиться в течение долгого времени, поэтому для данных условий предпочтительно использование самостоятельно изготовленных составов.

Для производства модельного воска используют парафин, пчелиный воск, стеарин, церезин, полиэтилен винилацетат, стержни для клеевого пистолета, целлофан, вспененный полиэтилен, полистирол, канифоль, тальк [2]. Имеются сведения об успешном изготовлении относительно простых составов, включающих в себя всего три компонента: парафин, пчелиный воск и стеарин [2]. Данные материалы доступны и имеют невысокую стоимость. Однако влияние стеарина на свойства восков для литья по выплавляемым моделям изучено недостаточно.

Готовый модельный воск оценивается не только по стоимости, но и по качественным показателям.

Модельные составы должны обладать рядом свойств:

– после застывания быть прочным и твердым;

– иметь стабильную усадку и минимальное расширение от нагрева;

– иметь достаточную пластичность и упругость;

– хорошо обрабатываться (не липнуть к инструменту, легко удаляться с поверхности заготовки);

– хорошо заполнять и четко воспроизводить форму отливки;

– не вступать в реакцию с материалом формы;

– не прилипать к формам и рукам;

– хорошо покрываться формовочными смесями;

– хорошо выплавляться [2].

Первые четыре пункта являются наиболее важными для оценки качества модельных составов, поэтому именно их мы использовали в качестве оценочных характеристик экспериментальных образцов.

Целью данной работы является исследование влияния содержания стеариновой кислоты на свойства восков, применяемых для литья по выплавляемым моделям.

Задачи исследования:

– анализ свойств рассматриваемых компонентов (парафин, пчелиный воск, стеарин) в составе восков для литья по выплавляемым моделям;

– оценка свойств экспериментальных образцов воска для применения в мелкосерийном моделировании.

Методы исследования. Объектом исследования является состав воска, используемого для литья по выплавляемым моделям. Сравнение характеристик существующих аналогов проведено с использованием методов анализа. Использовали методы наблюдения и эксперимента для оценки свойств составов. Для проведения исследования были изготовлены экспериментальные образцы, изучены их физические характеристики и сделаны выводы о влиянии стеариновой кислоты на свойства полученных материалов.

Результаты исследований, их обсуждение. В процессе исследования были изучены три состава, включающие парафин, пчелиный воск и стеарин.

Данные о количественном составе полученных сплавов приведены в таблице. В качестве красителя сплавов использовали 1 г масляных мелков.

Состав экспериментальных образцов воска

Компонент	Внешний вид	$t_{пл}$, °С	Свойства в сплаве	Содержание в образце, г			Стоимость 1 кг, руб.
				1	2	3	
Парафин	Вещество белого цвета, жирное на ощупь, без запаха, при отделении части материала крошится	45–65	Придает пластичность и упругость, препятствует образованию трещин	10			70
Пчелиный воск	Вещество от белого до желто-бурого цвета, с характерным медовым запахом, при отделении части материала рвется, тянется	62–68	Выступает в качестве пластификатора	20			260
Стеарин	Твердое, полупрозрачное вещество, жирное на ощупь, без запаха, не ломается руками	53–65	Повышает теплостойкость и прочность моделей	–	5	10	127

Стоимость 100 г каждого из сплавов составила:

– образец 1 – 19,66 руб.;

– образец 2 – 18,65 руб.;

– образец 3 – 17,93 руб.

Процесс изготовления экспериментальных образцов начинали с измерения количества необходимых компонентов (рис. 1).

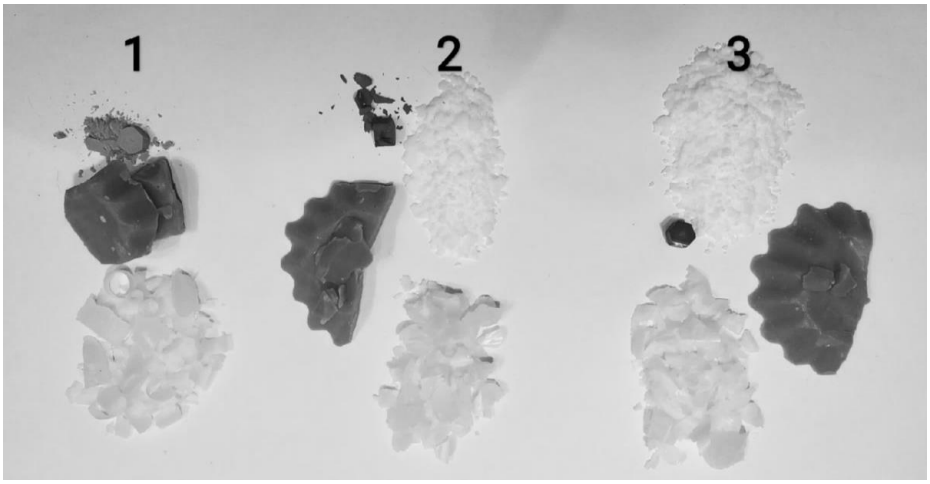


Рис. 1. Визуальная демонстрация количества компонентов в каждом из сплавов

Для соединения компоненты расплавили с помощью «водяной бани». Данный способ позволяет произвести плавное, равномерное нагревание, а также не провоцирует испарение воска, что гарантирует безопасность для изготовителя и отсутствие потерь в массе готового сплава в сравнении с изначальной массой компонентов.

После расплавления компонентов и их тщательного перемешивания состав разливали по формам через фильтр, в качестве которого был использован нетканый материал. Фильтрация воска позволяет избавиться от нерастворившихся частей пигмента, загрязнения мелким мусором и т. п. Готовые экспериментальные образцы оставили остывать при комнатной температуре, а затем извлекли из форм (рис. 2).

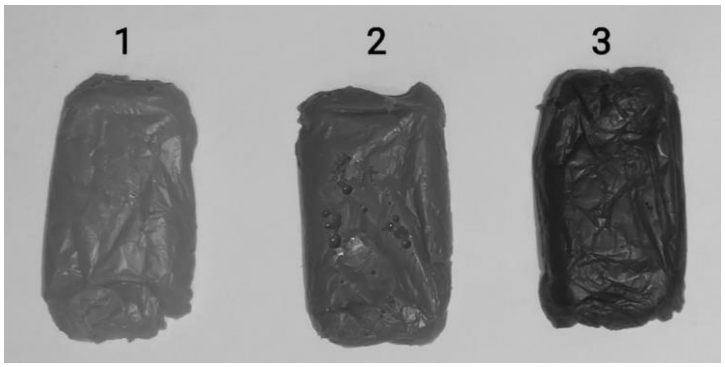


Рис. 2. Готовые экспериментальные образцы воска после остывания и извлечения из форм

При испытании на излом получили следующие результаты (рис. 3). Образец 1 при изломе гнется, линия разрыва рваная, неоднородная. Образец 2 ломается с усилием, но при этом не слишком твердый, линия излома имеет выступы, но в целом остается гладкой. Образец 3 ломается с большим усилием, линия излома более однородная в сравнении с образцами 1 и 2.

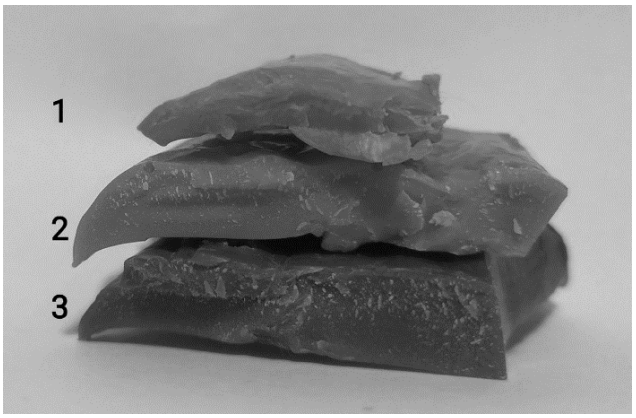


Рис. 3. Торец излома образцов

При сравнении усадки отметили, что усадка для каждого из образцов визуально не заметна, температурное расширение отсутствует.

Для исследования пластичности и упругости образцов использовали пластины толщиной ± 1 мм (рис. 4). Образец 1 слабо сопротивляется изгибу, очень пластичен, со временем изменяет форму под действием собственного веса. Образец 2 изгибается с большим усилием, по сравнению с образцом 1, при этом сохраняет заданную форму, не трескается. Образец 3 сгибается с усилием, ломается при попытке согнуть более чем на 90 градусов.

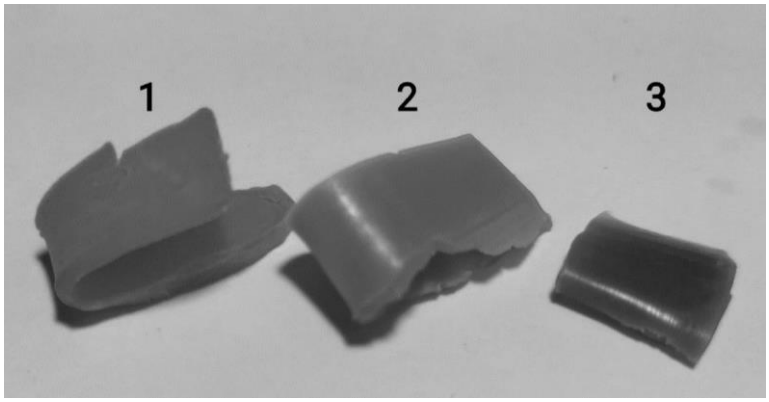
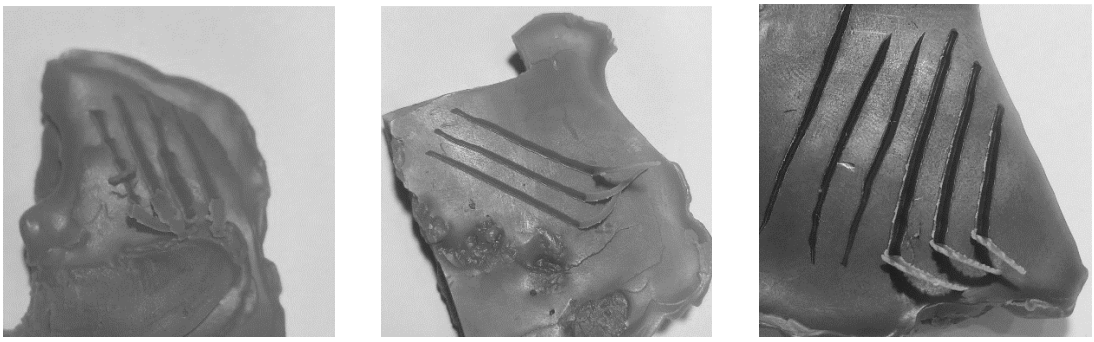


Рис. 4. Пластины воска, подвергнутые изгибу

Для проверки качества и удобства обработки нанесли несколько неглубоких царапин на поверхность воска. На образце 1 воск снимается с поверхности неоднородно, нечетко, цепляя части, не захватываемые инструментом, прилипает (рис. 5а). На образце 2 царапины четкие, с видимыми границами, стружка однородная, к инструменту не прилипает, сохраняет целостность (рис. 5б). На образце 3 царапины четкие, но их края имеют некоторую неоднородность, крошатся, стружка сегментная, к инструменту не прилипает (рис. 5в).



а б в

Рис. 5. Царапины на поверхности воска: а – образец 1, б – образец 2, в – образец 3

В результате проведенных испытаний отметили, что с увеличением процента стеарина в составе воска его твердость увеличивается, а пластичность и упругость уменьшаются. Состав 1, не содержащий стеарина, нельзя рекомендовать для создания моделей, поскольку он не обладает достаточной твердостью для их изготовления и является слишком вязким. На данном воске тяжело производить мелкую обработку. Состав 2 с содержанием 14,28 % стеарина наиболее технологичен, он достаточно твердый, но сохраняет необходимую для обработки пластичность и упругость. Данный состав подходит для создания моделей с высокой детализацией. Состав 3 с 25 % стеарина будет удобен для изготовления крупных моделей, без мелких деталей, так как он обладает высокой твердостью. Изделие после отливки требует последующей обработки.

Выводы. В результате проведенного исследования сделаны следующие заключения:

– в составе восков для литья по выплавляемым моделям парафин придает пластичность и упругость, препятствует образованию трещин, пчелиный воск

выступает в качестве пластификатора, стеарин повышает теплостойкость и прочность моделей;

– с увеличением процента стеариновой кислоты в составе модельных восков, повышается их твердость и снижается пластичность и упругость.

Результаты данного исследования могут быть применены при изготовлении восков для литья по выплавляемым моделям в мелкосерийном производстве.

Библиографический список

1. Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. М. : Машиностроение, 1990. 384 с.

2. Как сделать самодельный воск для литья, резьбы и фрезеровки. URL: https://www.youtube.com/watch?v=fZZqzdlPKds (дата обращения: 06.02.2021).

Использование принципа нисходящего преподавания в ссузах и вузах по техническим направлениям

А. В. Серебрянников [a], О. П. Павлов [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной электроники [a]
ассистент кафедры промышленной электроники [b]
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Российская Федерация [a, b]
E-mail: alex-silver@mail.ru [a], mr.oleg.pavlovich@mail.ru [b]

Аннотация. Актуальность рассматриваемой в статье темы связана с необходимостью постоянно совершенствовать методику преподавания в ссузах и вузах. На данный момент чаще всего применяется восходящий принцип преподавания, когда обучающиеся сначала изучают простые элементы, зачастую не понимая, где они могут применяться, поэтому закрепление материала может происходить в недостаточной степени. Целью исследования является внедрение в техническое образование принципа нисходящего преподавания. Задача исследования – продемонстрировать на примере одного технического направления нюансы внедрения нисходящего преподавания.

В работе используется и развивается принцип нисходящего преподавания на примере технического образования. Рассмотрены результаты применения указанного принципа на примере направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (профиль «Промышленная электроника»), реализуемого в Чувашском государственном университете имени И. Н. Ульянова. Новизна полученных результатов связана с малой проработкой данной темы в отечественной литературе. Принцип нисходящего преподавания может быть применён при подготовке обучающихся в ссузах и вузах по любому техническому направлению.

Ключевые слова: принцип нисходящего преподавания, средние специальные и высшие учебные заведения, технические направления.

Введение. По аналогии с принципом нисходящего программирования в ссузах и вузах на технических направлениях можно использовать аналогичный по смыслу принцип нисходящего преподавания.

Напомним сначала вкратце основной смысл нисходящего программирования [1–3]. Он представляет собой способ разработки программ, при котором программирование ведётся методом «сверху вниз», от общего к деталям. Алгоритм решения задачи разбивается на несколько более простых частей или подзадач. Их выделяют таким образом, чтобы программирование подзадач было независимым. При этом составляют план решения всей задачи, пунктами которого и являются выделенные части.

Теперь по аналогии можно ввести термин «принцип нисходящего преподавания», который будет заключаться в построении системы обучения на технических направлениях ссузов и вузов, при котором изучение всего преподава-

емого материала по специальным дисциплинам ведётся от общего к деталям. Общая структура направления и объектов, с которыми будут иметь дело выпускники после трудоустройства по специальности, должны рассматриваться на первом или втором курсе в рамках вводной дисциплины, а «детали» будут рассматриваться на последующих курсах в рамках остальных специальных дисциплин.

Анализ литературы по рассматриваемой теме показал, что за рубежом [4–13] принцип нисходящего преподавания давно обсуждается, а в отечественных ресурсов по данной теме практически нет [14–16].

Актуальность рассматриваемой темы связана с необходимостью постоянно совершенствовать методику преподавания в ссузах и вузах. На данный момент чаще всего применяется восходящий принцип преподавания, когда обучающиеся сначала изучают простые элементы, зачастую не понимая, где они могут применяться, поэтому закрепление материала может происходить в недостаточной степени. Проблема может усугубиться, если на последних курсах обучающимся не покажут всю систему, которая будет построена на изученных на предыдущих курсах элементах.

Целью исследования является внедрение в техническое образование принципа нисходящего преподавания. Задача исследования – продемонстрировать на примере одного технического направления нюансы внедрения нисходящего преподавания.

Ведущий подход. В работе используется и развивается принцип нисходящего преподавания на примере технического образования.

Результаты исследований, их обсуждение. Рассмотрим результаты применения принципов нисходящего преподавания на примере направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (профиль «Промышленная электроника»), реализуемого в Чувашском государственном университете имени И. Н. Ульянова.

В реализуемом учебном плане на данный момент нет дисциплины, которая играла бы роль «введения в специальность». Она могла бы называться «Ос-

новы промышленной электроники» или «Основы преобразовательной техники», в рамках которых можно было бы рассмотреть структуры различных преобразовательных устройств, которые должны научиться проектировать обучающиеся к концу бакалавриата по данному направлению. В рамках данной дисциплины можно было бы рассматривать не только назначение и структурные схемы преобразовательных устройств (управляемые и неуправляемые выпрямители, инверторы, преобразователи постоянного и переменного напряжения и т. д.), но также характеристики как всего устройства (регулировочные, внешние, нагрузочные и т. д.), так и его отдельных блоков. Далее можно рассмотреть подробнее назначение и структурные схемы отдельных блоков рассматриваемых преобразовательных устройств.

В рамках последующих дисциплин «Основы аналоговой и цифровой электроники» и «Вакуумная и плазменная электроника» обучающиеся получают знания об основных аналоговых элементах преобразовательной техники. Основы цифровой техники преподаются в рамках дисциплины «Теоретические основы цифровой электроники».

В рамках дисциплины «Схемотехника» рассматриваются принципы работы более сложных аналоговых, цифровых и смешанных схем.

Освоение принципов построения преобразовательных устройств продолжается при изучении основных специальных дисциплин «Основы преобразовательной техники», «Источники вторичного электропитания», «Электронные промышленные устройства», «Энергетическая электроника», «Системы управления на серийных микросхемах».

Также современные преобразователи электрической энергии строятся на базе программируемых устройств. Эта отдельная группа преобразователей рассматривается в рамках таких специальных дисциплин, как «Основы микропроцессорной и микроконтроллерной техники», «Электронные устройства на микроконтроллерах», «Цифровые сигнальные процессоры».

Выводы. В итоге в рамках данной работы были продемонстрированы нюансы внедрения нисходящего преподавания на примере технического

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (профиль «Промышленная электроника»). Новизна полученных результатов связана с малой проработкой данной темы в отечественной литературе. Принцип нисходящего преподавания может быть применён при подготовке обучающихся в ссузах и вузах по любому техническому направлению.

Библиографический список

1. Восходящее и нисходящее программирование : метод. указания / Минобрнауки России, ОмГТУ; сост. О. П. Шафеева. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. Электрон. текст. дан. (624 Кб). 1 электрон. опт. диск.
2. Романов Е. Л. Практикум по программированию на С++ : учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург ; Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. 432 с.
3. Нисходящее программирование. URL: https://vslovar.org.ru/comp/635.html (дата обращения 08.02.2021).
4. Siegel J. Teaching Bottom-Up and Top-Down Strategies // The TESOL Encyclopedia of English Language Teaching. 2018. P. 1–7. DOI: 10.1002/9781118784235.eelt0597.
5. Sukma Ardini. Top-down and bottom-up processing in listening. Which one is problematic? A case of Universitas PGRI Semarang // ETERNAL (English Teaching Journal). April 2015. Vol. 6(2). DOI: 10.26877/eternal.v6i2.5834.
6. Richards J. Teaching listening #4 – Teaching top-down processing. URL: https://www.cambridge.org/ elt/blog/2016/01/13/teaching-listening-4-teaching-top-processing/ (accessed 08.02.2021).
7. SXSWedu 2016. Top-Down vs. Bottom-Up Education. URL: https://blog.edmentum.com/ sxswedu-2016-top-down-vs-bottom-education (accessed 08.02.2021).
8. Bottom Up & Top Down Teaching Strategies. URL: https://study.com/academy/lesson/ bottom-up-top-down-teaching-strategies.html (accessed 08.02.2021).
9. The Difference Between Top-Down Teaching & Bottom-up Teaching. URL: https://classroom.synonym.com/difference-between-topdown-teaching-bottomup-teaching-12059397.html (accessed 08.02.2021).
10. Teaching Listening: Top Down or Bottom Up? URL: http://eltnotebook.blogspot.com/ 2007/02/teaching-listening-top-down-or-bottom.html (accessed 08.02.2021).
11. Top Down & Bottom Up Listening Strategies in the Classroom. URL: https://study.com/ academy/lesson/top-down-bottom-up-listening-strategies-in-the-classroom.html (accessed 08.02.2021).
12. Listening: Top down and bottom up. URL: https://www.teachingenglish.org.uk/article/ listening-top-down-bottom (accessed 08.02.2021).
13. Listening matters: Top-down and bottom-up listening. URL: https://www.onestopenglish.com/listening/listening-matters-top-down-and-bottom-up-listening/154567.article (accessed 08.02.2021).
14. Гусаров А. А. Нисходящее и восходящее тестирование: основные различия и принципы реализации // Научный вектор : сб. науч. тр. ; под науч. ред. Е. Н. Макаренко. Ростов н/Д. : Изд-во Ростовского гос, экон. ун-та, 2019. С. 187–190.
15. Казаченок В.В. Преподавание математики в средней школе: нисходящая траектория // Матэматыка: праблемы выкладання. 2013. № 1 (84). С. 56–61.
16. Почему машинное обучение – это просто? URL: https://blog.skillfactory.ru/perevod/ pochemu-mashinnoe-obuchenie-eto-prosto/ (дата обращения 08.02.2021).

Проект тракта загрузки твердых коммунальных отходов в реактор утилизации

П. В. Соловьев [a], Е. И. Созонова [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия, электро- и теплоэнергетика» [a]
студентка группы 531 [b]
Сыктывкарский лесной институт филиал Санкт-Петербургского
государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова,
Сыктывкар, Российская Федерация [a, b]
E-mail: pasha0907@yandex.ru [a], liza.frost69@gmail.com [b]

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы утилизации твердых коммунальных отходов, оказывающие все большую степень воздействия на объекты окружающей среды и снижающие уровень экологической безопасности. Федеральный проект «Комплексная система обращения с ТКО» – один из 11 федеральных проектов в РФ. Основная цель – увеличить объемы переработки всех образуемых отходов до 60 %. На момент начала проекта этот показатель не превышал 8 %. Целью статьи является разработка предложения по утилизации ТКО с применением высокопроизводительных, автоматизированных инновационных технологий. Такие примеры имеются в литературных источниках, но они не нашли применения на практике в силу некоторых объективных причин. Такая идея по внедрению технологии детонационного разложения ТКО как наиболее перспективная и не имеющая аналогов в мире предложена С. Фроловым. Отходы подвергаются обработке водяным паром при температуре около 2000 ^{o}C без доступа воздуха. В реакторе утилизации отходов проблемным участком является тракт подачи отходов в зону их деструкции, где они подвержены высоким температурам и давлению. В статье предложен один из возможных путей реконструкции тракта подачи ТКО в промышленную установку. Это позволит увеличить производительность оборудования, перевести его работу на непрерывный режим и автоматизировать технологический процесс.

В результате утилизации твердых коммунальных отходов получаются конечные продукты синтез-газ и шлак, из которых с помощью современных синтез-технологий можно произвести строительные материалы, дизельное топливо, метанол, этанол, получить тепловую или электрическую энергию,

Ключевые слова: отходы, утилизация, детонация, реактор, тракт загрузки.

Введение. Ежегодно в России образуется около 70 миллионов тонн отходов, кроме того, на свалках накоплено 38 миллиардов тонн, а перерабатывается всего 8 процентов. Поэтому перед муниципальными образованиями сегодня поставлены задачи по организации сбора и утилизации твердых коммунальных отходов, чтобы население не задыхалось в воздухе, наполненном вредными газами, не выводились почвы из хозяйственного оборота, не загрязнялись поверхностные и подземные воды ядовитыми стоками.

Тема статьи является актуальной для любого региона Российской Федерации. Объектом исследования в статье является утилизация твердых коммунальных отходов, а предметом – инновационный реактор разложения ТКО – пушка Фролова.

При выборе способа утилизации твердых коммунальных отходов во главу следует ставить экологическую безопасность и внедрение отечественных технологий [3]. Одним из перспективных методов уничтожения отходов в настоящее время является технология, предложенная Сергеем Фроловым – доктором физико-математических наук из Центра химической физики РАН. По проекту, предложенному автором, на выходе нет никаких выбросов, что соответствует наилучшим доступным технологиям, предотвращающим вредные выбросы и сбросы. Такая утилизация отходов была предложена еще в Советском союзе: воздействием водяного пара с температурой 2000 ^{o}C. В результате такой обработки ТКО полностью разлагались. Так как разложение компонентов отходов идет без свободного кислорода, то отходы не горят, а значит, не образуются опасные для человека и окружающей среды соединения – диоксины, фураны и т. д. В результате получаются конечные продукты процесса: синтез-газ и шлак, из которых можно после применения современных синтез-технологий получить дизельное топливо, метанол, этанол, превратить в тепловую или электрическую энергию, строительные материалы. Варианты подобных установок разрабатывались в наших ведущих институтах, но все они оказались несовершенны. По различным причинам не смогли просто и дешево получить нагретый до 2000 °C водяной пар.

Доктор физико-математических наук С. Фролов предложил неожиданное решение проблемы – применить детонационное горение. Берется обычная толстостенная труба, в нее подается природный газ, кислород и вода, и все это поджигается. Происходит детонационный взрыв, порождая мощную высокотемпературную направленную волну. Через доли секунды она со скоростью до 2 км/с подается в реактор, где встречается с ТКО. Через секунду все повторяется: новое заполнение природным газом, кислородом и водой, новый взрыв, и на отходы воздействует следующая порция пара. За фронтом детонационной волны температура повышается более 2000 °C, а давление – до 1,2 МПа. Высокотемпературный водяной пар воздействует в реакторе на подаваемые отходы, разлагает их до молекулярного уровня, превращая все в газообразное состоя-

ние. Кроме того, детонационные волны интенсивно перемешивают все содержимое реактора [5].

В настоящее время уже работает аналогичная экспериментальная установка (рис. 1). Она не требует сложных систем охлаждения, затрачивает минимальное количество электроэнергии, которое преимущественно расходуется на работу оборудования тракта подачи отходов в реактор. Оценивая технологию утилизации твердых коммунальных отходов, можно отметить ее экологическую безопасность и экономическую эффективность за счет возможности синтезировать высококалорийное топливо или организовать производство спиртов, а также производство энергии для тепло- и электроснабжения населения.

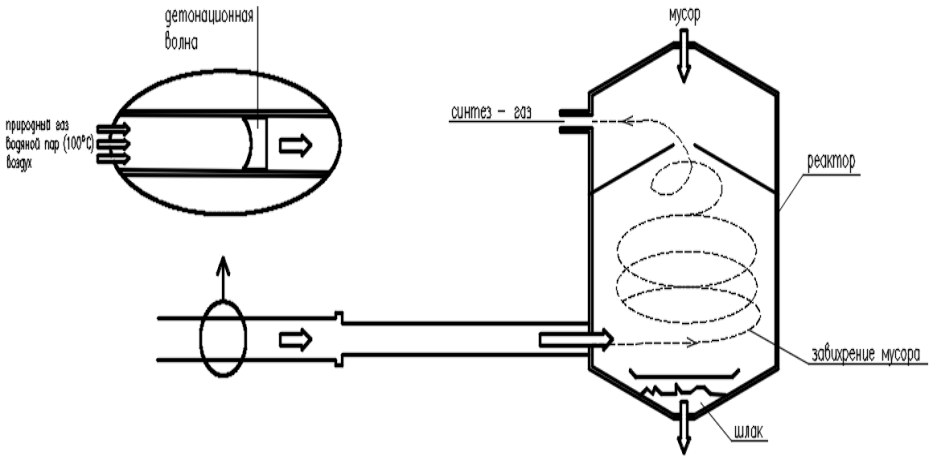


Рис. 1. Получение высокотемпературной детонационной волны [2]

Способна ли такая установка переработать тысячи тонн образующихся твердых коммунальных отходов в населенных пунктах? К сожалению, на поставленный вопрос конкретного ответа мы не нашли. Поэтому и определили реконструкцию загрузочного тракта реактора утилизации ТКО как главную проблему, чтобы обеспечить непрерывность работы установки, автоматизацию процесса и повышение ее производительности. Какие материалы можно применить для изготовления реактора утилизации твердых коммунальных отходов и тракта безопасной подачи отходов на высокотемпературное разложение? На этот и другие вопросы мы попытались найти ответы, используя технологический опыт других отраслей.

Целью статьи является разработка предложения по утилизации ТКО с применением высокопроизводительных, автоматизированных инновационных технологий.

Задачи: изучить технологию детонационного разложения ТКО как наиболее перспективную и не имеющую аналогов в мире; предложить загрузочный тракт реактора утилизации ТКО, обеспечивающего непрерывность работы установки, автоматизацию процесса и увеличение производительности.

Методы исследования. Для работы детонационного парогенератора, для обеспечения его высокой производительности целесообразно проложить трубопровод природного газа и создать газораспределительный пункт. Для бесперебойного снабжения окислителем необходимо предусмотреть подачу в зону горения подогретого воздуха. В качестве источника зажигания предусматривается применение автомобильных свечей. Процесс детонационного горения происходит в толстостенной трубе, изготовленной из броневой стали, свойства которой приведены в таблице [1].

Физические свойства материалов

Материал	Плотность, Y, г/см^3	Твердость по Кнупу $H_к$, ГПа	Модель упругости, σ, МПа	$T_{пл}$, К	Критерий бронестойкости М, (ГПа •м)^3 • К/кг
Броневая сталь	7,8	3,5	3000	1950	0,5 •10^3
Диборид титана TiB_2	4,5	33	350	3400	5,0•10^3

Отсортированные от металлических предметов и измельченные на шредере твердые коммунальные отходы системой транспортеров подаются в бункер отходов, откуда через разгрузочное устройство, снабженное вибратором для устранения зависания, поступают в оборудование для дозирования определенного количества отходов. От дозатора измельченные отходы направляются в роторный питатель низкого давления, который предназначен для непрерывной подачи отходов на пропарку, оборудование, работающее под избыточным давлением пара 0,05–0,15 МПа, и обеспечения его герметичности. В пропарочной камере для удаления воздуха и улучшения пропитки ТКО нагреваются и пропа-

риваются при температуре 105– 110 °С. Образовавшиеся в процессе пропарки газы и вытесненный воздух отводятся в атмосферу. В камере для пропарки твердых коммунальных отходов используется пар низкого давления 0,3 МПа. Схема тракта загрузки отходов показана на рис. 2.

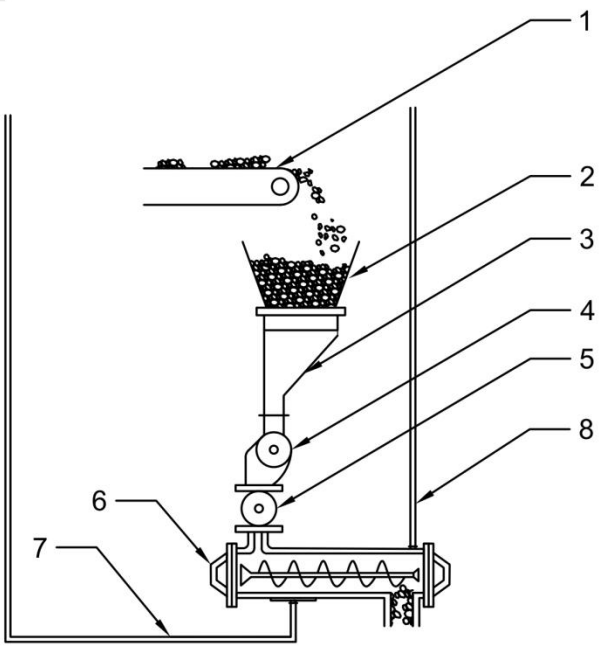


Рис. 2. Тракт загрузки отходов: 1 – загрузочный транспортер; 2 – бункер; 3 – воронка с вибрационным механизмом; 4 – дозатор; 5 – питатель низкого давления; 6 – пропарочная камера со шнековой подачей; 7 – трубопровод вытесненного воздуха; 8 – трубопровод подачи пара

Из пропарочной камеры отходы поступают в питательную трубу, где вновь соприкасаются с поступающим в трубу паром. Пар увлекает за собой измельченные отходы в карманы питателя высокого давления и повышает плотность их заполнения. Питатель служит затвором между пропарочной камерой и реактором, а также предназначен для непрерывной подачи отходов с транспортирующим их паром из зоны давления 0,05–0,15 МПа в зону, где давление составляет 1,0–1,2 МПа. Когда одна из четырех камер вращающегося ротора питателя высокого давления находится в вертикальном положении, пар через коническую втулку с нижней перфорированной перегородкой и нижний патрубок корпуса питателя отводится из камеры ротора и вновь возвращается в питательную трубу. Пропитанные паром отходы при повороте ротора на 90° подхватываются из камеры по-

током пара в загрузочный трубопровод и направляются в верхнюю часть реактора (рис. 3). Необходимое количество пара для транспортирования отходов поддерживается за счет автоматической подачи свежих порций пара высокого давления 1,3–15 МПа. Отходы, разбавленные паром высокого давления до состояния псевдоожижения, а затем и уноса, от питателя высокого давления транспортируются в загрузочное устройство реактора.

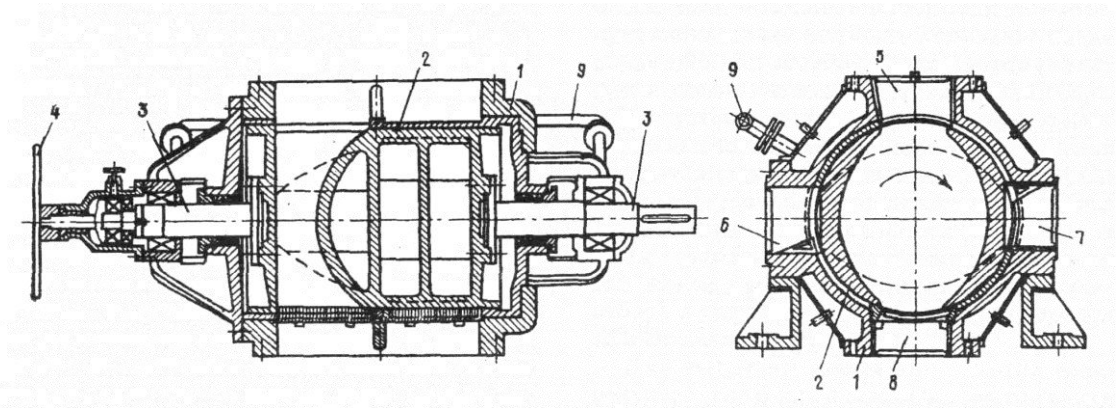


Рис. 3. Питатель высокого давления [4]:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – вал; 4 – регулятор зазора; 5 – патрубок загрузки отходов в питатель, 6 – патрубок для подачи пара в камеру для транспортирования отходов; 7 – патрубок для уравнивания давления и подачи отходов в реактор

Реактор установки выполнен как аппарат колонного типа, сварной конструкции. Материал корпуса предлагается выполнить из броневой стали, обладающей необходимыми прочностными и противоударными свойствами. Внутренняя поверхность аппарата усилена горячепрессованным диборидом титана с целью повышения температуростойкости внутренней поверхности. Аппарат полностью заполнен газообразными продуктами расщепления твердых коммунальных отходов, которые непрерывно отводятся через патрубок в верхней конической части корпуса реактора. В аппарате поддерживается избыточное давление 1,2 МПа и температура около 2000 ^{0}С. В верхнем днище реактора монтируется загрузочное устройство, состоящее из конического сита и вращающегося внутри вертикального винта, целью установки которого является равномерное распределение отходов по всему сечению аппарата. Коническое сито препятствует уносу твердых частиц потоком удаляемого синтез-газа. Твердые частицы собираются на нижнем коническом днище и периодически удаляются

шнековым разгрузочным устройством в специальный резервуар, предназначенный для сбора золы.

Результаты исследований, их обсуждение. В статье описаны результаты, полученные авторами в результате анализа литературных источников и интернет-ресурсов по методам утилизации отходов и способам загрузки сырья в непрерывно работающие аппараты под избыточным давлением. Достоверность полученных результатов обосновывается практическими данными работы загрузочных линий непрерывно работающего котла «Камюр» для варки целлюлозы, обеспечивающих производительность установки до 500 т/сутки одной линии загрузки.

Таким образом, в статье предложена технология детонационного разложения ТКО по методу С. Фролова как наиболее перспективная и не имеющая аналогов в мире и линия тракта непрерывной загрузки отходов в реактор утилизации ТКО, что позволит увеличить его производительность, перевести установку на непрерывный режим работы, автоматизировать технологический процесс, из синтез-газа производить различные виды энергии и ценные продукты.

Библиографический список

1. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. / А. С. Зубченко. М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. М. : Машиностроение, 2003. 784 с.

2. Медведев Ю. Пушка Фролова. Безопасный и дешевый метод уничтожения отходов не имеет аналогов в мире // Российская газета – Федеральный выпуск. 2019. № 279(8037).

3. Методология и практика чистого производства : учеб. пособие / О. А. Коныk, В. В. Жиделева, В. С. Пунгина [и др.] ; отв. ред. В. В. Жиделева ; Сыкт.лесн. ин-т. Сыктывкар : СЛИ, 2015. 196 с.

4. Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы : в 3 т. Т. 2. Производство сульфатной целюлозы. М. : Лесная промышленность, 1990. 600 с.

5. Фролов С. М., Сметанюк В. А., Сергеев С. С. Реактор для газификации отходов сильно перегретым водяным паром // Доклады Российской академии наук. Химия. Науки о материалах. 2020. № 1. С. 71–76.

Идентификация трикотажных переплетений

М. А. Сташева [a], М. У. Мурзаева [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения,
товароведения, стандартизации и метрологии [a]
студентка группы мТКЭдв-11 [b]
Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация [a, b]
E-mail: marinastasheva@mail.ru [a], mahri.umitjanova@gmail.com [b]

Аннотация. Трикотажные полотна широко применяются в производстве швейных изделий. Наличие в ассортименте импортных образцов материалов приводит к расхождению в терминологии. Поэтому задача по идентификации трикотажных переплетений является актуальной. Цель статьи – сопоставление торговых и материаловедческих (учебных) наименований трикотажных переплетений. В работе применяли следующие методы исследования: визуальный осмотр трикотажных полотен; микроскопия поверхности полотна; анализ распускаемости; анализ закручиваемости; зарисовка графической схемы переплетения. В работе приведен анализ классификаций переплетений трикотажных полотен по учебной и действующей нормативно-технической документации; проанализирован ассортимент полотен; сопоставлены торговые и материаловедческие (учебные) наименования переплетений, что в дальнейшем позволит разработать каталог переплетений с учетом сопоставления наименований. Последнее упростит работы по подтверждению соответствия трикотажных изделий и прогнозированию их эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: трикотаж, переплетение, идентификация, швейно-трикотажные товары.

Введение. В настоящее время изделия из трикотажных полотен достаточно широко распространены. Связано это в первую очередь с тем, что трикотаж комфортен, удобен в эксплуатации, обладает повышенными эргономическими характеристиками. Кроме того, производительность трикотажного оборудования в несколько раз превышает производительность ткацкого оборудования, что делает производство трикотажных полотен более выгодным для производителей. Однако, несмотря на рост выпуска отечественных изделий из трикотажных полотен, на данном рынке присутствует большое количество импортных образцов. Зарубежные полотна зачастую имеют собственные торговые наименования (лакоста, рибана, кашкорсе), что отличается от российской классификации трикотажных полотен, закрепленной в учебной и нормативной документации, например, гладь, ластик, пике, интерлок и др. [1, 2] Различия в терминологии, применяемой в торговле, а также в учебной и в нормативно-технической документации приводят к определенным сложностям между производителями и потребителями трикотажных полотен и изделий. Поэтому

актуальной считаем задачу по сопоставлению их торговых и материаловедческих (учебных) наименований применительно к ассортименту, реализуемому на отечественном рынке.

Методы исследования. В работе применяли следующие методы исследования: визуальный осмотр лицевой и изнаночной сторон трикотажных полотен с выделением петель, протяжек и дуг; микроскопия поверхности полотна при десятикратном увеличении; анализ распускаемости в направлениях, прямом и обратном вязании; анализ закручиваемости; зарисовка графической схемы переплетения [3].

Объектами исследования являлись образцы трикотажных полотен следующих торговых наименований: «кулирка», «велюр», «футер», «интерлок», «рибана», «кашкорсе», «лакост».

Результаты исследований, их обсуждение. Основным фактором формирования качества трикотажа является переплетение. От него зависят такие свойства, как прочность, распускаемость, растяжимость, толщина, масса и другие свойства. Основным элементом трикотажа является петля. Именно петлистое строение трикотажа во многом определяет его свойства. В поперечновязаном (кулирном) трикотаже петельный ряд образован одной нитью, поэтому поперечновязаный трикотаж легко распускается в направлении петельного ряда. Этот трикотаж эластичен в поперечном направлении, хорошо сохраняет форму в процессе носки. Выделенные характеристики позволят идентифицировать образцы трикотажных полотен, реализуемых на рынке.

Способы производства трикотажных полотен и их характерные признаки указаны на рис. 1 [2].

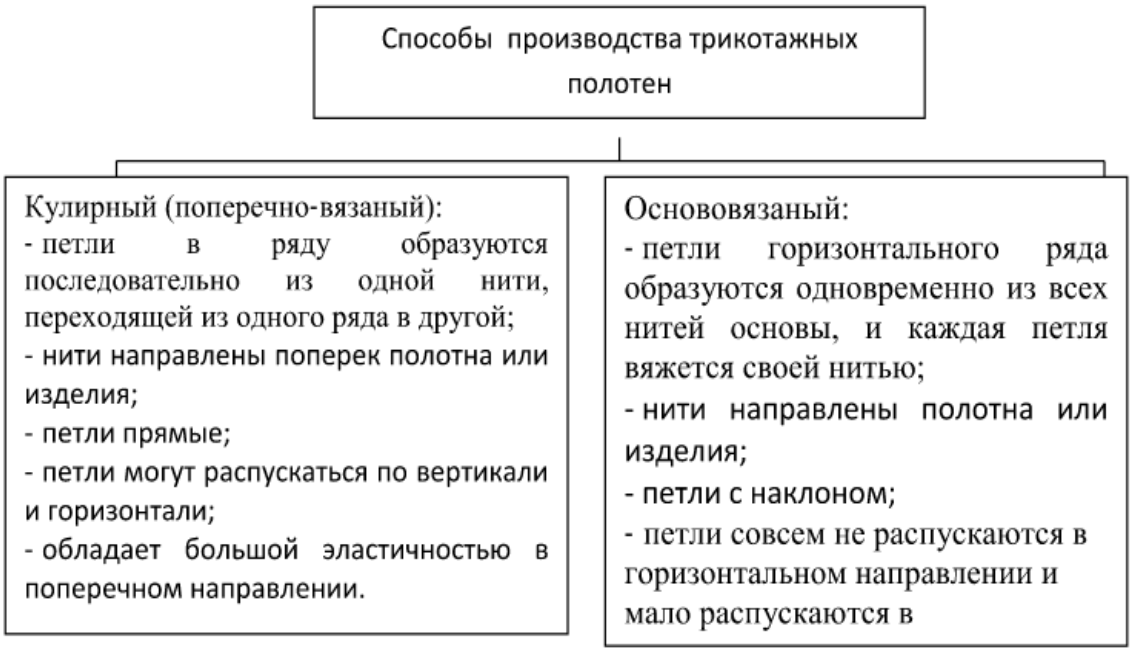


Рис.1. Классификация трикотажных полотен по способам производства [2]

Классификация трикотажных переплетений представлена на рис. 2 [2].

Рис. 2. Классификация трикотажных переплетений [2]

Результаты исследований представлены в таблице.

Результаты идентификации трикотажных полотен

Торговое наименование	Анализ внешнего вида и свойств полотна	Учебное наименование
Кулирка	Имеет разные лицевую и изнаночные стороны. На лицевой стороне имеются ярко выраженные петельные столбики, а на изнаночной – петельные дуги и протяжки петель. Полотно обладает малой толщиной, большой растяжимостью, распускаемостью в направлении вязания и направлении, обратном вязанию, а также закручиваемостью	Главное поперечновязаное (кулирное) одинарное – гладь
Велюр	Лицевая и изнаночная стороны значительно отличаются друг от друга. На лицевой стороне присутствует разрезной ворс, который застилает грунт, а с изнаночной стороны видны петельные палочки. Следовательно, ворс был получен путем ввязывания в грунт дополнительных нитей, образующих длинные протяжки, которые были разрезаны	Рисунчатое поперечновязаное (кулирное) одинарное – плюшевое на базе глади
Футер	Стороны значительно отличаются друг от друга. На лицевой стороне видны петельные палочки, с изнаночной стороны наблюдаются длинные протяжки, которые частично или полностью заворсованы. Полотно обладает пониженной распускаемостью. Следовательно, полотно получили путем ввязывания в грунт с изнаночной стороны футерной (прокладочной) нити, которые прикрепляются к грунту петельными протяжками. Последние образуют густой застил с изнанки трикотажа	Рисунчатое поперечновязаное (кулирное) одинарное – футерованное на базе глади
Интерлок	Лицевая и изнаночная стороны одинаковые и состоят из лицевых столбиков. Полотно обладает значительной плотностью, повышенной прочностью и эластичностью при растяжении в ширину, малой распускаемостью и сопротивлением истиранию. Полотно не закручивается по краям. При растягивании полотна в ширину между растянутыми петельными столбиками одного ластика можно увидеть петельные столбики другого	Производное поперечновязаное (кулирное) двойное – двуластик
Рибана	На обе стороны полотна выходят столбики петельных палочек, чередующихся со столбиками петельных дуг. Полотно обладает большой растяжимостью и упругостью в поперечном направлении, распускается только в направлении, обратном вязанию, не закручивается. Из-за высокой упругости полотна изнаночные столбики оказываются скрытыми внутри трикотажного полотна, за лицевыми петельными столбиками, поэтому кажется, что трикотажное полотно имеет одинаковое строение	Главное поперечновязаное (кулирное) двойное – ластичное (ластик 1+1)
Кашкорсе	Данное полотно имеет разные лицевую и изнаночную стороны. На лицевой стороне заметны полоски (дорожки) разной ширины (в четыре петельных ряда из дуг и протяжек и в два петельных ряда из петельных палочек по лицевой стороне, в зеркальном отношении с изнаночной стороны). Полотно обладает высокой эластичностью	Главное поперечновязаное (кулирное) двойное ластичное (ластик 4+2)
Лакост	Лицевая и изнаночная стороны резко отличаются друг от друга. На лицевой стороне заметны петельные палочки, расположенные друг относительно друга в шахматном порядке, с изнаночной стороны заметны дуги и протяжки. Полотно обладает высокой формоустойчивостью, не закручивается	Комбинированное поперечновязаное (кулирное) – двойное пике

Выводы. В работе приведен анализ классификаций переплетений трикотажных полотен по учебной и действующей нормативно-технической документации; проанализирован ассортимент полотен; сопоставлены торговые и материаловедческие (учебные) наименования переплетений, что в дальнейшем позволит разработать каталог переплетений с учетом сопоставления наименований. Последнее упростит работы по подтверждению соответствия трикотажных изделий и прогнозированию их эксплуатационных свойств [4, 5].

Библиографический список

1. ГОСТ 28554-90 Полотно трикотажное. Общие технические условия: принят 10.05.1990; действ. с 01.07.1991. М., 2005. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200019712 (дата обращения 05.02.2021).
2. Кащенко Е. Г., Калиева О. М., Мельникова Т. Ф. Товароведение однородных групп: трикотажные товары. Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2015. 261 с.: ил., табл., схем. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439220 (дата обращения 05.02.2021).
3. Чарковский А. В., Шелепова В. П. Идентификация трикотажа. Витебск : ВГТУ, 2019. 284 с.
4. Испытания трикотажных полотен с целью подтверждения соответствия / М. А. Сташева, Т. Н. Новосад, Н. В. Евсеева, Б. Н. Гусев // Технологии и качество. 2020. № 1 (47). С. 22–25.
5. Надёжная Н. Л., Кузнецов А. А., Чарковский А. В. Прогнозирование деформационных свойств трикотажа для компрессионных изделий // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2013. № 24. С. 48.

Анализ систем теплоснабжения с локальными тепловыми насосами, имеющими паротурбинные ТЭЦ в качестве источника

Д. М. Суворов [a], Е. А. Лыскова [b]
кандидат технологических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики [a]
студентка группы ТиТб-4801 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: etf_suvorov@vyatsu.ru [a], liskova.eka@yandex.ru [b]

Аннотация. Целью работы является анализ энергетической эффективности систем теплоснабжения с локальными тепловыми насосами, имеющими паротурбинные ТЭЦ в качестве источника. В качестве основных использованы метод энергетических балансов и метод математического моделирования на основе эквивалентных схем построения систем теплоснабжения и паротурбинных ТЭЦ. Определено, что наибольшую экономию теплоты топлива на ТЭЦ обеспечивают режимы, когда работа компрессоров ТНУ вытесняет нагрузку пиковых водогрейных котлов ТЭЦ. Показано, что любые схемы работы систем отопления, где могут использоваться локальные ТНУ, могут быть реализованы и без ТНУ, с использованием линий перепуска и рециркуляции на тепловых пунктах. Установлено, что использование низкотемпературных систем отопления и расширенного температурного графика регулирования отопления дает возможность обеспечивать температуры воды после систем отопления от 25 до 40 °С при любых наружных температурах воздуха. Как показано в работе, ни при каких реально возможных граничных условиях локальные ТНУ по рассмотренным схемам не могут быть выгодны для абонентов – потребителей тепловой энергии.

Ключевые слова: система теплоснабжения, температурный график, тепловое потребление, теплонасосная установка, ТЭЦ.

Введение. Применение локальных ТНУ рассматривается в рамках продолжения обоснования выводов в ранее опубликованных статьях [1, 2]. В данных системах теплоснабжения, имеющих в качестве источника ТЭЦ, эффективность применения ТНУ является неоднозначной как с энергетической, так и особенно с экономической точки зрения и требует определения условий, при которых такие системы могут быть эффективны.

Целью данной работы является анализ энергетической эффективности систем теплоснабжения с локальными тепловыми насосами, имеющими паротурбинные ТЭЦ в качестве источника.

Из цели вытекает постановка следующих задач исследования.

1. Определить наиболее эффективные случаи возможного применения локальных парокомпрессионных тепловых насосов, использующих охлаждение сетевой воды после систем отопления в качестве холодного источника, в системах теплоснабжения на основе паротурбинных ТЭЦ. 2. Определить оптимальные установки испарителей ТНУ. 3. Определить условия и возможность работы

систем отопления, где могут использоваться локальные ТНУ, и при отсутствии ТНУ. 4. Определить влияние различных факторов на температуру сетевой воды после систем отопления. 5. Определить, при каких граничных условиях локальные ТНУ по рассмотренным схемам могут быть выгодны для абонентов – потребителей тепловой энергии.

Ведущий подход. Для решения поставленных задач был проведен анализ граничных условий и результатов исследования, выполненных при участии одного из авторов в работах [1, 2]. В качестве основного подхода использован метод энергетических балансов и метод математического моделирования на основе эквивалентных схем построения как систем теплоснабжения, так и паротурбинных ТЭЦ, в том числе при использовании реальных энергетических характеристик оборудования [2–4]. Необходимо было очень четко указать граничные условия работы систем теплоснабжения, включая как источники, так и потребителей, до и после планируемой реконструкции с установкой локальных ТНУ. В частности, очень важно, как меняется расчетная тепловая нагрузка как локальной системы, в которую включается ТНУ, так и основного источника (ТЭЦ или районной котельной). От этого зависит изменение режима работы и источника, и тепловых сетей. Поэтому при расчете эффектов исходили из варианта, согласно которому необходимо считать, что все объекты, подключенные к системе теплоснабжения, подвергаются реконструкции или модернизации аналогично рассматриваемой локальной системе, и только в таком случае эффекты, связанные с изменением режима работы источника в части изменения таких величин, как удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, расходы сетевой воды, тепловые потери в сетях, могут быть учтены достаточно точно. То есть вместо множества локальных систем рассматривается эквивалентная режиму при их параллельной работе единая модельная система теплоснабжения, подключенная к ТЭЦ, и рассчитываются параметры каждого характерного режима ее работы, необходимого для последующего анализа.

В данном исследовании рассмотрен вариант с делением системы отопления объекта на две части (см. рис. 1), когда в одной из них действует высоко-

температурная система отопления (HS1), а во второй – низкотемпературная (HS2), одним из источников тепла для которой служит обратная вода системы отопления высокотемпературной части, причем регулирование отопления для обеих частей как по расходу воды, так и по температуре на входе производится автоматикой по любому закону независимо друг от друга (см. рис. 1). Однако для отдельных зданий (ИТП) такое деление системы требует существенной реконструкции как самих объектов системы отопления, так и ИТП. На схеме рис. 1 оборудование ТНУ показано опционально, то есть система может работать в одних и тех же режимах для тепловых потребителей как при наличии ТНУ, так при отсутствии.

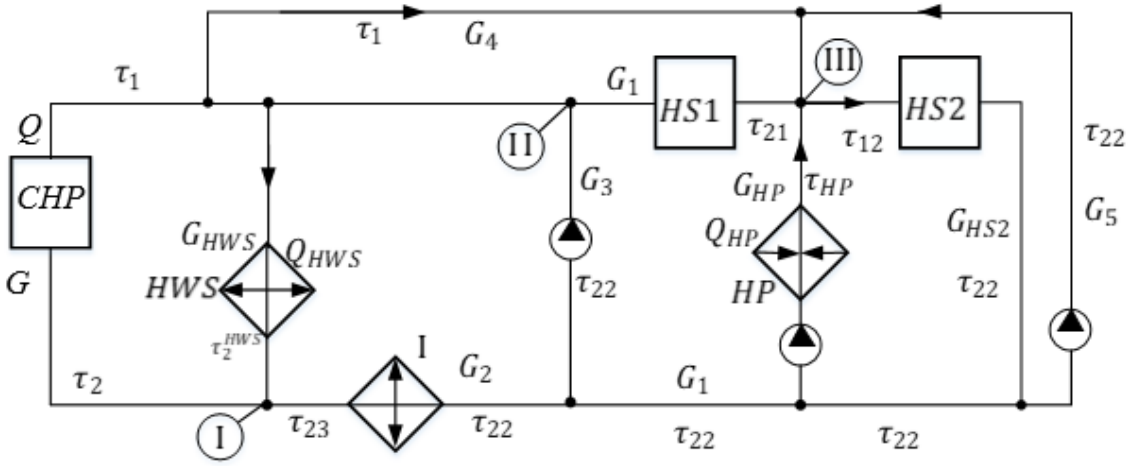


Рис. 1. Расчетная схема модельной системы теплоснабжения при делении на высокотемпературную и низкотемпературную части: CHP – источник теплоты (ТЭЦ); HS1 –высокотемпературная система отопления; HS2 – низкотемпературная система отопления; HP – тепловой насос; HWS – система ГВС здания

Гораздо более перспективным применение схемы в соответствии с рис. 1 представляется для систем отопления в составе центральных тепловых пунктов (ЦТП). На практике к одному ЦТП могут быть присоединены несколько десятков многоэтажных зданий разного назначения, причем новые здания могут строиться и подключаться даже при превышении суммарной нагрузки проектных значений для ЦТП (за счет использования запаса тепловой мощности, принятого при проектировании ЦТП). В таком случае применение схемы в соответствии с рис. 1 становится естественным и весьма эффективным в части использования как пропускной способности теплопроводов тепловых сетей, так и

оборудования ЦТП (насосное и теплообменное) в случае, когда при подключении новых тепловых потребителей по обычной схеме потребовалось бы строить новые ЦТП и новые тепловые магистрали.

Результаты исследований и их обсуждение. Расчетные исследования были выполнены для условий г. Кишинева для модельной ТЭЦ с турбинами Т-50–130, они подробно описаны в работе [2]. Система отопления HS моделируется как единая низкотемпературная и работает по графику τ_{11}'/τ_{22}' =60/30 °С (при расчетной температуре воздуха $t_{но}$=–15 °С).

Для расчета исходной схемы и схемы с ТНУ введем следующие обозначения параметров (см. рис. 1). Для основного источника тепла – ТЭЦ (CHP): тепловая нагрузка – Q, МВт, расход сетевой воды – G, кг/с, температура сетевой воды на входе – τ_2, °С, температура сетевой воды на выходе – τ_1, °С. Для нагрузки ГВС (HBC): тепловая нагрузка Q_{hws}= 55 МВт =const, температура сетевой воды после подогревателей ГВС τ_2^{hws}=40 °С, расход сетевой воды на ГВС – G_{hws}, кг/с. Для нагрузки первого потребителя отопления (HS): тепловая нагрузка – Q_{HS}, МВт, расход сетевой воды – G_1, кг/с, температура сетевой воды на входе – τ_{11}, °С, температура сетевой воды на выходе – τ_{22}, °С. Температура τ_{11} поддерживается автоматически путем насосного подмешивания обратной сетевой воды с температурой τ_{22}, °С, в количестве G_3 по линии рециркуляции на ЦТП или ИТП. В линии рециркуляции может быть также установлен параллельно газоохладитель теплового насоса HP.

Для системы отопления HS максимальная температура сетевой воды, достигаемая при условии количественно-качественного регулирования отопления, принята равной τ_{22} =30 °С. Для расчета системы теплоснабжения при наличии и при отсутствии ТНУ используются основные уравнения материальных и тепловых балансов, приведенные в [2]. Весь анализ ведется в соответствии с формулами и табл. 1 и 2 из статьи [2].

По полученным расчетным данным построены графические зависимости, представленные на рис. 2, 3.

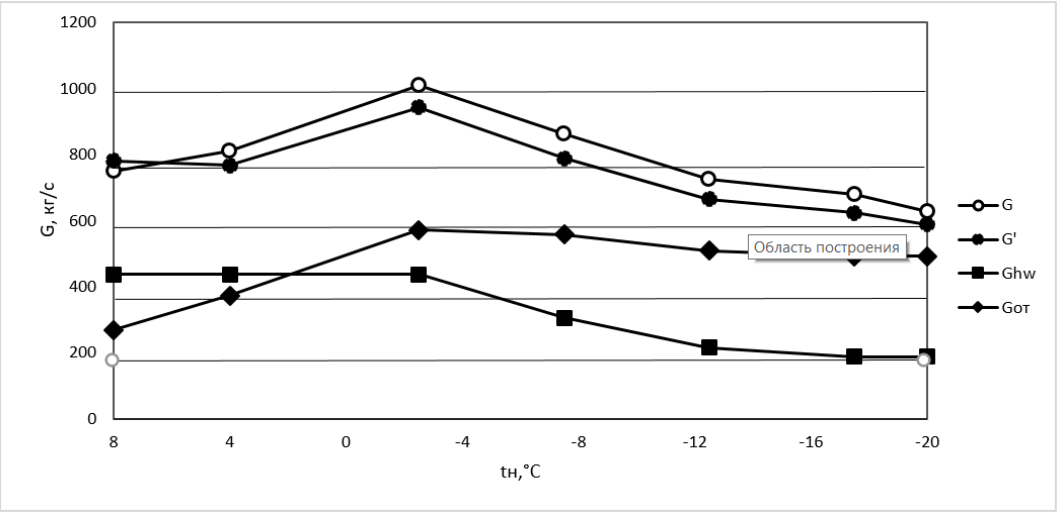


Рис. 2. Зависимость расхода сетевой воды от средней температуры наружного воздуха: G – расход сетевой воды; G' – расход сетевой воды с ТНУ; G_{hw} – расход сетевой воды на ГВС; $G_{от}$ – расход сетевой воды на отопление

Результаты расчетов, представленные на рис. 2, 3, показывают, что применение локальных ТНУ даже при их значительной доле в суммарной нагрузке системы не приводит ни к существенному уменьшению расхода сетевой воды на ТЭЦ, ни к сколько-нибудь заметному уменьшению температуры обратной сетевой воды для источника.

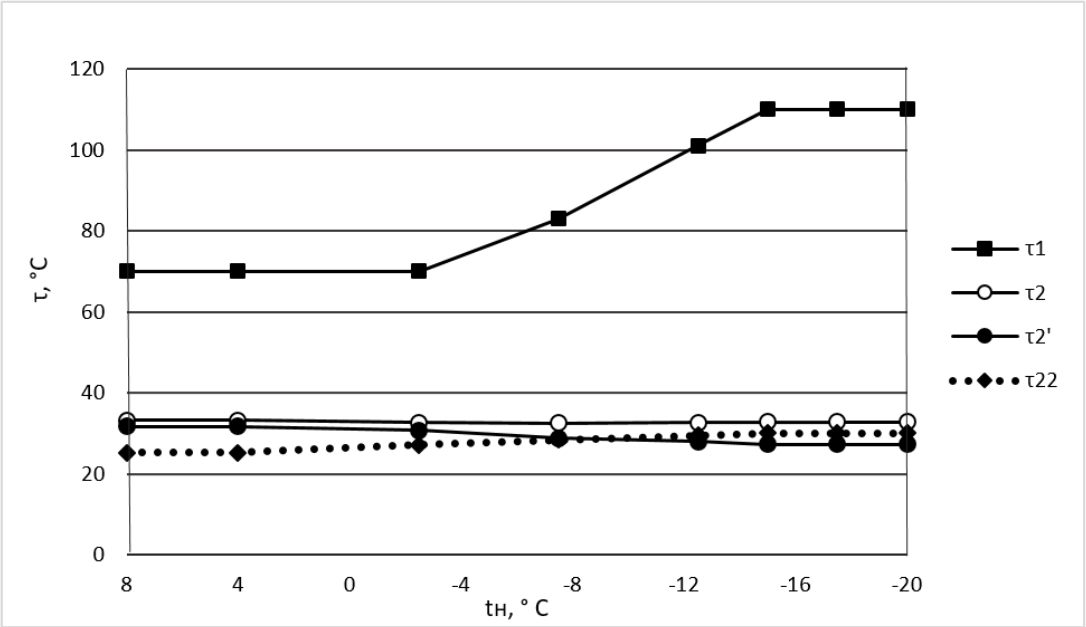


Рис. 3. Зависимость температуры прямой и обратной воды от средней температуры наружного воздуха: τ_1 – температура прямой сетевой воды; τ_2 – температура обратной сетевой воды; τ_2' – температура обратной сетевой воды с ТНУ; τ_{22} – температура воды в обратной линии системы отопления сетевой воды; τ_{21} – промежуточная температура между потребителями тепла

Выводы

1. В данной работе рассмотрены наиболее эффективные случаи возможного применения локальных парокомпрессионных тепловых насосов, использующих охлаждение сетевой воды после систем отопления в качестве холодного источника, в системах теплоснабжения на основе паротурбинных ТЭЦ. Наибольшую экономию теплоты топлива на ТЭЦ обеспечивают режимы, когда работа компрессоров ТНУ вытесняет нагрузку пиковых водогрейных котлов ТЭЦ, а сами паровые турбины работают по тепловому графику с максимальным расходом пара и полной загрузкой отопительных отборов турбин.

2. В схемах с локальными ТНУ к наибольшему эффекту для источника (по снижению температуры обратной сетевой воды τ_2) приводит при заданной мощности ТНУ установка испарителей ТНУ после линии рециркуляции (по ходу обратной сетевой воды к источнику). Установка дополнительных устройств для охлаждения обратной сетевой воды типа градирен является энергетически бессмысленной и экономически разорительной, поскольку тепло, потребляемое этими устройствами, увеличивает тепловую нагрузку ТЭЦ и его надо дополнительно оплачивать, а на ТЭЦ расходовать для обеспечения дополнительной тепловой нагрузки дополнительное топливо.

3. Любые схемы работы систем отопления, где могут использоваться локальные ТНУ, могут быть реализованы и без ТНУ, с использованием при необходимости линий перепуска и рециркуляции, показанных на рис. 1.

4. На температуру сетевой воды после систем отопления основное влияние оказывает проектный температурный график этих систем и схема их включения, а также конкретные режимы при регулировании теплопотребления. Наилучшее использование теплового потенциала теплоносителя и минимальной температуры сетевой воды после систем отопления обеспечивает расширенный график количественно-качественного регулирования (РГР) [3]. Использование РГР и низкотемпературных систем отопления дает возможность во всем температурном диапазоне отопления обеспечивать температуры воды после систем отопления от 25 до 40 °С, которая является оптимальной для работы ТЭЦ с минимизацией затрат на перекачку сетевой воды.

5. Ни при каких реально возможных граничных условиях локальные ТНУ по рассмотренным схемам не могут быть выгодны для абонентов – потребителей тепловой энергии, так как платежи за электроэнергию для ТНУ всегда больше, чем экономия платежей за недопоставленную тепловую энергию; а для ТЭЦ незначительный положительный экономический эффект может иметь место только при работе их турбоагрегатов с полной нагрузкой в случае, если за счет ТНУ уменьшается нагрузка пиковых водогрейных котлов ТЭЦ, при условии, что стоимость дополнительно отпускаемой электроэнергии будет превышать стоимость недоотпущенной тепловой энергии. Однако энергетически такой эффект может быть положителен, если замещающая потребление компрессоров ТНУ электроэнергия отпускается от тепловых или атомных электростанций, имеющих КПД по отпускаемой электроэнергии 70 % и более, что является нереальным. Кроме того, такие режимы работы ТЭЦ имеют место практически только в условиях очень низких температур наружного воздуха, то есть незначительную часть отопительного периода.

Библиографический список

1. Комбинированная система теплоснабжения с ТЭЦ и локальными тепловыми насосами / М. Л. Шит, А. А. Журавлев, Д. М. Суворов, В. М. Сущих // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 1 (45). С. 81–93.

2. Система теплоснабжения с ТЭЦ и локальными тепловыми насосами, использующими теплоту обратной сетевой воды. Часть 2 / М. Л. Шит, А. А. Журавлев, Д. М. Суворов, Л. А. Суворова // Проблемы региональной энергетики. 2020. 2(46). С. 108–122.

3. Pyatin A., Shempelev A., Popova E. Improving the efficiency of heating boiler plants by using the variable-frequency drive with different methods of heat supply regulation // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Т. 245. С. 07020.

4. Tatarinova N. V., Suvorov D. M. Development of adequate computational mathematical models of cogeneration steam turbines for solving problems of optimization of operating modes of CHP plants // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE. 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911578.

Влияние вида синтетического этиленпропиленового каучука на физико-механические свойства радиационно-защитного материала

Д. Л. Сунцов
аспирант кафедры строительных конструкций и машин
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: stud072748@vyatsu.ru

Аннотация. В статье анализируются сложившиеся методы по защите от ионизирующего излучения и указаны наиболее часто используемые материалы для решения данной задачи. В работе автор статьи приводит требования к основным физико-механическим и защитным свойствам радиационно-защитного материала. Целью исследования является определение влияния применяемой марки синтетического этиленпропиленового каучука на физико-механические свойства материала. В качестве основного метода исследования применен экспериментальный метод определения прочности сцепления с металлом и прочности на отрыв с бетоном при помощи разрывной машины. Результаты показали, что применение в качестве связующего этиленпропиленового каучука марки СКЭПТ 50 позволяет получить радиационнозащитный материал с прочностью сцепления с металлом 8,7 Н/см и прочностью на отрыв с бетоном 0,33 МПа. Статья будет полезна для тех, кто занимается изучением проблем радиационной защиты и разработкой композитных радиационно-защитных материалов.

Ключевые слова: защита от рентгеновских лучей, радиационная защита, механические свойства, синтетический этиленпропиленовый каучук, полимерные композиты.

Введение. Современная медицина интенсивно использует различные виды ионизирующих излучений для лечения и диагностики многих заболеваний. Кроме рентгенографии, применяют флюорографию, рентгеновскую компьютерную и позитронно-эмиссионную томографии [1]. В данных исследованиях применяют рентгеновские и гамма-излучения, которые относятся к излучениям, обладающим высокой проникающей способностью. При длительном воздействии или больших дозах данные излучения опасны для здоровья и жизни человека.

Для защиты персонала и пациента используют специальные защитные перегородки, экраны, кожухи, специальную одежду [2, 3]. Выбор материала для создания защитного сооружения зависит от вида излучения и его энергии. Наиболее распространенные в медицине рентгеновские трубки способны создать излучение с энергией фотонов от 60 до 100–120 кэВ при диагностике и 150–200 кэВ при терапии [4,5].

Полимерные радиационно-защитные материалы в последнее время зарекомендовали себя как надежные защитники от рентгеновского излучения. За-

щитные свойства радиационно-защитного материала определяются типом выбранного наполнителя. В работах [5–7] описываются радиационно-защитные материалы, наполненные сульфатом бария (BaSO4). Данный наполнитель является экологически безопасным и обладает высокими защитными свойствами.

В качестве основы для полимерного радиационнозащитного материала выступают каучуки, обладающие высокой радиационной стойкостью. Наиболее часто для роли полимерного связующего в радиационно-защитных материалах применяют синтетический этиленпропиленовый каучук [8, 9]. Материалы на основе этиленпропиленового каучука обладают отличной гибкостью, легко формуются и способны легко удерживать заданную форму.

При введении в радиационно-защитный материал на основе этиленпропиленового каучука агента липкости возможно создание самоклеящегося материала. В работе [10] описываются методы повышения адгезионных свойств радиационно-защитного материала с баритовым наполнителем путем введения в состав различного количества алкилфенолформальдегидной смолы. Авторы приходят к мнению, что оптимальным количеством смолы в полимерах является 6 % по объему.

На основании вышеизложенного возможен вывод о том, что создание самоклеящегося радиационно-защитного материала на основе этиленпропиленового каучука не только возможно, но уже осуществлено. И возникает задача определения влияния вида синтетического этиленпропиленового каучука на основе физико-механических свойств радиационно-защитного материала.

Постановка цели и задач исследования. Определить влияние марки синтетического этиленпропиленового каучука на роль связующего в полимерном радиационно-защитном материале с заранее определенными физико-механическими свойствами: прочность при отслаивании от металла не менее 4 Н/см, характер отрыва был бы когезионным (по материалу), сопротивление разрыву более 0,2 МПа и коэффициентом линейного ослабления для рентгеновского излучения не менее 6 см-1.

Материалы исследования. Радиационно-защитный материал представляет собой однородную смесь основы-каучука, пластификатора, наполнителя и

улучшающих добавок. В качестве основы для полимерного композиционного материала использованы этилен-пропиленовые каучуки: СКЭПТ 50 (Уфаоргсинтез, Россия), Keltan 2450, Keltan 2470, Keltan 3470, Keltan 4450, Keltan 4577 (ARLANXEO, Netherlands), Mitsui EPT 3092PM (Mitsui & Co, Japan). Выбор СКЭПТ в качестве связующего связан с тем, что сам каучук, а также другие материалы на его основе обладают гибкостью и липкостью, так необходимыми для создания самоклеющегося радиационно-защитного материала. Пластификатор – индустриальное масло И-40 ГОСТ 20799-880 (РуссНефть, Россия). В качестве наполнителя использован микробарит Мибари (ГеоКОМ, Россия). В качестве агента липкости использована алкилфенолформальдегидная смола SP-1045 (“SI Group”, Франция). Несмотря на все положительные качества, алкилфенолформальдегидная смола выступает в материале лишь в качестве улучшающей добавки. Это связано с тем, что крайне проблематично создать гибкий радиационно-защитный материал, связующим в котором выступает только смола.

В смесях доля пластификатора в базовой композиции (система полимерная матрица + пластификатор) составляет 0,45. Доля смолы SP-1045 в полимерной матрице (СКЭПТ+SP-1045) составляет 0,2. Доля барита в общем объеме смеси составляет 0,52. Для пересчета объемных долей в массовые применялся удельный вес (плотность) ингредиентов, составляющий для этилен-пропиленового каучука 0,87 г/см^3; И-40 – 0,90 г/см^3; Мибари – 4.45 г/см^3; SP-1045 – 1.40 g г/см^3.

Композиционные смеси готовились с помощью лабораторного смесителя периодического действия с тангенциальными роторами. Полимер первоначально перемешивали при температуре 120 ºС со скоростью 44 об/мин в течение 20 минут. Далее полимер смешивали с пластификатором, затем добавляли наполнитель и модификатор и продолжали смешение еще 100 минут. Затем из смеси, не прекращая смешения, каждые 20 минут отбирался образец материла, и при помощи лабораторного микроскопа ZEISS Primo Star производилось наблюдения величины частиц барита в композите. При достижении частиц барита размера 0,01 мм смещение прекращалось, затем прокатывали на прокатном стане до однородной толщины материала.

Методы исследования. Прочность сцепления с металлом определяется по ГОСТ 24025. Прочность на отрыв с бетоном определяется по ГОСТ 21981. Определение прочности на отрыв с металлом производится в отрывной машине (рис. 1).

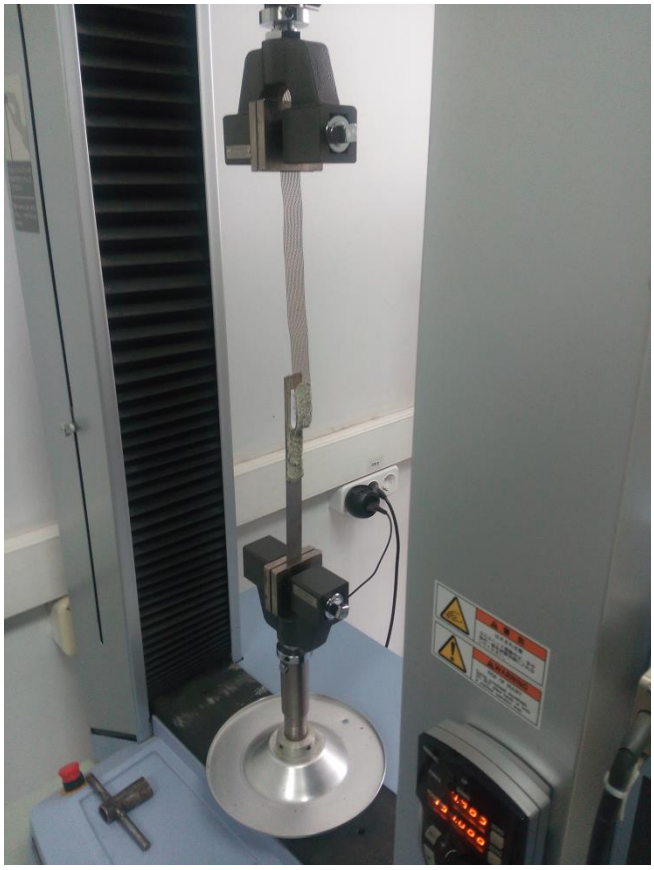


Рис. 1. Испытание материала на прочность на отрыв с металлом

Основные результаты. *Влияние связующего полимера на прочность отрыва от бетона и прочность на отрыв от металла*. СКЭПТ обладает низкой липкостью, и для обеспечения адгезии к металлу его необходимо пластифицировать. Добавление индустриального масла в качестве пластификатора до объемного содержания 40 % ведет к повышению адгезионной прочности [10], а затем она начинает снижаться. Наполненные композиции при содержании масла в полимерной смеси 45–50 % показывают наивысшие значения прочность на отрыв от металла (рис. 2). При содержании пластификатора в полимерной смеси 45 % наблюдаются максимальные значения прочность отрыва от бетона (рис. 3).

Основной проблемой применения защитных экранов является ограниченный выбор материалов для их изготовления. Для защиты от гамма-излучений наиболее часто применяют экраны, изготовленные из химических элементов, обладающих большим зарядовым числом атомного ядра, а соответственно, и удельным весом. Среди таких элементов наиболее часто используются железо, свинец, вольфрам. Но применение металлов в качестве защитных экранов имеет ряд отрицательных качеств: сложность изготовления, неудобство использования, ограниченность формообразования, проблематичность установки и демонтажа [3, 4].

Рис. 2. Прочность на отрыв от металла в зависимости от используемого связующего полимерного вещества

Рис. 3. Прочность отрыва от бетона в зависимости от используемого связующего полимерного вещества

Линейный коэффициент поглощения материала. Все образцы материалов были подвергнуты облучению с целью определения линейного коэффициента поглощения. Принципиальная схема установки для определения интенсивности падающего излучения на лабораторный образец указана на рис. 4.

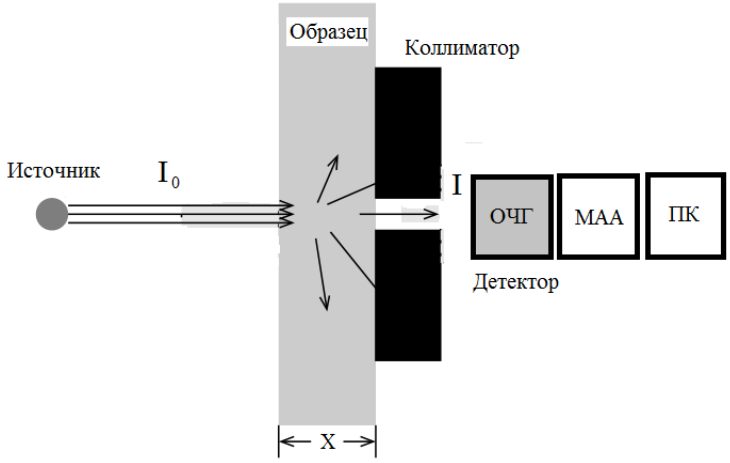


Рис. 4. Схема лабораторного оборудования: ОЧГ – германиевый детектор; МАА – многоканальный анализатор; ПК – персональный компьютер

Для испытаний из полос материала с заранее измеренной толщиной изготовлены образцы размерами 100х100 мм. В качестве источника излучения принимался изотоп Am-241, энергия излучения которого соответствует излучению рентгеновской трубки с напряжением на аноде 100 кВ. При проведении испытаний с образцом при облучении его источником излучения Am-241 расстояние от источника до торца детектора должно составлять 8 мм. Схема расположения опытных образцов при испытании приведена на рис. 5.

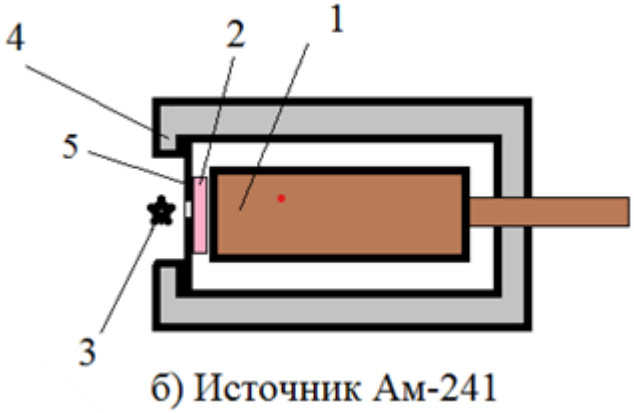


Рис. 5. Схема расположения образцов при испытании: 1 – детектор гамма-квантов; 2 – образец; 3 – источник гамма-квантов; 4 – свинцовая защита; 5 – коллиматор

Для источника был определён начальный поток гамма-квантов и оптимальное расстояние от торца детектора до источника. Затем перед торцом детектора размещается образец и источник гамма-квантов. При этом детектор должен быть окружен свинцовой защитой, служащей первичным коллиматором диаметром 5 мм и защищающей от фоновых источников гамма-квантов и рентгеновского излучения. При измерениях на Am-241 в качестве коллиматора применяется свинцовая пластина толщиной 0,5 мм с коллиматором диаметром 5 мм. После этого производят замер потока гамма-квантов, прошедших сквозь образец.

Линейный коэффициент затухания материала (3) в см-1 определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{x}\ln\frac{I_0}{I},$$

где x – толщина образца;

I_0 – начальная интенсивность электромагнитного излучения;

I – интенсивность падающего электромагнитного излучения, прошедшего через пластину из радиационно-экранирующего материала.

Как следовало из теоретического обоснования, защитные свойства материала находятся в зависимости от количества наполнителя, его атомной массы и порядкового номера в периодической таблице химических элементов. Линейный коэффициент поглощения для данных материалов при толщине 5 мм образца находится в пределах 10,06 $см^{-1}$ при энергии облучения 100 кВ. При рассматриваемых толщинах материалов и энергии излучения свинцовый эквивалент для исследуемых материалов составил 5,05 мм. Это значит, что 5,05 мм данных образцов обеспечивают при данной энергии излучения такую же защиту, как и 1 мм чистого свинца.

Таким образом, вновь подтверждена идея о том, что количество наполнителя в композите главным образом влияет на его защитные свойства. Также установлено, что все из рассматриваемых материалов имеют коэффициент линейного поглощения выше 6 $см^{-1}$.

Выводы. Исследованы прочностные свойства композитных радиационнозащитных материалов. Массовые доли всех компонентов (полимер – масло – смола – наполнитель), составляющих данные материалы, были равны, различия были лишь в выборе основного полимерного связующего. Выявлена область составов, которые отвечают требованиям, предъявляемым к самоклеящемуся радиазионно-защитному материалу: прочность на отрыв от металла не ниже 4 Н/см, прочность на отрыв от бетона не менее 0,2 МПа, когезионный характер отрыва, линейный коэффициент ослабления ионизирующего излучения. Среди изученных материалов обозначенным требованиям могут соответствовать составы, в качестве полимерной основы которых выступают полимеры СКЭПТ 50 и этилен-пропиленовый каучук марки Mitsui EPT 3092PM. Оба материала показали плотность около 2,73 г/см^3 и линейный коэффициент ослабления около 10,06 см-1. Свинцовый эквивалент для данных материала при энергии излучения 100 кВ равняется 5,05 мм.

Радиационно-защитный материал на основе СКЭПТ 50 имеет следующие значения прочности: на отрыв от металла – 8,7 Н/см, прочности на отрыв от бетона – 0,33 МПа. Радиационно-защитный материал на основе Mitsui EPT 3092PM имеет прочности на отрыв от металла 10 Н/см, прочности на отрыв от бетона – 0,26 МПа.

На основании изложенного возможен вывод о том, что в качестве полимерной основы для создания самоклеящихся радиационно-защитных материалов могут с успехом применяться этилен-пропиленовый каучук марки СКЭПТ 50 или марки Mitsui EPT 3092PM. Так как показатели значения прочности на отрыв от металла и от бетона для обоих материалов намного превышают нижние допустимые значения, то в качестве решающего условия для выбора полимерной основы может выступать экономичность, а точнее, стоимость полимеров. Стоимость 1 кг каучука марки СКЭПТ 50 составляет около 170 рублей. Стоимость 1 кг каучука марки Mitsui EPT 3092PM составляет около 300 рублей. На основании последнего факта возможен вывод о том, что применение синтетического этилен-пропиленового каучука марки СКЭПТ 50 позволяет создать

самоклеящийся радиационно-защитный материал с достаточно высокими защитными и физико-механическими характеристиками, но и с относительно невысокой себестоимостью.

Библиографический список

1. Sowa P., Rutkowska-Talipska J., Sulkowska U., Rutkowski K., Rutkowski R. Ionizing and non-ionizing electromagnetic radiation in modern medicine // Polish Ann Med. 2012. Vol. 19. P. 134–138. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.poamed.2012.07.00 (published: 10.07.2012).

2. Brudecki K., Kowalska A., Zagrodzki P., Szczodry A., Mroz T., Janowski P. et al. Measurement of ^{131}I activity in thyroid of nuclear medical staff and internal dose assessment in a Polish nuclear medical hospital // Radiat Environ Biophys. 2017. Vol. 56. P. 19–26. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/Ionizing_and_non-ionizing_electromagnetic_radiatio.pdf.

3. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений : справ. М. : Энергоатомиздат, 1995.

4. ГОСТ Р МЭК 62220-1-3-2013. Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения. Части 1–3. Определение квантовой эффективности регистрации. Приемники, работающие в динамическом режиме получения изображений : принят 01.01.2015; действ. с 01.01.2015. М., 2015. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200104991 (дата обращения 08.02.2021).

5. Akkurt I., Basyigit C., Kilincarslan S., Mavi B. The shielding of γ-rays by concretes produced with barite // Progress in Nuclear Energy. 2005. № 46. P. 1–11.

6. Akkurt I., Akyildirim H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C. Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate // Annals of Nuclear Energy. 2010. № 37. P. 910–914.

7. Salah N., Habib S.S., Khan Z.H., Al-Hamedi S., Lochab S.P. nanoparticles of baso4:eu for heavy-dose measurements // journal of luminescence. 2009. № 129. P. 192–196.

8. Пат. 156351. РФ, МПК G 21 F 3/00. Экран для защиты от радиационного излучения : № 2015115999/07: заявл. 27.04.2015: опубл. 10.11.2015 / ООО «Завод герметизирующих материалов» ; патентообладатель ООО «Завод герметизирующих материалов». Бюл. № 31.

9. Özdemir T., Güngör A., Reyhancan I. A. Flexible neutron shielding composite material of EPDM rubber with boron trioxide : Mechanical, thermal investigations and neutron Shielding tests // Radiation Physics and Chemistry. 2017. Vol. 131. P. 7–12.

10. Cherkasov D. V., Avdonin V. V., Suntsov D. L. Influence of filler content on adhesive properties of radiation-protective sheeting // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Publishing, Chelyabinsk, Russian Federation 2018. № 451. P. 1–7. ISSN 1757-8981. DOI:10.1088/1757-899X/451/1/012205.

Анализ процессов декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов

Н. А. Тарбеева [a], О. А. Рублева [b]
аспирант группы ТДа-1801-01-00 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии деревообработки [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: nataly.ntar534@yandex.ru [a], olga_ru@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В рамках современной тенденции ресурсосбережения актуальной является задача замены твердолиственной древесины низколиквидным сырьем. Для изготовления отделочных материалов из низколиквидной древесины требуется комплексное повышение декоративных и физико-механических свойств сырья. В связи с этим целью исследования является определение оптимальных способов упрочнения и декорирования заготовок из древесины для комбинированной обработки. В работе представлены результаты сравнительного анализа технологий декорирования и упрочнения заготовок из древесины, установлены наиболее значимые технологические параметры, определены рациональные способы повышения декоративных и физико-механических свойств заготовок из древесины хвойных пород, обоснована необходимость объединения операций обжига, браширования, прессования и термической обработки в единый технологический процесс. Установлено, что комбинированная декоративно-упрочняющая обработка позволяет использовать низколиквидное древесное сырье наравне с твердолиственной древесиной.

Ключевые слова: обжиг, браширование, модифицирование древесины, низколиквидная древесное сырье.

Введение. В настоящее время низкий уровень глубокой переработки древесины является одной из главных проблем российского лесного комплекса [1]. Согласно основам государственной политики в области использования, охраны и защиты и воспроизводства лесов до 2030 года перед деревообрабатывающей промышленностью РФ поставлены задачи рационального использования природных ресурсов, увеличения объемов глубокой переработки древесины, вовлечения в хозяйственный оборот малоценных и низколиквидных древесных ресурсов при сохранении высоких требований к качеству продукции [4].

Вместе с тем современные требования к повышенной экологичности материалов для организации жизненной среды человека обусловливают тенденцию увеличения востребованности отделочных и облицовочных материалов из древесины. Традиционным сырьем для их производства является дефицитная твердолиственная древесина, что приводит к увеличению стоимости продукции и снижению конкурентоспособности.

Альтернативным видом сырья для производства отделочных материалов является низколиквидная древесина и древесные отходы, в больших объемах образующиеся на предприятиях лесопиления и деревообработки.

Сдерживающим фактором применения низколиквидного древесного сырья и древесных отходов для изготовления отделочных материалов являются их низкие декоративные и физико-механические свойства. Замена твердолиственных пород низколиквидным сырьем требует разработки новых научно обоснованных и экономически эффективных технологических решений, направленных на комплексное повышение свойств заготовок путем рационального подбора комплекса технологических операций.

В связи с этим цель исследования – определение оптимальных способов упрочнения и декорирования заготовок из древесины для комбинированной обработки. Задачи исследования:

– провести сравнительный анализ технологий декорирования заготовок из древесины, исследовать технологические параметры способов декорирования;

– исследовать параметры технологий упрочнения заготовок из низколиквидной древесины;

– обосновать необходимость введения в технологический процесс упрочняющей обработки.

Методы исследования. Исследование основано на использовании общенаучных логических и эмпирических методов. Для исследования процессов декорирования и упрочнения заготовок из древесины применяли метод сравнительного анализа. Аналитически полученные значения показателей декорирования и упрочнения проверяли экспериментально. Исследовали заготовки из древесины сосны и ели. В результате оценки показателей декорирования и измерения характеристик упрочнения образцов обосновывали необходимость объединения этапов декорирования и упрочнения.

Результаты исследования, их обсуждение. Художественная выразительность и эстетичность изделий из древесины во многом предопределяется декоративными свойствами исходного сырья [6]. Традиционно для характери-

стики декоративных свойств древесины используют словесные описания, в основе которых лежат определенные зрительные понятия и образы. Вместе с тем декоративность можно охарактеризовать, используя множество показателей, одними из которых являются цвет, блеск и текстура.

Цвет древесины определяют колориметрическими методами через измерение показателей цветового тона λ, чистоты Р и светлоты ρ.

Проведена оценка данных показателей цвета для древесины сосны, ели, дуба и ясеня, которые наиболее часто применяют для изготовления отделочных материалов [3]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Цветовые характеристики древесины

Порода древесины	Цветовой тон, λ, нм	Чистота, Р, %	Светлота, ρ, %	Характеристика древесины
Сосна: – ядро	581,1	51,6	49,0	Красновато-жёлтая, красновато-коричневая.
– заболонь	579,0	47,0	58,6	Красновато-белая
Ель	580,0	44,0	54,4	Белая, желтовато-белая
Дуб	581,5	53,1	29,9	Светлая, желтовато-коричневатая
Ясень	582,0	45,3	34,6	Светлый, желтовато-серый

Цветовой тон древесины большинства пород изменяется в достаточно узком диапазоне (λ = 575-585 нм) и соответствует желтому участку спектра. Отличие цвета ценных твердолиственных пород от хвойных заключается в различии значений чистоты и Р и светлоты ρ, что обусловлено наличием дубильных и красящих веществ.

Под блеском древесины понимают ее способность направленно отражать световой поток [6]. Поверхности даже тщательно обработанной древесины обычно принято характеризовать как матовые. Наибольший блеск изделий из древесины имеют отполированные поверхности после нанесения глянцевых защитно-декоративных покрытий. Экспериментально установлено, что рельефная поверхность заготовок из древесины после обжига и браширования обладает блеском, аналогичным блеску после нанесения глянцевых покрытий на рельефные поверхности заготовок.

Текстура древесины определяется породой и видом распила, в результате которого перерезаются различные анатомические элементы. В строении древесины хвойных пород принимает участие сравнительно небольшое число типов упорядоченно расположенных анатомических элементов, создающих однообразную текстуру. Текстура хвойных пород в основном зависит от разницы в окраске ранней и поздней древесины, а также ширины годичных слоев [6]. Эти особенности необходимо учитывать в процессе декорирования древесины хвойных пород.

Древесина лиственных пород характеризуется более сложным строением, обусловливающим красоту ее текстуры, в связи с этим не нуждается в дополнительном декорировании и облагораживании.

Кроме цвета, блеска и текстуры, к показателям декоративности согласно ГОСТ 4.210-79 [2] отнесена фактура (рельеф) поверхности.

Проведен анализ большинства известных технологий декорирования заготовок из древесины. Оценивали изменение цвета, блеска, текстуры и фактуры заготовок из древесины в процессе обработки. Результаты анализа представлены в табл. 2.

В результате анализа установлено, что большинство известных технологий декорирования направлены на улучшение либо какого-либо одного параметра (цвета, блеска, текстуры или фактуры), либо нескольких, но не более трех. Обжиг в сочетании с брашированием обеспечивает улучшение всех четырех рассмотренных показателей, что доказывает его высокую ценность среди технологий декорирования заготовок из древесины. Комбинация операций обжига и браширования применима только для обработки заготовок хвойных пород. Это позволяет в полной мере подчеркнуть их однообразную текстуру. Отличительной особенностью такой обработки является то, что образующийся «гребенчатый» рельеф на поверхности заготовки отличается повышенной хрупкостью. Детали, изготовленные таким способом, недопустимо использовать в условиях различного рода нагрузок, в связи с чем существует необходимость комбинирования данного способа декорирования с технологиями упрочнения заготовок из древесины.

Таблица 2

Сравнительный анализ технологий декорирования и параметров декорирования заготовок из древесины

Технология	Изменение параметра			
	цвета	блеска	текстуры	фактуры (рельефа)
Лакирование	=	+	=	=
Роспись	+	+/–	=	=
Резьба	=	–	=	+
Облицовывание шпоном, бумагой, пленками, пластиками	+	+/=	+	=
Фрезерование рельефа	=	=/–	=	+
Лазерное гравирование	=	=	=/–	+
Холодное тиснение	=	+/=	=	+
Горячее тиснение	+	+	=	+
Брашированиe	=	–	=	+
Обжиг с брашированием	+	+	+	+

Примечание: условно обозначены «+» – улучшение показателя, «–» – снижение показателя; «=» – показатель не изменился.

Для упрочнения заготовок из низколиквидной древесины применяют различные технологии модифицирования [3]. Проведен анализ технологий упрочнения заготовок из низколиквидной древесины, и исследовано изменение показателей плотности и твердости в результате обработки. Исходные значения плотности и твердости древесины ели и сосны представлены в табл. 3. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 3

Показатели плотности и твердости древесины

Порода древесины	Плотность, кг/м^3	Твердость, Н/мм^2
Ель	445	17,8
Сосна	500	23,2
Ясень	680	51,3
Дуб	690	47,5

Таблица 4

Показатели плотности и твердости древесины после упрочняющей обработки

Технология упрочнения	Плотность, кг/м^3		Твердость, Н/мм^2	
	Ель	Сосна	Ель	Сосна
Термомеханическое (механическое) модифицирование	до 750	до 835	22,4-26,3	28,1-34,8
Химико-механическое модифицирование	до 690	до 775	18,9-22,3	23,8-29,5
Термохимическое модифицирование	до 600	до 670	18,6-22,9	23,6-29,9
Химическое модифицирование	до 550	до 630	18,0-22,2	23,2-27,8

Установлено, что наиболее качественное изменение параметров упрочнения заготовок из низколиквидной древесины среди рассмотренных технологий обеспечивает термомеханическое модифицирование, или прессование. Данный способ обеспечивает повышение плотности до 80 % и твердости до 50 %. Вместе с тем применение его для изготовления отделочных материалов для внутренней отделки наиболее рационально, так как в процессе производства не используются химически вредные и опасные вещества. Различные виды химического модифицирования также повышают показатели упрочнения заготовок из древесины, но не могут обеспечить высокую экологичность и безопасность продукции для здоровья человека, в связи с чем их применение для изготовления отделочных материалов для внутренней отделки помещений ограничено.

Дополнительно данные технологии упрочнения заготовок из низколиквидной древесины исследованы на предмет обеспечения защитных свойств древесины от воздействия влаги.

Установлено, что термохимическое и химическое модифицирование заготовок из древесины обеспечивает необходимую степень защиты от влаги, снижая гигроскопичность и влагопоглощение на 30–50 %, разбухание при этом уменьшается в 2–3 раза. Древесина же после термомеханической и химико-механической обработки, так же как и необработанная древесина, подвержена разбуханию и нуждается в дополнительной защитно-декоративной обработке.

Часто для увеличения долговечности и влагостойкости древесины в сочетании с термомеханическим и химико-механическим модифицированием применяют термическую обработку заготовок при температуре 90–220 °С в течение 1–72 ч [5]. Термическая обработка обеспечивает снижение влагопоглощения в 2–3 раза, повышает устойчивость древесины к негативному воздействию грибков и различных микроорганизмов за счет разрушения питательной среды, обеспечивает стабильность формы и размеров деталей в условиях изменения температурно-влажностных колебаний. Таким образом, установлено, что оптимальным вариантом упрочняющей обработки заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов является совокупность

термомеханического (механического) модифицирования древесины с дополнительной термической обработкой.

Выводы. Сравнительный анализ технологий декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины показал, что способ декорирования заготовок, включающий обжиг и брашированиe, является наиболее рациональным для обработки заготовок хвойных пород, так как комплексно воздействует на показатели цвета, блеска, текстуры и фактуры древесины. Хрупкий «гребенчатый» рельеф, образующийся в результате декоративной обработки, требует упрочнения. Оптимальным вариантом упрочняющей обработки заготовок из древесины для изготовления отделочных материалов с точки зрения экологичности и повышения твердости является термомеханическое модифицирование в виде прессования в сочетании с термической обработкой. Благодаря полному объединению этапов декорирования и упрочнения (технологических операций обжига, брашированиe, прессования и термической обработки) обеспечивается возможность изготовления уникальных экологичных отделочных материалов из низколиквидной древесины.

Библиографический список

1. Бирман А. Р. Технология поточного производства облицовочных покрытий из древесины : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.05. Архангельск, 2003. 275 с.

2. ГОСТ 4.210-79 Система показателей качества продукции (СПКП). Строительство. Материалы керамические отделочные и облицовочные. Номенклатура показателей : принят 29.11.1979 ; действ. с 30.06.1980. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. URL: http://docs.cntd.ru/document/901702418 (дата обращения 14.01.2020).

3. Пять способов модифицирования древесины. URL: https://www.lesindustry.ru/issues/li_n97/Pyat_sposobov_modifitsirovaniya_drevesini_1291/ (дата обращения 27.10.2020).

4. Распоряжение Правительства РФ от 26 сентября 2013 г. № 1724-р Об основах государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70361820/ (дата обращения 14.01.2020).

5. Термодревесина. URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=391 (дата обращения 1.11.2020).

6. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учеб. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.

Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин

Н. В. Тимина [a], А. А. Горынцев [b], Г. А. Карандин [c]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
студент группы ЭиЭб-4805-07-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: timina@vyatsu.ru [a], stud098126@vyatsu.ru [b],
stud098261@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Рассмотрена возможность применения пакета MS Excel для решения инженерных задач при проектировании различных типов электрических машин в сравнении с другими программными продуктами, которые используются проектировщиками для выполнения электромагнитных расчетов. Кроме основных сведений о принципах работы в MS Excel, приводятся результаты работы над программным обеспечением при проектировании двух типов электрических машин: трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и двигателя постоянного тока независимого/параллельного возбуждения. Цель работы – создание программного обеспечения, которое позволяет сократить время выполнения электромагнитного расчёта двигателя. Результаты работы будут использованы в учебном процессе в курсовом проектировании электромеханических преобразователей энергии и при выполнении выпускных квалификационных работ. Основным достоинством использования MS Excel при проектировании электрических машин является наличие минимальных знаний и умений у пользователя, что обусловливает использование разработанных программ студентами младших курсов.

Ключевые слова: электрическая машина, электронная таблица, проектирование, электромагнитный расчёт.

Введение. Предметом исследования являются программные средства, применяемые для расчётов электрических машин. Выполнение электромагнитного расчета любой электрической машины – это выполнение большого количества вычислений. Кроме того, проверка правильности расчета производится в конце выполнения всех его этапов, в результате высока вероятность того, что придется вернуться к началу расчета, то есть изменить главные размеры, обмоточные данные или размеры магнитной системы для того, чтобы получить требуемые выходные показатели. В результате приходится повторять расчёты по нескольку раз. Особенно трудоёмким является расчет характеристик, который включает повторяющиеся вычисления для нескольких точек. Задачей данного исследования является поиск пути сокращения времени выполнения расчётов без значительных материальных затрат на приобретение дорогостоящих средств автоматизированного проектирования (САПР) и без какой-либо дополнительной подготовки пользователей, ведущих данные расчёты. Но при этом

должно быть обеспечено выполнение необходимого качества расчётов (заданная точность) и возможность проведения анализа изменения тех или иных параметров на конечный результат – выходные характеристики проектируемого двигателя.

Ведущий подход. Широкое использование средств автоматизированного проектирования (САПР) является неотъемлемой частью работы инженера-проектировщика. В настоящее время инженерные задачи становятся все более сложными и комплексными, затрагивая одновременно несколько разделов физики. К наиболее прогрессивным САПР, применяемым для расчёта различных типов электродвигателей, можно отнести ANSYS RMxprt, ANSYS Maxwell. Многоцелевой конечно-элементный пакет ANSYS является одним из самых серьезных и современных программных комплексов. Особенностью программы является файловая совместимость членов семейства ANSYS для всех используемых платформ. Многоцелевая направленность программы позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при нагреве, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитном поле.

Широкое распространение получила САПР под названием ANSYS RMxprt. Использование этой САПР очень ускоряет и делает более простым процессы создания и расчёта магнитных систем электрических машин. Применение ANSYS RMxprt очень действенно тогда, когда необходимо спроектировать машину стандартного типа, для которой существуют методики расчёта. Это средство дает инженеру возможность проанализировать большое множество вариантов электрических машин за короткое время и позволяет получить необходимые характеристики электрических машин с параметрическим вводом начальных данных.

Другой широко используемый модуль ANSYS Maxwell – современное и высокопроизводительное программное обеспечение (ПО) для моделирования различных электромагнитных полей. Оно используется для анализа моделей двигателей и многих других электрических и электромеханических устройств.

Также довольно популярным в последнее время стало ПО под названием ELCUT. Данная программа используется для проведения анализа и двумерного моделирования электрических машин методом конечных элементов. Программа ELCUT разработана российской компанией-разработчиком ООО «Тор», что является большим плюсом, так как программа полностью русифицирована, а также в сети Интернет имеется множество учебных пособий для её освоения. Минусом этой программы является то, что она рассчитывает только 2D-поля.

К недостаткам вышеперечисленного ПО можно отнести дороговизну самой программы и необходимость иметь определенные базовые навыки, необходимые для работы в конкретном пакете, а также сложность восприятия интерфейса программы. Кроме того, отдельные модули ПО работают на английском языке, что для русскоговорящего инженера, и тем более студента, может стать проблемой.

MS Excel, в свою очередь, лишен вышеуказанных недостатков. Конечно, по сравнению с ANSIS он является более примитивным, но с помощью MS Excel также можно производить множество инженерных расчётов различных типов двигателей. Стоит добавить, что MS Excel позволяет применять электронные таблицы, чтобы наглядно отобразить полученные результаты. Используя в работе MS Excel, можно выполнять достаточно сложные расчёты с использованием данных, расположенных в разных областях электронной таблицы, и связанных между собой какой-либо зависимостью. Для этого в MS Excel есть возможность вводить различные формулы в ячейки таблицы, тем самым образовывать связь между несколькими ячейками. Табличный процессор MS Excel вычисляет и отображает в ячейке с формулой конечный результат. При работе с электронной таблицей важной особенностью является автоматический перерасчёт результатов при изменении значений в ячейках. Использование в расчётах электронных таблиц упрощает работу с данными и позволяет автоматизировать получение результатов без проведения ручных расчётов. Это приводит к экономии времени, уменьшает вероятность возникновения дополнительной ошибки в любых вычислительных операциях.

В данной работе делается попытка производить электромагнитные расчёты двигателей с использованием табличного процессора MS Excel.

Основное преимущество программного обеспечения MS Excel – это наличие большого количества стандартных встроенных функций, которые позволяют быстро и легко совершать различные расчёты.

MS Excel представляет собой программу, имеющую вид таблицы, при помощи которой может осуществляться обработка данных. Также имеется возможность выполнять сложные математические операции и расчёты. Элементы интерфейса можно видеть сразу, запустив MS Excel. В верхней части окна располагается стандартная панель инструментов. Эту панель можно редактировать, добавляя или убирая определенные кнопки. Ниже находится строка формул. Эта строка отображает содержание выделенной ячейки. Также эту строку можно использовать для редактирования или ввода необходимой формулы или данных. Строки, расположенные ниже, показывают заголовки столбцов и строк. В самом низу окна находится строка состояния.

На одном листе 256 столбцов и 65 536 строк. Строки обозначены числами, а столбцы – латинскими буквами. Аргументы любой формулы – это ссылка на ячейку или целый диапазон. Эти ячейки могут находиться на разных листах книги. Ссылка на ячейку – это ее адрес, представленный числом и буквой строки и столбца соответственно. Также отдельным ячейкам и диапазону ячеек можно присваивать имена. Расчет формулы в MS Excel выполняется автоматически. После расчета результат выводится в ячейке. Сама формула отображается только в строке формул.

Главные достоинства этого метода расчёта заключаются в том, что MS Excel – лёгкая в освоении программа, поэтому не нужно обладать специальными навыками для выполнения электромагнитного расчёта. Также стоимость MS Excel, являющегося частью пакета программ MS Office, гораздо ниже, чем у специализированных программ, таких как ANSYS RMxprt, ANSYS Maxwell и ELCUT.

Результаты исследования. В настоящее время на кафедре электрических машин и аппаратов в рамках проектной деятельности и дипломного проектирования ведутся работы по созданию программы для выполнения электромагнитного

расчёта машины постоянного тока и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по методике И. П. Копылова [1, с. 340–456, с. 603–654] на базе MS Excel.

Данная методика предполагает выполнение цепочного расчёта по формулам, причем исходных данных достаточно немного и они вводятся вручную. Структура создаваемой программы достаточно проста. Расчёт разбит на этапы, каждый из которых приводится на отдельном листе. То есть каждый этап представляет отдельный рабочий лист с определённым количеством ячеек, в которые помещены исходные и расчётные данные. Данными являются числа, текст и формулы, которые используют данные других ячеек листа или другого листа рабочей книги. Программа предусматривает определенную вариативность, то есть в зависимости от желания проектировщика можно менять форму паза, тип обмотки, материалы и многие другие параметры. Этапы составлены с учётом отображения на экране для удобства просмотра содержимого таблицы.

Интерфейс программы с примерами выполнения этапов расчёта представлен на рис. 1–4. Программа содержит пояснения, информацию, откуда вводить данные. В каждом этапе расчета предусмотрена проверка правильности его выполнения по определенным величинам. Обучающий видит надписи, позволяющие оценить, можно ли ему двигаться дальше или необходимо скорректировать какие-то величины («Ложь», «Продолжайте» и т. д.). Программа расчёта асинхронного двигателя предполагает построение рабочих и пусковых характеристик при разных скольжениях. Программа расчёта двигателя постоянного тока предполагает построение характеристики холостого хода, переходной характеристики, а также рабочих характеристик при выбранном токе возбуждения.

Исходные данные (вводятся из задания)			
Условное обозначение	Данные	Единицы измерения	Описание
P2	30000	Вт	Номинальная мощность
U	220	В	Линейное напряжение
n1	1000	об/мин	Синхронная частота вращения
f	50	Гц	Номинальная частота сети
η	0,915	%	Номинальный КПД
cosϕ	0,84		Номинальный коэффициент мощности
Аналог	Аир200L6		Например АИР200L6, где 200 мм - высота оси вращения, L - длина машины, 6 - число полюсов
2p	6		Число полюсов (выбирается по аналогу)
H	0,2	м	Высота оси вращения (выбирается по аналогу)
m	3		Число фаз
IP	54		Исполнение
TI	2		Класс нагревостойкости (Введите 1, если класс B и 2, если класс F)

Рис. 1. Исходные данные программы по расчёту асинхронного двигателя

	A	B	C	D
1	**Исходные данные (из листа задания)**			
2	Параметр	Обозначение	Значения	Единицы измерения
3	Номинальная мощность	P_2	9,5	кВт
4	Номинальное напряжение	U	220	В
5	Номинальная частота вращения	n	2200	об/мин
6	Степень защиты	IP	44	
7	Тип возбуждения		независимое	
8	Класс изоляции		F	
9	Аналог		2ПБ180МУХЛ4	

Рис. 2. Исходные данные программы по расчёту двигателя постоянного тока

Выбор главных размеров			
Условное обозначение	Данные	Единицы измерения	Описание
H	0,2	м	Высота оси вращения
Da	0,350	м	Внешний диаметр статора (диапазон из табл. 9.8 с. 344, сам диаметр выбирается из стандартного ряда)
Стандартный ряд наружных диаметров			Da=0.081, 0.089, 0.1, 0.116, 0.131, 0.149, 0.168, 0.191, 0.225, 0.272, 0.313, 0.349, 0.392, 0.437, 0.52, 0.59 (м)
Kd	0,7		(Таблица 9.9 с. 344)
D	0,245	м	Внутрений диаметр статора
τ	0,128	м	Полюсное деление
P'	37861,046	В·А	Расчётная мощность
Ke	0,97		Отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению (рис. 9.20 с. 345)
A	33000	А/м	Линейная нагрузка (предварительно) (рис. 9.22 б с. 346)
Bδ	0,79	Тл	Индукция в воздушном зазоре (рис. 9.22 б с. 346)
	2		Количество слоёв обмотки (Однослойная - 1, двухслойная - 2)
Коб	0,91		Предварительное значение обмоточного коэффициента
Ω	104,72	рад/с	Синхронная угловая скорость вала
lδ	0,229	м	Расчётная длина воздушного зазора
λ	1,789		Отношение λ/τ (Значение должно находится в допустимых пределах, см. рис. 9.25 с. 348)

Рис. 3. Выбор главных размеров асинхронного двигателя

	A	B	C	D	E
1	**1. Выбор главных размеров**				
2	Параметр	Обозначение	Значения	Единицы измерения	Примечания
3	Высота оси вращения	h	0,18	м	выбирается по аналогу (например 2ПБ180МУХЛ4 h=0,180м)
4	Диаметр якоря	D	0,18	м	с.612 табл 11.11
5	Внутренний диаметр якоря	D_0	0,06	м	
6	Предварительное КПД	η	0,88	о.е.	с.605 рис. 11.7
7	Предварительная электромагнитная мощность	P'	10147,727	Вт	
8	Коэффициент полюсного перекрытия	α_δ	0,65		рис. 11.8
9	Предварительная линейная нагрузка	A	21000	А/м	рис. 11.9
10	Предвар-ная индукция в возд. Зазоре	B_δ	0,7	Тл	рис. 11.10
11	Расчетная длина воздушного зазора	l_δ	0,091	м	
12	Критерий правильности выбора главных размеров	λ	0,506		0,4-1,25
13	Продолжайте...				
14	Число полюсов	2p	4	с.607	2p=2 при D<100мм; 2p=4 при D=112…500мм
15	Полюсное деление	τ	0,141	м	
16	Расчетная длина полюсного наконечника	$b_\delta=b_P$	0,092	м	равна ширине наконечника

Рис. 4. Выбор главных размеров двигателя постоянного тока

Данное ПО будет апробировано в учебном процессе при курсовом проектировании и при выполнении выпускных квалификационных работ.

Выводы. Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании асинхронного двигателя и двигателя постоянного тока в учебном процессе предполагает получение следующего эффекта:

1) Автоматизация расчётов позволит обучающимся уделять больше времени теории изучаемых вопросов. Появляется больше свободного времени, а это, в свою очередь, даст возможность расширить и усложнить поставленные задачи, больше внимания уделить выполнению графической части курсового проекта.

2) Увеличится информативность расчётов и скорость их графического отображения.

3) Простота ввода формул позволит вести расчёт пользователю, имеющему минимальный опыт работы с программой MS Excel, то есть данное ПО может быть использовано при обучении студентов младших курсов.

4) Результаты проектирования электрических машин, полученные в результате использования MS Excel, можно считать приемлемыми для выполнения инженерных расчётов в курсовых проектах, так как они обеспечивают требуемую точность выходных характеристик.

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин : учеб. для бакалавров / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев / под ред. И. П. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2015. 767 с.

2. Применение электронных таблиц для расчетов механической характеристики асинхронного двигателя / Ю. С. Авраменко. URL: https://urok.1sept.ru/articles/623567.

3. Екшибаров В. Н. Выполнение инженерных расчётов в EXCEL // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 4. С. 127–129.

Проектирование системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino Uno для регистрации и передачи данных по беспроводной сети Bluetooth

А. А. Туливетрова [a], Н. В. Савельева [b], Л. Н. Васильева [c]
студент группы РЭА-31-19 [a, b]
кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматики и управления в технических системах [c]
Чувашский государственный университет, Чебоксары, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: irina1055@bk.ru [a], nad.saweljewa2016@yandex.ru [b], oln2404@mail.ru [c]

Аннотация. В статье приводится разработка и тестирование системы сигнализации «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino Uno с возможностью регистрации и беспроводной передачи данных на смартфон по Bluetooth-соединению. Проведено экспериментальное исследование радиуса действия Bluetooth-соединения с помощью мобильного устройства. Приведена сравнительная таблица стоимости комплектующих российских и китайских производителей, а также характеристики Bluetooth-модуля HC-05. Представлен программный код Arduino для передачи данных в приложение Serial Bluetooth Terminal. Получены результаты измерения датчиков: температуры DTH11, горючих и угарного газа MQ-9, движения HC-SR501 и уровня жидкости.

Цель данной работы заключается в анализе комплектующих и проектировании новой и универсальной системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino Uno.

Ключевые слова: охранная сигнализация, микроконтроллер, безопасный дом, Arduino, Bluetooth.

Введение. В настоящее время большую популярность приобрели охранные сигнализации для дома или садового участка, которые могут предупредить владельца о чрезвычайной ситуации и послать сообщение с датчиков на смартфон. Основная задача нашей работы заключается в анализе использования недорогих комплектующих и экспериментального определения радиуса действия сигнала при передаче данных по Bluetooth.

Принципы проектирования и программирования радиоэлектронных устройств на платформе Arduino, а также базовые принципы беспроводной передачи данных рассмотрены в работах [1] и [2].

Для решения задачи построения системы безопасности необходимо:

– подобрать датчики для охранной сигнализации и рассмотреть их характеристики;

– сравнить стоимость датчиков;

– провести экспериментальное исследование Bluetooth-соединения в помещениях различной конструкции.

Методы исследования

В своей работе мы использовали несколько методов исследования:

Поисковой метод – в Интернете и литературных источниках изучили информацию про датчики, их характеристики и работу.

Методы эмпирического уровня:

– **измерение –** проведено сравнение характеристик Bluetooth-модуля HC-05 и HC-06 для выбора наиболее подходящего для нашего проекта;

– **описание –** описана работа Bluetooth модуля HC-05;

– **эксперимент и сравнение –** на основе наблюдений и сравнительного анализа проведено экспериментальное исследование радиуса действия соединения по технологии Bluetooth в трех помещениях с различной толщиной стен: в стенах корпуса Чувашского государственного университета, в трехкомнатных квартирах панельного и кирпичного домов.

Для передачи данных на смартфон по Bluetooth-соединению нам потребуется: смартфон на платформе Android, микроконтроллер Arduino Uno, Bluetooth-модуль HC-05. Для отображения данных на смартфоне необходимо установить приложение Serial Bluetooth Terminal с PlayМаркет.

Преимущества микроконтроллера Arduino Uno в том, что данная компактная и недорогая платформа подходит для начинающих схемотехников и имеет 28 выводов для связи с внешним миром.

В проекте нами использовался Bluetooth-модуль HC-05, по которому организуется передача данных на смартфон, а также датчик уровня жидкости, датчик температуры DTH11, датчик горючих и угарного газа MQ-9 и датчик движения HC-SR501. С помощью сигнализации можно узнать о прорыве водопровода, снижении температуры в доме, утечке газа или проникновении посторонних людей в помещении.

Приведем сравнительный анализ стоимости комплектующих у различных производителей.

Таблица 1

Сравнительный анализ стоимости комплектующих

Прибор	Стоимость от российского производителя (https://amperka.ru/), руб.	Стоимость от китайского производителя (https://best.aliexpress.ru/), руб.
Микроконтроллер Arduino Uno	367	190
Макетная плата Breadboard	390	62.46
Bluetooth-модуль HC-05	890	245.90
Датчик температуры DTH11	310	76.51
Датчик горючих и угарного газа MQ-9	530	100.71
Датчик движения HC-SR501	840	66.36
Датчик уровня жидкости	104	46.76
Итого	3431	788.7

Как видно из табл. 1, систему «Безопасный дом» можно собрать из недорогих китайских компонентов, но при этом нет гарантии ее стабильной работы.

Технология Bluetooth используется для передачи данных между двумя устройствами, которые находятся на некотором расстоянии друг от друга. При этом необходимо учитывать проблемы с обеспечением безопасности информации [3, 4], большинство из которых решаются с помощью шифрования передаваемых данных, а также выполнения процедуры авторизации устройств.

Лучшим решением беспроводной передачи данных по Bluetooth является Bluetooth-модуль HC-05, характеристики которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики Bluetooth-модуля HC-05

Характеристика	Значение
Диапазон частот радиосвязи	2,4–2,48 ГГц
Мощность передачи	0,25–2,5 мВт
Чувствительность	–80 dBм
Напряжение питания	3,3–5 В
Потребляемый ток	50 мА
Режимы	master, slave
Температура хранения	–40…85 °C
Рабочий диапазон температур	–25…75 °C
Габариты	27×13×2,2 мм
Радиус действия	до 10 метров

На рис. 1 представлен фрагмент программного кода передачи данных на смартфон по Bluetooth-соединению, написанный в среде Arduino IDE:

```
mySerial.println(tem + stringT);        // отправляем значение температуры
mySerial.println(mtn + stringP);        // отправляем наличие движения в доме
mySerial.println(wtr + stringW);        // отправляем данные с датчиков воды
mySerial.println(sensorValue + stringH);    // отправляем данные с датчика газа
```

Рис.4. Фрагмент программного кода передачи данных

Каждые 5 минут данные с датчиков обновляются и отображаются в терминальной строке приложения Serial Bluetooth Terminal (рис. 2).

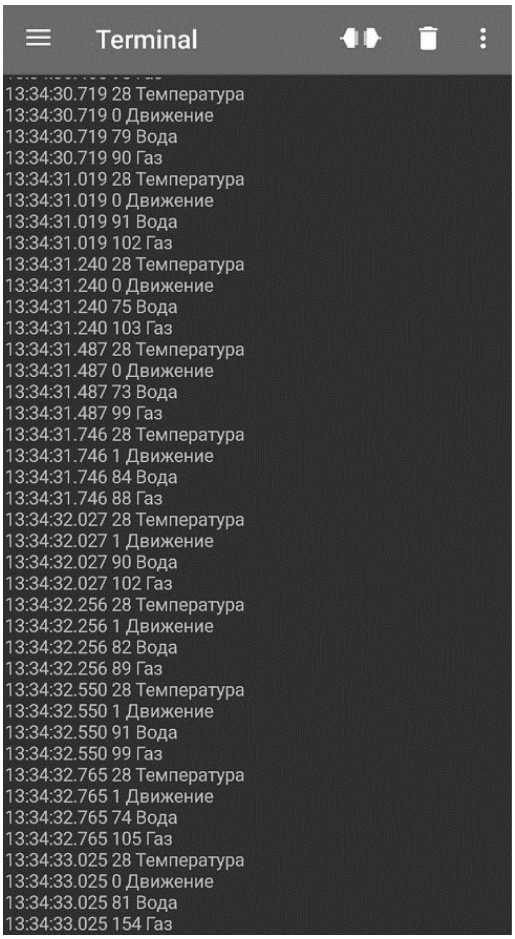


Рис. 5. Вывод данных в терминальную строку

Если устройство теряет сигнал и информация перестает поступать, то в охранной системе предусмотрена звуковая сирена.

Результаты исследований, их обсуждение. Экспериментальное исследование разработанной системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера

Arduino Uno для регистрации и передачи данных по беспроводной сети Bluetooth дало следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Результат исследования

Место проведения эксперимента	Результат исследования
Чувашский государственный университет, корпус В, здание панельной конструкции	На прямом участке коридора сигнал передается на расстояние до 29 метров. Между этажами сигнал не поступает, связь обрывается
Трехкомнатная квартира в доме панельной конструкции	При закрытых дверях сигнал передается с отличной скоростью в квартире площадью 70 кв. м, без перебоев
Четырехкомнатная квартира в доме кирпичной конструкции	При закрытых дверях сигнал передается с отличной скоростью в квартире площадью 85 кв. м, без перебоев. Между этажами связь не обрывается

Выводы. Систему сигнализации «Безопасный дом» с использованием Bluetooth-модуля можно использовать в квартире, так как обеспечивается стабильная связь и устойчивый сигнал. Для передачи данных подойдет любой смартфон или планшет на базе ОС Android.

Библиографический список

1. Григорьев А. Т., Васильева Л. Н. Универсальное устройство беспроводного управления бытовыми приборами на платформе Arduino // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов : сб. ст. : в 2 ч. Чебоксары, 2020. С. 28–31.

2. Туливетрова А. А., Савельева Н. В., Васильева Л. Н. Модель руки робота-манипулятора // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов : сб. ст. : в 2 ч. Чебоксары, 2020. С. 142–147.

3. Чумаров С. Г., Сидоров Г. В. Проблемы информационной безопасности IP-телефонии // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак : АМИ, 2017. С. 177–180.

4. Чумаров С. Г., Павлова К. В. Проектирование защищенной корпоративной сети связи конструкторского бюро // Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надёжности, устойчивости и эффективности систем : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2020. С. 186–189.

Искусственный интеллект в проектировке зданий и управлении ими

Ж. Э. Уморина [a], Е. Е. Дютина [b]
старший преподаватель кафедры основ архитектурного проектирования,
младший научный сотрудник научно-исследовательской части УрГАХУ [a]
студент группы А-107 [b]
Уральский государственный архитектурно-художественный университет,
Екатеринбург, Российская Федерация [a, b]
E-mail: umorina87@yandex.ru [a], dyutina01@mail.ru [b]

Аннотация. В современном мире всё большую популярность приобретает такое явление, как искусственный интеллект, который на данный момент участвует практически по всех сферах жизни человека, и строительство и проектировка зданий не стали исключением. Основное содержание исследования составляет анализ основных аспектов влияния ИИ на развитие архитектуры, проектирования и управления жилыми объектами. Дискуссионным продолжает оставаться вопрос о пользе и вреде использования этого явления в данной сфере.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), архитектура и проектировка объектов, влияние на сферу.

Введение. В наше время технологии не стоят на месте, и вследствие этого появилось такое явление, как искусственный интеллект, определение которого впервые дал американский информатик Джон Маккарти. С тех пор развитие ИИ перешло на совершенно другой уровень, и общество начало задумываться о его введении в различные сферы жизнедеятельности человека.

Искусственный интеллект (ИИ; англ. *artificial intelligence, AI*) – свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека [1].

ИИ связан со сходной задачей использования компьютеров для понимания человеческого интеллекта, но не обязательно ограничивается биологически правдоподобными методами [1].

Основной функцией и свойством ИИ является выполнение функций, которые способен выполнить только человек, т. е. какое-либо творческое решение или накапливание опыта и его последующее использование в решении каких-либо задач. Это является главным отличием ИИ от обычных компьютерных систем: он, как человеческий мозг, способен не только запоминать имеющуюся информацию и исполнять функции по шаблону, заложенному человеком, но и анализировать, делать выводы и создавать что-то новое (но в опреде-

лённых рамках), при этом не испытывая усталости или перегрузки, в отличие от человеческого сознания.

С момента начала развития ИИ его введение в область строительства и проектирования стало лишь вопросом времени.

Основная часть. Проектирование – это чрезвычайно сложный и трудоёмкий процесс, требующий не только знания основных аспектов и правил в строительстве, архитектуре и безопасности, но и творческого решения, отвечающего восприятию человека. Если бы все здания в мире были однотипны и отвечали лишь функциональности, то это имело бы огромное влияние на психику и сознание человека, и не в самую лучшую сторону.

На данный момент ИИ всё больше внедряется в эту сферу, значительно упрощая решение множества задач. Например, просчитывает риски, планирует бюджет и сроки производства, мониторинг и обслуживание строительного объекта. На данный момент уже есть реальные примеры, когда ИИ следил за процессом возведения строительного объекта, сообщая компании застройщика о случаях нарушения правил безопасности строительным персоналом. Данную функцию смогли реализовать, показав перед этим компьютеру случаи безопасного и опасного поведения на стройке. ИИ запомнил информацию, проанализировал ее и смог вычислять новые нарушения исходя из полученного опыта, попутно накапливая новый. Дальнейшее развитие в ИИ этой функции поможет также исключить и случаи воровства на строительных объектах.

Основными функциями ИИ в проектировании и планировании строительных объектов на данный момент является предоставление наиболее оптимальных вариантов планировки и застройки, от человека требуется лишь ввести основные функции, которому должно отвечать сооружение, и его параметры, всё остальное рассчитает ИИ.

Но главной проблемой является то, что на данный момент ИИ способен лишь использовать полученный ранее опыт и не в силах предложить то, что не показал ему человек. Да, планировка и архитектура будет отличаться от имею-

щихся у него в реестре, но не критично, так как отсутствие воображения, имеющегося у человека, не позволит ему зайти за собственные рамки и воспроизвести что-то, кардинально отличающееся от увиденного им ранее. Всё предложенное будет однотипным. Данную проблему индивидуальности проектируемых объектов способен решить пока что только человек, а ИИ – запомнить и проанализировать её.

Эта же проблема чётко прослеживается в вопросе архитектуры проектируемых объектов. Архитектура – это сложная глубоко индивидуальная сфера, требующая воображения и творческого восприятия, а ИИ опять же данной чертой не обладает и способен предложить архитектурное решение только исходя из того, что он уже видел, в то время как человек-архитектор может воспроизвести что-то совершенно новое и ни на что не похожее, отображающее его индивидуальность. Именно поэтому на данный момент то, что придумал и воспроизвёл человек, ценится гораздо выше, чем то, что спроектировал ИИ. Одним лишь минусом в человеческом мышлении является так называемый «человеческий фактор», из-за которого могут допускаться ошибки и не учитываться важные аспекты и задачи, в то время как ИИ использует свою базу данных на постоянной основе и не допускает каких-либо недочётов.

Возвращаясь к проблеме индивидуальности работ ИИ в архитектурной среде, можно предложить пока что только компромиссное решение, а именно продолжать развивать ИИ до того момента, когда он сможет предлагать независимые и новые решения, не опираясь на свою базу данных, а люди и дальше должны развиваться в сферах проектирования и строительства, не опираясь на один лишь ИИ. В противном случае вся дальнейшая застройка местности не будет отличаться от того, что уже есть сегодня ни через 100, ни через 1000 лет.

Ещё одна важная сфера, в которой на данный момент искусственный интеллект незаменим, – это градостроительство.

Градостроительство – это сфера проектирования и застройки городской местности, которая учитывает демографические, технические, социальные и другие немаловажные проблемы человека. ИИ способен проанализировать дан-

ные, полученные о прошлом определённого города, оценить проектировочные и архитектурные тенденции на данный момент, учесть все потребности и задачи, которым должна отвечать городская местность, и предложить несколько вариантов дальнейшей застройки местности, в которых будут учитываться все функции, требующиеся от неё. Но опять же градостроительство также продолжает развиваться, и в ней не стоит опираться только на ИИ.

Однако есть и такие задачи, с решением которых ИИ справляется лучше, чем человек, например управление архитектурными объектами и зданиями. В этой сфере не требуется ничего нового и индивидуального, компьютеру требуется лишь заложить правило. Например, когда человек в здании, нужно включить свет и кондиционер, выключить духовку, если в помещении никого нет, покормить собаку в указанное время или сообщить в полицию о попытке взлома или проникновения в здание. ИИ может проанализировать поведение человека, установить, что с ним что-то не так, и позвонить в «скорую», вычислить по базе данных знакомых и друзей семьи, а о появлении незнакомцев сообщать отдельно. Он также способен дать анализ тому, что более предпочтительно определённому человеку исходя из его привычек и поведения, и создать комфортную среду в здании персонально для него.

Также стоит отметить, что на обслуживание ИИ затрачивается гораздо меньше средств, чем на содержание персонала, который будет выполнять те же функции и с гораздо большими огрехами.

Выводы. На данный момент любая серьёзная проектно-архитектурная деятельность не может обойтись без искусственного интеллекта, так как он не допускает множества ошибок, совершаемых людьми, делает гораздо более точные расчёты и на его содержание тратится меньше средств, чем на множество сотрудников, которые будут делать эту работу гораздо дольше и не всегда идеально. Но так же существует аспект, не подвластный ИИ, а именно творческий подход к решению вопроса, что в архитектурно-проектной среде является основным критерием. Однако в этом есть и плюс: ведь если данную сферу полностью заполнит собой ИИ, то человек не будет видеть смысла в развитии соб-

ственной индивидуальности, воображении, творчестве и в их реализации. Тем не менее развитие искусственного интеллекта продолжается, и, возможно, в будущем он превзойдёт человеческое сознание и научится воспроизводить небывалые проекты и архитектуру.

Библиографический список

1. Джон Маккарти, What is Artificial Intelligence?, 2007.
2. Kaplan A., Haenlein M. Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence. Business Horizons, 2019.
3. Ильясов Ф. Н. Разум искусственный и естественный // Известия АН Туркменской ССР, серия общественных наук. 1986.

Влияние концентрации пластификатора на тангенс угла механических потерь в эластомерах на основе бутилкаучука

А. А. Фокин
аспирант кафедры строительных конструкций и машин
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация
E-mail: aleksandr_fokin93@mail.ru

Аннотация. В настоящее время эластомеры широко применяются во многих отраслях человеческой деятельности. Строительное производство не обходится без использования герметизирующих, шумопоглощающих, вибропоглощающих материалов. Данная статья направлена на изучение влияния концентрации индустриального масла И-40 на вязкоупругие характеристики эластомеров на основе бутилкаучука. В работе приведён анализ и сделаны выводы на основе экспериментальных данных, отражающих зависимость количества пластификатора и изменения вязкоупругих свойств эластомера. Отмечено, что при увеличении массовой доли пластификатора в эластомере растет тангенс угла механических потерь.

Ключевые слова: бутилкаучук, пластификатор, тангенс угла механических потерь, концентрация.

Введение. В настоящее время эластомеры широко применяются во многих отраслях человеческой деятельности. Строительное производство не обходится без использования герметизирующих, шумопоглощающих, вибропоглощающих материалов. К качеству строительных материалов каждый год повышаются требования как по эксплуатационным свойствам, так и по уникальным характеристикам, обеспечение которых возможно путем подбора сырьевых материалов и технологических параметров производства, а также использования новых методик переработки и производства. Большая часть этих изделия изготавливается из полимерных композитов.

Придать новые характеристики материалу возможно за счет введения в его состав модифицирующих добавок.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) представляют собой полимерные связующие, в которые для модификации их свойств вводят различные добавки, которые улучшают их свойства. Одной из добавок, изменяющей свойства полимерного связующего, является пластификатор [1].

Бутилкаучук обладает отличной газо-, паронепроницаемостью, высокой кислото-, щелочестойкостью, поэтому подходит как основа для ПКМ.

Индустриальное масло является подходящим пластификатором для неполярных каучуков [2].

Важно, чтобы полимер сочетался с пластификатором. Различная концентрация пластификатора изменяет характеристики материала в широком диапазоне. Пластификаторы повышают подвижность, гибкость цепей полимера благодаря снижению силы сцепления между ними [3].

Цель исследования – изучение влияния концентрации индустриального масла И-40 (пластификатора) на вязкоупругие свойства эластомера на основе бутил каучука.

Методы исследования. Материалы. В качестве основы для ПКМ использованы: бутилкаучук БК-1675Н; хлорбутилкаучук, используется в небольшом количестве для увеличения числа связей при вулканизации, ХБК-139. Пластификатором является индустриальное масло И-40. В качестве основного вулканизирующего агента использована алкилфенолформальдегидная смола SP-1045. Наполнителями являются: мел технический марки КМ-1; технический углерод (ТУ) марки П-803. В составе присутствует вспенивающий агент – Expancel 950 DU 80. Составы и марки изученных композитов приведены в таблице.

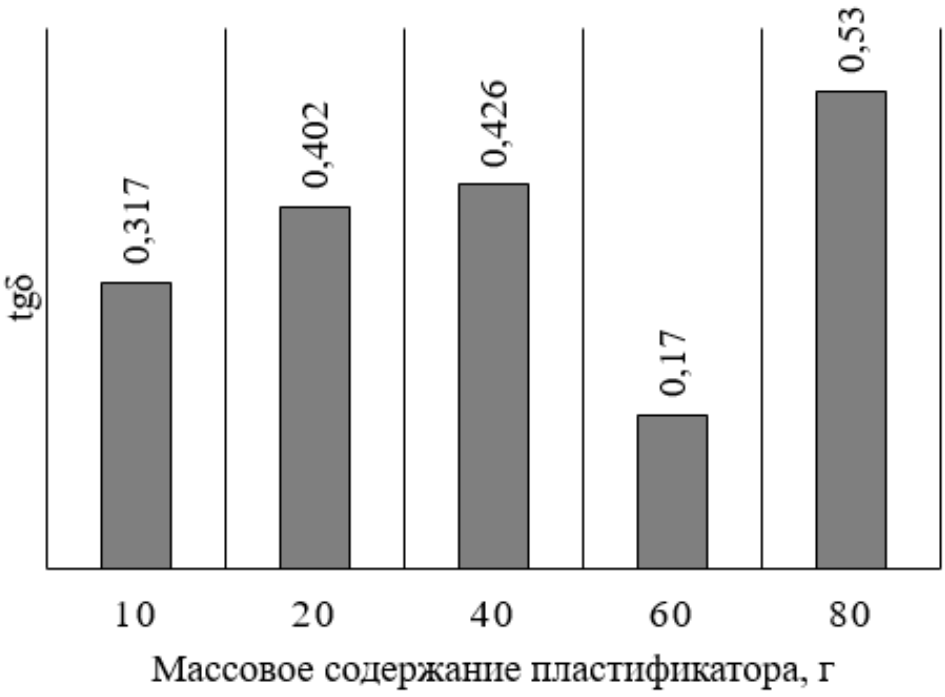
Составы и марки изученных композитов

	Массовая доля, г						
	БК-1675Н	ХБК-139	И-40	SP-1045	Мел	ТУ П-803	DU 80
Б14И1Ф3М14Т3Д1	130	10	10	30	140	30	10
Б14И2Ф3М14Т3Д1			20				
Б14И4Ф3М14Т3Д1			40				
Б14И6Ф3М14Т3Д1			60				
Б14И8Ф3М14Т3Д1			80				

Полимерные смеси изготавливали с помощью лабораторного смесителя периодического действия с тангенциальными роторами. Полимер смешивали с некоторой частью пластификатора, затем поэтапно вводили наполнитель и пластификатор совместно со смолой. По окончании смешивания вышеперечисленных компонентов водился вспенивающий агент. Каждый замес производили в течение 30 минут. Затем его прокатывали на машине прокатного стана до однородной толщины материала и отправляли в печь для вулканизации в течение 1 часа при 190 °С.

Значение тангенса угла механических потерь оценивалось по петле гистерезиса при периодических 100 %-ных деформациях сдвига материала между стальными пластинами.

Результаты исследований, их обсуждение. Пластификатор влияет на вязкоупругие свойства в ПКМ. При анализе результатов испытаний следует выявить, что с увеличением количества пластификатора численно растет тангенс угла механических потерь, кроме одного случая. У образца с маркой Б14И6Ф3М14Т3Д1 очень низкий показатель тангенса угла механических потерь (см. рисунок). Данный случай требует более детального анализа. На данном этапе нет возможности объяснить данную аномалию. При игнорировании данного результата можно с легкостью описать закон влияния количества пластификатора на вязкоупругие свойства ПКМ.



Изменение тангенса угла механических потерь в зависимости от массового содержания пластификатора в полимерной смеси, г

Выводы. Данная работа была проведена для исследования влияния количества пластификатора на вязкоупругие свойства эластомеров на основе бутилкаучука. В ходе работы экспериментальным путем установлена зависимость изменения вязкоупругих свойств эластомеров от концентрации наполнителя.

Установлено, что с увеличением количества пластификатора увеличивается тангенс угла механических потерь (за исключением смеси БМ4М50).

Библиографический список

1. Колосова А. С., Сокольская М. К., Виткалова И. А. и др. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10-2. С. 290–295.

2. Муртазина Л. И., Гарифуллин А. Г., Никульцев И. А. и др. Регулирование свойств неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука пластификаторами // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Вып. 9. С. 119–122.

3. Чжао Ванг Юэ Хан, Син Чжан Чжаохуэй Хуан, Чжан Лицюнь. Пластифицирующий эффект Трансгенного соевого масла. I. на этилен пропилен Диенового Мономера (ЭПДМ) как заменитель парафинового масла // Прикладной полимер СК. 2013. С. 4457–4463.

Модель OFDM-системы для компенсации эффекта замираний в канале связи

С. Г. Чумаров [a], В. К. Чернов [b]
кандидат технических наук, доцент [a]
студент группы РМГ-01-19/1101 [b]
Чувашский государственный университет, Чебоксары, Российская Федерация [a, b]
E-mail: chumarov@mail.ru [a], vovarogue@mail.ru [b]

Аннотация. В данной статье рассматривается компенсация замираний в беспроводном канале связи OFDM-системы, вызванных многолучевым распространением. Цель работы: рассмотреть методы уменьшения влияния эффекта замираний, а также оценить величину аддитивного шума на исходный сигнал, формируемый по стандарту связи 802.11n. Основным методом исследования является построение модели OFDM-системы посредством программного обеспеченияMatlab. Для уменьшения влияния эффекта замираний в модели используется эквалайзер с нулевым форсированием. В качестве изменяемых параметров для модели используются: отношения сигнал/шум, длина циклического префикса, а также способ модуляции (QAM-16,64). Параметр, определяющий качество принятой информации, – величина битовой ошибки (BER). Результат моделирования показывает высокую эффективность применения эквалайзера для компенсации ошибок в беспроводных системах связи.

Ключевые слова: OFDM, многолучевое распространение, замирания, эквалайзер с нулевым форсированием, QAM.

Введение. В беспроводных системах связи канал между передатчиком и приемником искажает передаваемую информацию. Канал может быть частотно-избирательным из-за многолучевого распространения или избирательным во временной области вследствие движения элементов в системе связи. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM) очень устойчиво к эффекту многолучевого распространения и позволяет восстановить переданные данные с низкой вероятностью появления ошибки, особенно в случае использования канального помехоустойчивого кодирования. Все современные системы связи (WiFi, WiMax, LTE, 5G, и др.) используют OFDM, который является стандартом для данных систем, ввиду экономного расходования спектра, высокой пропускной способности в сочетании с MIMO [1–3], повышенной помехозащищенности и других факторов. OFDM-система также может применяться и при проектировании систем на основе программно-определяемого радио [4].

Методы исследования. Объектами исследований являются OFDM-система, а также канал с плоскими замираниями. Основная цель данной работы состоит в определении методов построения OFDM-системы с наименьшим BER.

Для оценки компенсации ошибок в канале связи использовалась модель, построенная в среде Matlab. Для анализа величины ошибки использовался графический метод, основанный на построении графиков зависимостей величины битовой ошибки от отношения сигнал/шум в канале связи для различного рода модуляции и длины циклического префикса.

Результаты исследований, их обсуждение. В современных цифровых системах связи для построения OFDM применяется обратное быстрое преобразование Фурье. Процесс демодуляции применяет, соответственно, прямое быстрое преобразование Фурье [5, 6]. Выражение для OFDM-модулятора можно записать в виде:

$$x_n(kT_s) = \frac{1}{\sqrt{K}} \sum_{n \in Z} \sum_{m=0}^{K-1} C_{m,n}\, e^{j2\pi m F_s \tau_s} = \frac{1}{\sqrt{K}} \sum_{n \in Z} \sum_{m=0}^{K-1} C_{m,n}\, e^{j2\pi m \frac{k}{K}},$$

где $k = 0,1,\dots,K-1, C_{m,n}$ есть исходные последовательные символы после блока BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 и т. д.

Для демодуляции используется БПФ:

$$y_n = \frac{1}{\sqrt{K}} \sum_{n \in Z} \sum_{m=0}^{K-1} x_{m,n}\, e^{-j2\pi m \frac{k}{K}},$$

где y_n – сигнал, прошедший через канал с замиранием.

Замирания – это изменение амплитуды, фазы принимаемого сигнала вследствие его многолучевого распространения или доплеровских сдвигов частоты [7]. При распространении радиоволн в каналах передачи возможны два случая [8]:

– сильный прямой сигнал распространяется совместно с его слабыми копиями. В таком случае выполняется условие прямой видимости между приемником и передатчиком. Это обычно характерно для открытой местности с хорошей видимостью передатчика (базовой станцией). Такой эффект может возникать и посредством отражений волны от гладкой поверхности препятствия. Данный канал моделируется на основе распределения Райса;

– сильный прямой сигнал практически отсутствует, и принимаются его слабые копии. Здесь выполняется условие отсутствия прямой видимости, что

характерно для крупных городов. Модель канала связи основана на распределении Релея и более близка к реальным каналам [9].

Распределение Релея от случайно величины X имеет вид:

$$P(X \le x) = \int_0^x f(\xi)\, d\xi = 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \qquad f(x,\sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где $x \ge 0, \sigma > 0$, а $f(x,\sigma)$ есть плотность вероятности.

Символ в цифровых системах связи имеет квадратурную и синфазную составляющую и при передаче через канал помеха одновременно влияет на обе части:

$$Z = X + jY,$$

где $X \sim \mathcal{N}(0,\sigma^2)$ и $Y \sim \mathcal{N}(0,\sigma^2)$ – нормально распределенные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением σ^2. Для модели с нормированной средней мощностью величина σ^2 будет равна единице, и при условии, что искажения независимо влияют и на квадратурную и на синфазную составляющие, можно представить символ на приеме как

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

где $X \sim \mathcal{N}(0,1), Y \sim \mathcal{N}(0,1)$, а Z представляет собой принятый символ, прошедший через канал Релея.

В качестве исходных параметров для исследования эффекта замираний на принятый сигнал используется стандарт 802.11n, описывающий передачу данных в сети Wi-Fi частоты 2.4 ГГц. Модель канала связи подразумевает наличие аддитивного белого гауссовского шума и мультипликативной помехи. Дискретная импульсная характеристика канала связи представлена на рис. 1. При прохождении OFDM-сигнала через канал с импульсной характеристикой h_nсигнал на входе приемника можно записать как

$$y_n = x_n h_n + w_n,$$

где w_n – дискретный аддитивный белый гаусовский шум. Применяя дискретное преобразование Фурье к y_n, получаем уравнение вида

$$F(y_n) = F(x_n h_n + w_n);$$

$$Y_n = X_n H_n + W_n.$$

Зная частотный отклик системы H_n и принятый сигнал Y_n, прошедший через канал, можно восстановить модулированные ранее символы $C_{m,n}$ посредством простого деления:

$$C_{m,n} = \frac{Y_n}{H_n}.$$

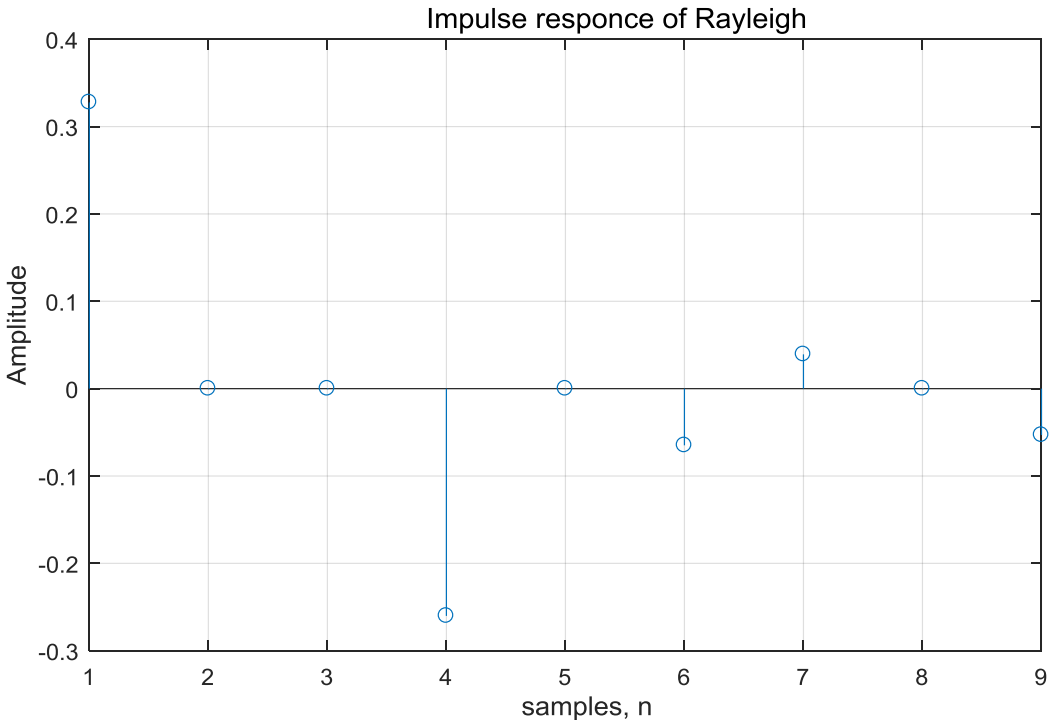


Рис. 1. Импульсная характеристика канала связи

Данный метод применяется в эквалайзере с нулевым форсированием – zeroforcingequalizer. Графики модели канала с релеевским замиранием, с фиксированной длиной циклического префикса и наличием алгоритма компенсации канала связи при изменении отношения сигнал/шум показаны на рис. 2а. В качестве входного сигнала используется случайная последовательность {0;1}, которая, пройдя через блок QAM-64, подается на OFDM-модулятор и далее проходит через канал связи с отношением сигнал/шум 45 дБ. На приеме сигнальное созвездие слабо искажено, BER равна 0,0031. На графике рис. 2б представлена зависимость величины битовой ошибки от отношения сигнал/шум для различного рода QAM-модуляций и длины циклического префикса.

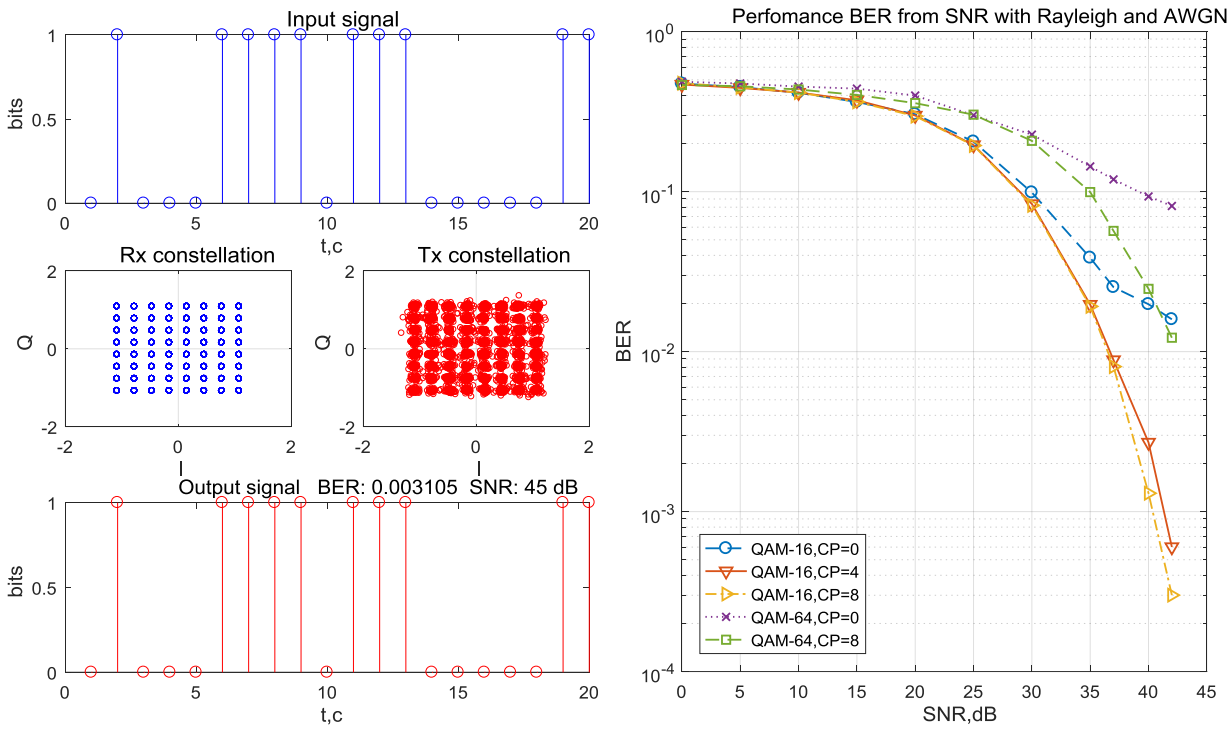


Рис. 2: а) модель с эквалайзером и с защитным интервалом ¼ от длины символа для QAM-16 и 64; б) зависимость величины битовой ошибки от отношения сигнал/шум для различного рода QAM-модуляции и длины циклического префикса

Количество ошибок при QAM-16 и длине циклического префикса, равной ¼ от длины исходного OFDM-символа, соответственно, меньше всего. Связано это, во-первых, с менее плотным расположением точек в сигнальном созвездии и, во-вторых, с длиной циклического префикса, которая полностью нивелирует эффект многолучевого распространения в канале.

Выводы. В статье приведено исследование для различного рода модуляций и длин циклического префиксаOFDM-системы, а также проведен сравнительный анализ эффективности приёма в виде оценки величины битовой ошибки. Замирания, а именно многолучевое распространение сигнала в OFDM-системе, негативно влияет на исходную информацию. Одним из способов компенсации данного вида искажений является применение эквалайзера с нулевым форсированием. Данный способ компенсаций эффективен и не требует сложной реализации.

Библиографический список

1. Магнитский В. А., Чумаров С. Г. Реализация технологии MIMO в сетях нового поколения 5G // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 226–231.

2. Чумаров С. Г. Пропускная способность волоконно-оптических информационно-измерительных систем // САПР и моделирование в современной электронике : сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Брянск : БГТУ, 2018. Ч.1. С. 201–202.

3. Фарфоровский Д. Б., Чумаров С. Г. Пропускная способность оптоволоконных линий связи // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 83–87.

4. Чумаров С. Г., Милкин Ю. С. Особенности реализации и применения программно-определяемых радиосистем // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем : материалы 13-й Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 442–443.

5. Schulzeand H., LuderC. Theory and applications of OFDM and CDMA. Wideband Wireless Communications. United Kingdom : John Wiley & Sons Ltd, 2005. 421 p.

6. Van Nee R., Prasad R. OFDM for Wireless Multimedia Communications. Boston : Artech House, 2000. 279 p.

7. Savaux V. Contribution to multipath channel estimation in an OFDM modulation context. Dokt. Thesis. France. Autre. Supelec, 2013. P. 198.

8. Технология OFDM : учеб. пособие для вузов / М. Г. Бакулин, В. Б. Крейнделин, А. М. Шлома, А. П. Шумов. М. : Горячая линия – Телеком, 2017. 352 с.

9. Pätzold M., Wang C.-X., Hogstad B. O. Two New Sum-of-Sinusoids-Based Methods for the Efficient Generation of Multiple Uncorrelated Rayleigh Fading Waveforms. IEEE Trans. On Commun. 2009. Vol. 8. № 6. P. 3122–3131.

Моделирование процесса плавного пуска частотно-управляемого асинхронного двигателя с учетом влияния реальных факторов

А. В. Шестаков [a], А. А. Власов [b]
кандидат техн. наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
студент группы ЭиЭб-4805-07-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: shestakov@vyatsu.ru [a], stud098297@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Частотно-управляемые асинхронные двигатели (ЧУАД), работающие от широтно-импульсных (ШИМ) инверторов, нашли широкое применение в самых различных электроприводах, в том числе с плавным пуском. Благодаря алгоритмам плавного пуска появляется возможность ограничить пусковые токи без уменьшения электромагнитного момента. Поэтому актуальной становится задача формирования алгоритмов изменения напряжения и частоты ШИМ-инверторов, позволяющих получить любой необходимый закон управления частотой вращения во времени. При решении поставленной задачи на стадии предварительного проектирования необходимо исследовать «поведение» ЧУАД в переходном процессе плавного пуска без проведения натурных экспериментов, для чего важно иметь модель ЧУАД, которая учитывала бы большинство реальных факторов (вытеснение тока в стержнях ротора, насыщение различных участков магнитной системы, угол магнитного запаздывания). В предлагаемой статье представлена программная реализация названной модели и алгоритма плавного пуска ЧУАД, питаемого от управляемого ШИМ-инвертора. Результаты моделирования подтвердили работоспособность математической модели ЧУАД с учетом реальных факторов и алгоритма пуска ЧУАД с ограничением пускового тока. Разработанный алгоритм и программное обеспечение предполагается использовать при проектировании систем оптимального управления ЧУАД.

Ключевые слова: частотно-управляемый асинхронный двигатель, плавный пуск, моделирование переходных процессов, насыщение магнитной системы, угол магнитного запаздывания, вытеснение тока в стержнях ротора.

Введение. Устройства плавного пуска частотно-управляемых асинхронных двигателей (ЧУАД) на основе широтно-импульсных (ШИМ) инверторов напряжения получают в настоящее время все большее распространение благодаря широкому диапазону изменения действующего значения и частоты напряжения, а также постепенному снижению стоимости силовых транзисторов [1, 2]. Поэтому задача формирования алгоритмов оптимального управления ЧУАД становится все более актуальной. При этом на стадии предварительного проектирования алгоритмов управления возникает необходимость создания математических моделей ЧУАД [3, 4], которые должны учитывать реальные факторы, действующие в асинхронных машинах: насыщение магнитной системы на ее различных участках, вытеснение тока в стержнях ротора, угол магнитного запаздывания, вызванный потерями в стали магнитопровода. Эти модели поз-

воляют без проведения натурных экспериментов исследовать «поведение» ЧУАД в управляемых электроприводах и оценивать эффективность разрабатываемых алгоритмов управления.

Цель и задачи исследований. Целью настоящей статьи является разработка математической модели и алгоритма плавного пуска ЧУАД с учетом реальных факторов и оценка работоспособности модели и алгоритма. Для выполнения поставленной цели необходимо уточнить модель ЧУАД на основе дифференциальных уравнений в ортогональных неподвижных осях координат, а также сформировать алгоритм плавного пуска ЧУАД с заданным временем разгона, реализовать названные модель и алгоритм программным способом и сопоставить результаты моделирования с ранее полученными итогами моделирования ЧУАД.

Методы исследования. Математическая модель асинхронного двигателя с учетом влияния насыщения магнитной системы по путям основного магнитного потока, потоков рассеяния, вытеснения тока в обмотке ротора и угла магнитного запаздывания ранее была представлена одним из авторов в [5, 6]. Данная модель основана на дифференциальных уравнениях асинхронной машины в прямоугольных неподвижных осях координат α, β [5]:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = u_{\alpha s} - R_s \cdot \left(b_{11} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{12} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{13} \cdot \psi_{\beta s} + b_{14} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\ \dfrac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -R_{r\xi} \cdot \left(b_{21} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{22} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{23} \cdot \psi_{\beta s} + \left(b_{24} + \dfrac{\omega_r}{R_{r\xi}} \right) \cdot \psi_{\beta r} \right); \\ \dfrac{d\psi_{\beta s}}{dt} = u_{\beta s} - R_s \cdot \left(b_{31} \cdot \psi_{\alpha s} + b_{32} \cdot \psi_{\alpha r} + b_{33} \cdot \psi_{\beta s} + b_{34} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\ \dfrac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -R_{r\xi} \cdot \left(b_{41} \cdot \psi_{\alpha s} + \left(b_{42} - \dfrac{\omega_r}{R_{r\xi}} \right) \cdot \psi_{\alpha r} + b_{43} \cdot \psi_{\beta s} + b_{44} \cdot \psi_{\beta r} \right); \\ \dfrac{d\omega_r}{dt} = \dfrac{p}{J} \cdot \left(M_{\text{эм}} - M_0 - M_C \right); \\ \dfrac{d\gamma_r}{dt} = \omega_r, \end{cases} \quad (1)$$

где $u_{\alpha s}$, $u_{\beta s}$ – напряжения контуров статора по осям α и β; $\psi_{\alpha s}$, $\psi_{\beta s}$, $\psi_{\alpha r}$, $\psi_{\beta r}$ – потокосцепления статорных и роторных контуров по осям α и β; R_s – активное

сопротивление статорной обмотки; $R_{r\xi}$ – приведенное активное сопротивление роторной обмотки 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; $M_{\text{эм}} = \frac{pm_1}{2}\left(\psi_{\alpha s} i_{\beta s} - \psi_{\beta s} i_{\alpha s}\right)$ – электромагнитный момент; $i_{\alpha s}$, $i_{\beta s}$, $i_{\alpha r}$, $i_{\beta r}$ – токи статорных и роторных контуров по осям α и β; M_C – момент сопротивления нагрузочного механизма на валу асинхронного двигателя; p – число пар полюсов; γ_r – угол поворота ротора; M_0 – момент холостого хода.

Формирование импульсных напряжений статорных контуров $u_{\alpha s}$, $u_{\beta s}$ осуществляется с помощью алгоритма, приведенного в [6]. Отличием от [6] является введение в уравнения модулирующих напряжений для осей α и β дополнительных коэффициентов K_U и K_f, учитывающих характер изменения действующего значения импульсного напряжения ШИМ-инвертора и его частоты:

$$\begin{cases} u_{MA} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f\right); \\ u_{MB} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f - \frac{2\pi}{3}\right); \\ u_{MC} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f + \frac{2\pi}{3}\right); \\ u_{MA2} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f + \frac{\pi}{2}\right); \\ u_{MB2} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f - \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{2}\right); \\ u_{MC2} = K_U \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t \cdot K_f + \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{2}\right). \end{cases} \quad (2)$$

где u_{MA}, u_{MB}, u_{MC}, u_{MA2}, u_{MB2} и u_{MC2} – модулирующие напряжения для фаз в системе координат α, β; f_1 – частота основной гармоники регулируемого напряжения ЧУАД в установившемся режиме. Коэффициенты K_U и K_f равны:

$$\begin{cases} K_U = 0{,}2 + \dfrac{0{,}8t}{t_{\text{раз}}}, \text{ если } t \le t_{\text{раз}}; \\ K_U = 1, \text{ если } t > t_{\text{раз}}; \\ K_f = 0{,}2 + \dfrac{0{,}8t}{2t_{\text{раз}}}, \text{ если } t \le t_{\text{раз}}; \\ K_U = 1, \text{ если } t > t_{\text{раз}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $t_{\text{раз}}$ – время плавного пуска (разгона) ЧУАД.

С учетом (1) – (3) была составлена программа **NPchast.bas** на языке Qbasic, реализующая алгоритм плавного пуска ЧУАД, и осуществлено численное моделирование процесса плавного пуска асинхронного двигателя АИР56А2У3 мощностью 180 Вт, синхронной частотой вращения 3000 мин$^{-1}$, номинальным напряжением 220/380 В, параметры которого подробно приводятся в [6].

Результаты исследований и обсуждение. Результаты численного моделирования плавного пуска асинхронного двигателя АИР56А2У3 при установившейся частоте основной гармоники $f_1 = 40$ Гц, несущей частоте импульсов $f_{\text{И}} = 4000$ Гц, моменте сопротивления на валу $M_{\text{С}} = 0$ и заданном времени разгона $t_{\text{раз}} = 0{,}5$ с приведены на рис. 1–5. Характер изменения модулирующего напряжения по оси α представлен на рис. 6. Максимальное значение тока в процессе плавного пуска не превышает 0,92 А, что всего на 8,2 % больше амплитуды установившегося тока.

Для сравнения процессов прямого и плавного пуска на рис. 7–8 изображены осциллограммы фазного тока и частоты вращения того же двигателя АИР56А2У3 при прямом пуске на импульсное напряжение частоты $f_1 = 40$ Гц. Как видно, время разгона в случае прямого пуска составляет около 0,12 с, однако амплитуда пускового тока равна 2,9 А, что в 3,4 раза превышает амплитуду установившегося тока (0,85 А). Очевидно, что применение алгоритма плавного пуска дает возможность существенно ограничить пусковые токи, а следовательно, и уменьшить потери ЧУАД в переходных режимах.

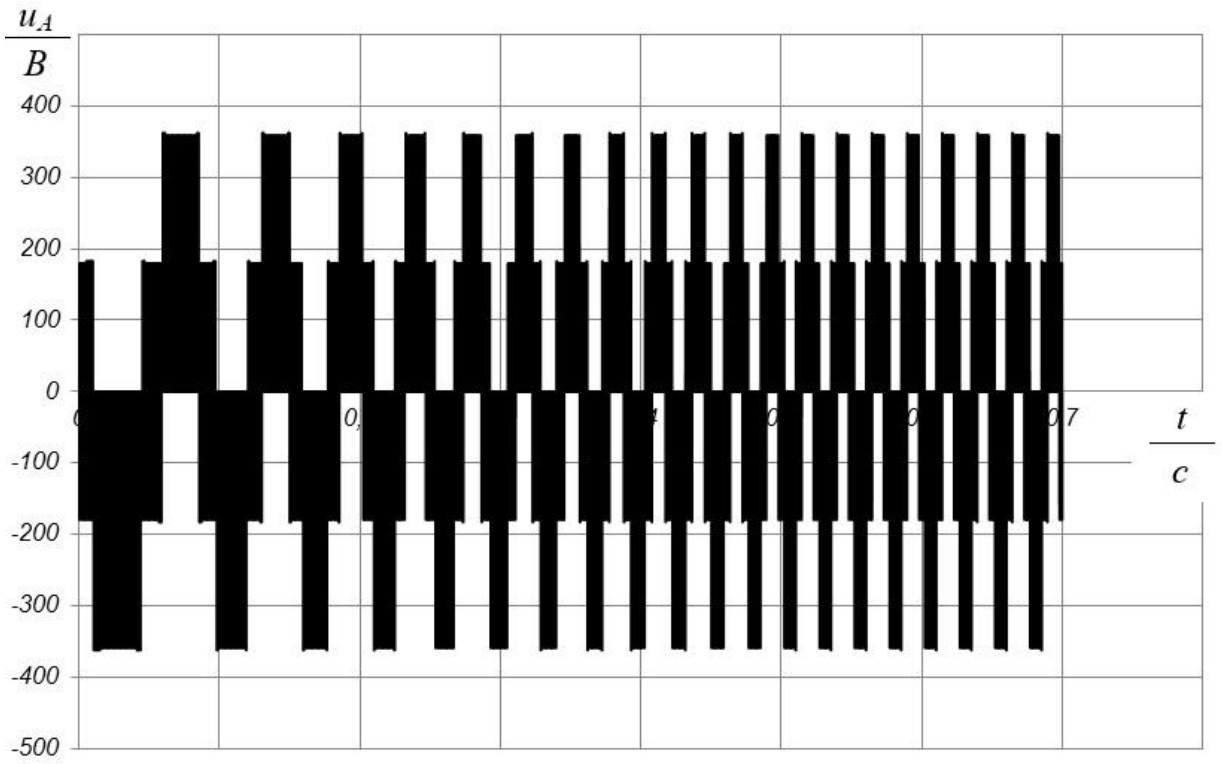


Рис. 1. Осциллограмма широтно-импульсного напряжения при плавном пуске

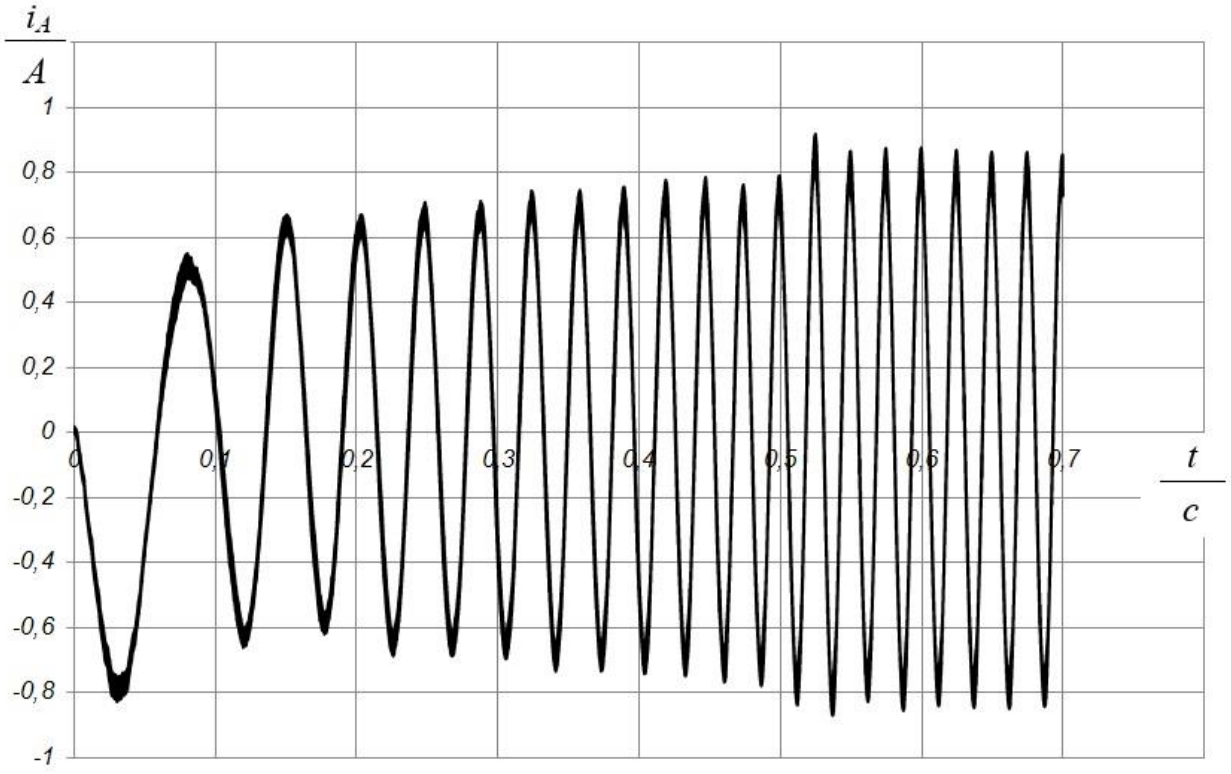


Рис. 2. Осциллограмма фазного тока асинхронного двигателя АИР56А2У3 при плавном пуске

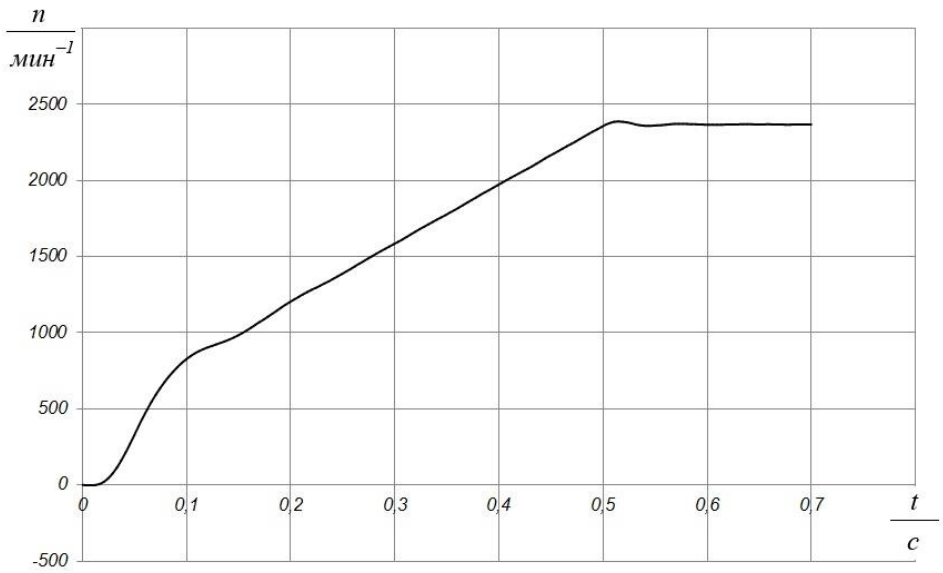


Рис. 3. Осциллограмма частоты вращения двигателя АИР56А2У3 при плавном пуске

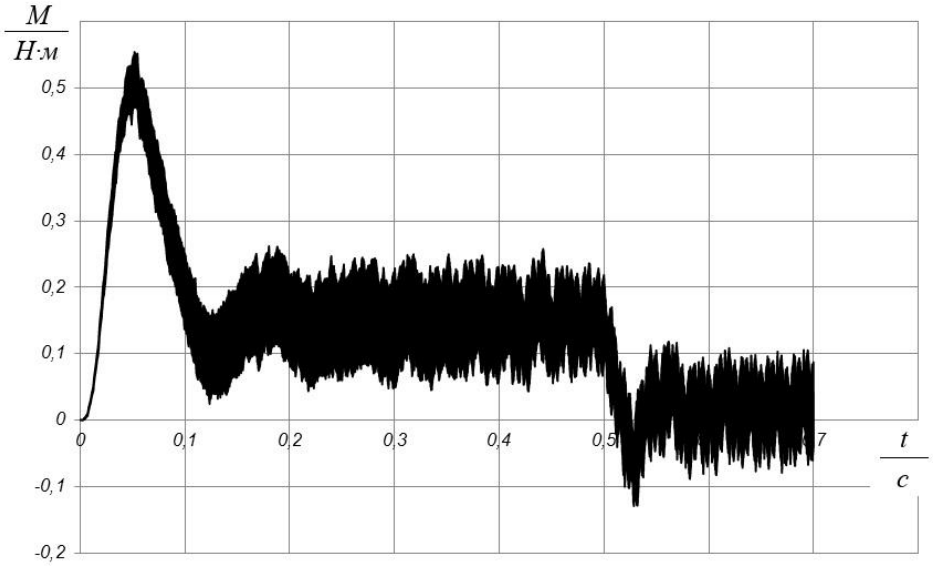


Рис. 4. Осциллограмма электромагнитного момента двигателя АИР56А2У3 при плавном пуске

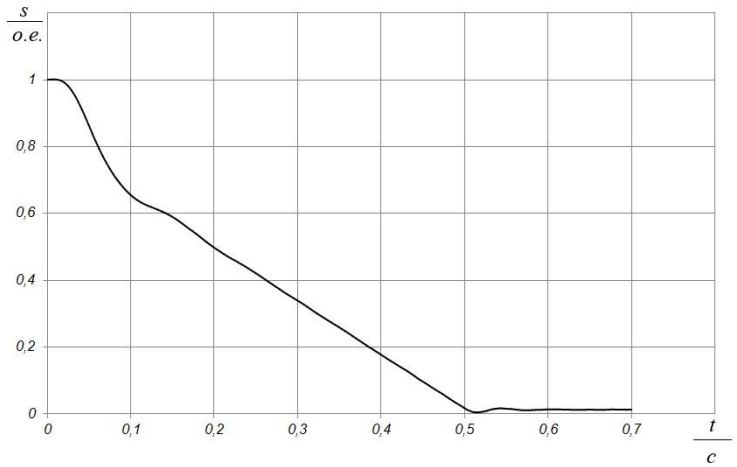


Рис. 5. Осциллограмма скольжения двигателя АИР56А32У3 при плавном пуске

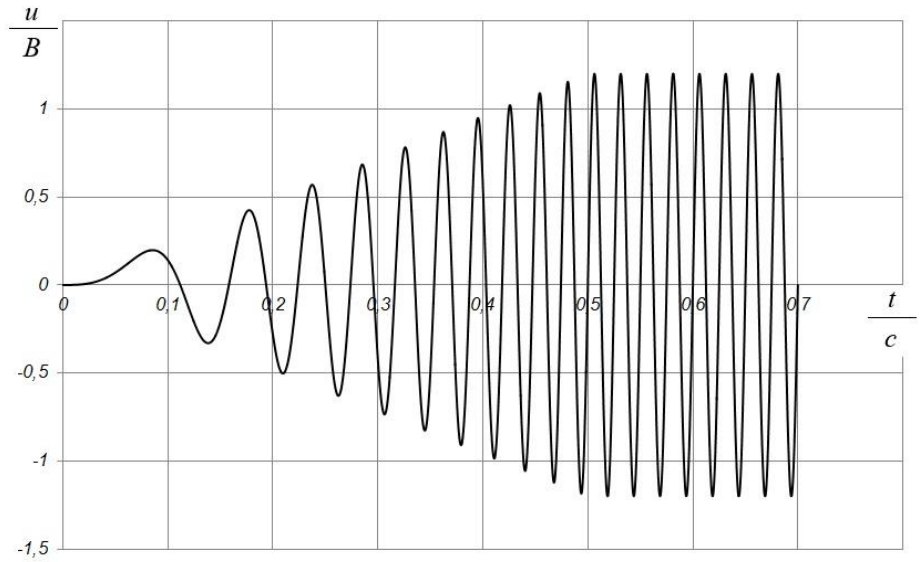


Рис. 6. Осциллограмма модулирующего напряжения при плавном пуске

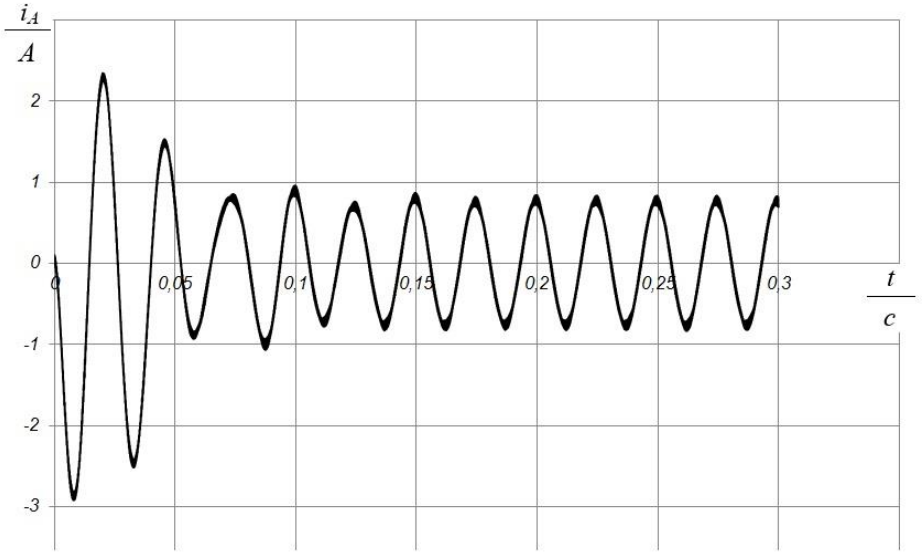


Рис. 7. Осциллограмма фазного тока двигателя АИР56А2У3 при прямом пуске

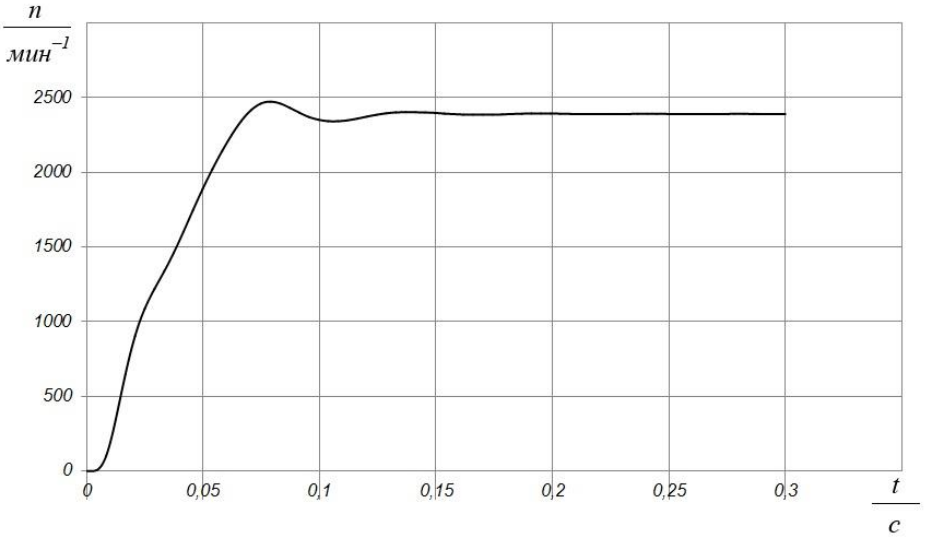


Рис. 8. Осциллограмма частоты вращения двигателя АИР56А2У3 при прямом пуске

Выводы. Результаты моделирования переходных процессов пуска частотно-управляемого асинхронного двигателя подтвердили работоспособность математической модели ЧУАД с учетом реальных факторов и эффективность алгоритма плавного пуска ЧУАД. В дальнейшем предполагается использовать созданную программу моделирования плавного пуска ЧУАД для разработки алгоритмов оптимального управления ЧУАД, обеспечивающих высокие энергетические показатели ЧУАД в переходных и установившихся режимах работы.

Библиографический список

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. Сравнительный анализ переходных процессов в асинхронном электродвигателе / В. А. Денисов, М. Н. Третьяков, О. А. Бородин // Электротехника. 2018. № 3. С. 2–7.

4. Метод расчета поверхностного эффекта в стержне клетки ротора с учетом изменения в нем температуры при пуске / И. З. Богуславский, М. В. Кришьянис // Электротехника. 2008. № 3. С. 24–30.

5. Shestakov A. V. Modeling and Experimental Analysis of Dynamic Characteristics of Asynchronous Motor // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochy, Russia, 25–29 March 2019. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8743061 (accessed 24.06.2019).

6. Шестаков А. В. Математическая модель асинхронного двигателя, учитывающая реальные факторы, при ШИМ-питании // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. : XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2–28 апреля 2018 г. : в 3 т. Т. 2. Технические и физико-математические науки. Киров : 2018. С. 1129–1136.

Разработка перспективного универсального сорбента на основе компактированного высокопористого углеродного материала

И. Н. Шубин [a], А. В. Зеленин [b], А. А. Попова [c], Р. Э. Алиев [d], Е.Д. Мишуков [e]
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техника и технологии производства нанопродуктов» [a],
аспирант гр. АМС-32 [c], магистрант гр. МТМ-21 [d], магистрант гр. МТМ-11 [e],
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация [a, b, c, d, e]
E-mail: i.shubin77@yandex.ru [a], zeleandrey@yandex.ru [b], alyona.popova.93@list.ru [c],
roma200929@gmail.com [d], 555evgenij555@mail.ru [e]

Аннотация. Улучшению экологической обстановки может способствовать применение в качестве топлива для бытовых нужд и транспорта различных газов (в том числе метана и водорода). Они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными видами энергоресурсов: низкая себестоимость, повышенная удельная теплота сгорания, экологическая безопасность. При этом имеются и отрицательные стороны, ограничивающие практическое использование газообразного топлива, в частности, это проблемы, связанные с их безопасным хранением и транспортировкой, а именно использованием криогенных технологий или высокого давления, что несет в себе необходимость в специальном оборудовании. Исходя из этого, актуальной является разработка альтернативного, более безопасного и менее затратного варианта хранения и транспортировки газообразного топлива.

Цель настоящей работы заключалась в разработке универсального высокопористого углеродного сорбента и аппаратурно-технологического оформления технологии его компактирования, позволяющего создать коммерчески привлекательный для рынка продукт в удобных товарных формах.

Авторами представленной работы был разработан высокопористый углеродный материал и предложена принципиальная схема его компактирования. Полученные результаты исследования экспериментальных образцов характеризовались высокими физико-механическими параметрами, возможностью использования в качестве сорбентов газов в энергетике и на транспорте, а также решения ряда экологических задач.

Ключевые слова: углеродный материал, сорбция, технология производства, компактирование.

Введение. В настоящее время синтезированные углеродные сорбенты можно считать наиболее перспективными материалами для сорбции и хранения газов, которые характеризуются высокой развитой системой микро- и мезопор и применяются в технологических процессах, среди которых – разделение, выделение и концентрирование различных газовых сред [1, 2]. Наиболее востребованными и эффективными будут активированные углеродные высокопористые абсорбционные материалы с оптимально развитой поверхностью. Данные материалы классифицируются по происхождению (из органических веществ, полезных ископаемых или полимерных материалов), по способу активации (физическая, химическая или физико-химическая) и по физическому состоянию

(порошки, гранулы или монолиты) [3–5]. Разрабатываемый сорбент должен формоваться в блочки или гранулироваться для удобства использования и повышения плотности упаковки материала в готовых изделиях (фильтрах и абсорберах), а также улучшения его сорбционных характеристик.

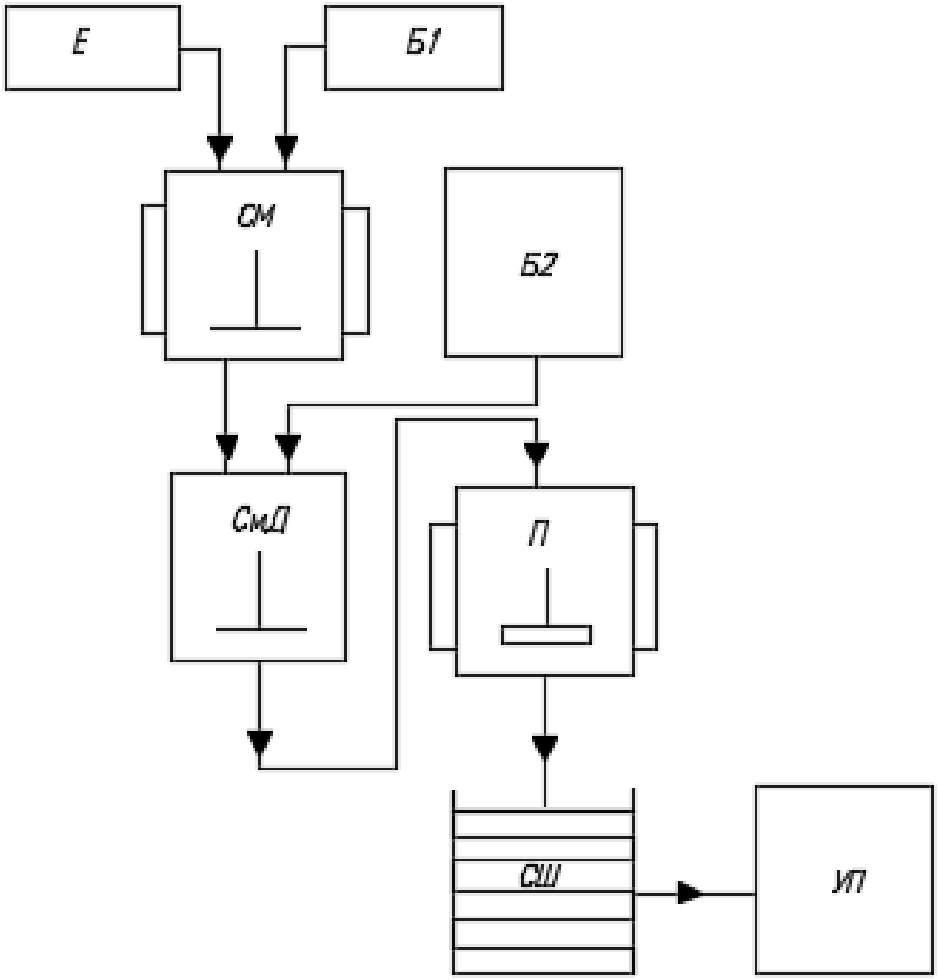
Методы исследования. Разработка универсального высокопористого компактированного углеродного сорбента состоит из нескольких этапов [6–9]. Первый этап включал в себя синтез углеродного материала, заключающийся в карбонизации исходного углеродного сырья, последующую химическую активацию и последующую постобработку. Второй этап заключался в разработке технологии компактирования, включающей в себя подбор связующего, температуры, давления и времени при формовании. На данном этапе предполагалась отработка отдельных технологических режимов и параметров, определяющих основные характеристики готового продукта.

В ходе выполнения была предложена принципиальная схема компактирования высокопористого углеродного материала, предусматривающая возможность масштабирования – перехода от лабораторного к опытно-промышленному производству (см. рисунок).

Дистиллированная вода из емкости *Е* и порошкообразное полимерное связующее из бункера *Б1* подаются в смеситель *СМ,* в котором нагреваются до полного растворения и получения раствора связующего. Полученный раствор и высокопористый углеродный материал из бункера *Б2* подается в смеситель-диспергатор *СмД*, где формируется равномерная реакционная смесь, которая помещается в обогреваемую пресс-форму и устанавливается в пресс *П*, где подвергается ступенчатому нагреву и прессованию с выдержкой на каждой из ступеней. По завершении прессования компактированный углеродный материал в виде таблетки помещается в термостатированный сушильный шкаф *СШ* для постепенного охлаждения в среде защитного газа. Таблетки упаковываются в герметичную полиэтиленовую тару в упаковочной машине *УП*.

Третий этап состоял в отработке общих вопросов аппаратурно-технологического и диагностического оформления процесса получения универсального

высокопористого углеродного сорбента, позволяющего осуществить переход к опытно-промышленному производству.



Принципиальная схема компактирования высокопористого углеродного материала

Результаты исследований, их обсуждение. Таким образом, в настоящее время технология изготовления высокопористого углеродного материала состоит из нескольких стадий, включающих в себя:

– синтез исходного полимера на основе смеси фурфурола, гидрохинона и уротропина, необходимый для получения высокопористого углеродного материала с максимально возможной удельной поверхностью и объемом микро- и мезопор [10];

– термическую химическую активацию полученного углеродного материала при температуре 700–800 ^{0}С гидроксидом калия и его массовым соотношением к полученному полимеру равным 2-3:1 [11, 12];

– формование активированного высокопористого углеродного материала с помощью полимерного связующего при ступенчатом изменении давления и температуры прессования в диапазонах от 25 кгс/см^2 до 1600 кгс/см^2, от 75 до 190 ºС соответственно [13].

Результатом рассмотренных стадий исследований является компактированный высокопористый углеродный материал, имеющий следующие параметры удельной поверхности и пористости, измеренные по адсорбции азота при 77К с помощью прибора Autosorb-iQ: S_{BET} = 1870 m^2/g; S_{DFT} = 2077 m^2/g; V_{DFT} = 0,950 cm^3/g; $V_{DFT\ (<2\ nm)}$ = 0,854 cm^3/g; V_{DR} = 0,822 cm^3/g; ρ = 0,54 г/см^3.

Выводы. В результате проведенных исследований был разработан универсальный высокопористый компактированный углеродный материал, предложена технология его компактирования для удобства практического применения, отработаны вопросы диагностики ключевых характеристик. Полученные результаты исследований подтвердили, что углеродный сорбент может быть использован в качестве фильтрующего, сорбирующего или аккумулирующего материала в системах хранения и аккумулирования газовых сред, а также для решения ряда экологических вопросов.

Библиографический список

1. Мищенко С. В., Ткачев А. Г. Углеродные наноматериалы: производство, свойство, применение. М. : Машиностроение, 2008. 320 с.

2. Цивадзе А. Ю., Аксютин О. Е., Ишков А. Г. и др. Адсорбционные системы аккумулирования метана на основе углеродных пористых структур // Успехи химии. 2018. Т. 87. № 10. С. 950–983.

3. Yunfang Liu, Zengmin Shen, Kiyoshi Yokogawa. Investigation of preparation and structures of activated carbon nanotubes // Materials Research Bulletin. 2006. 41 P. 1503–151. DOI: 10.1016/j.materresbull.2006.01.017.

4. KOH and NaOH activation mechanisms of multiwalled carbon nanotubes with different structural organization / E. Raymundo-Pin˜ero, P. AzaıËs, T. Cacciaguerra, D. Cazorla-Amoror, A. Linares-Solano, F. Berguin. DOI: 10.1016/j.carbon.2004.11.005.

5. Пат. 2625671. РФ, B01J 20/20, C01B 31/14. Блочный нанопористый углеродный материал для аккумулирования природного газа, метана и способ его получения: № 2016124918: Опубл. 18.07.2017 / А. А. Фомкин, А. Ю. Цивадзе, О. Е. Аксютин, А. Г. Ишков, Е. М. Стриженов, А. В. Школин, И. Е. Меньщиков, А. О. Шевченко ; патентообладатель Публичное акционерное общество «Газпром». Бюл. № 20. 9 с.

6. Особенности разработки перспективных сорбентов нового поколения на основе углеродного наноматериала / А. А. Попова, И. Н. Шубин, А. Д. Зеленин, Р. Э. Алиев, А. Е. Кучерова // 6 междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» 23–27 ноября 2020 г. : сб. материалов. Т. 1. М. : Центр научно-технических решений, 2020. С. 733–735.

7. К вопросу определения механизмов процесса смешивания тонко- и нанодисперсных материалов / А. А. Попова, Р. Э. Алиев, И. Н. Шубин // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч. / под ред. А. В. Гадюкиной. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. С. 83–87.

8. Анализ погрешностей, возникающих на этапах приготовления компактированного углеродного материала / А. А. Попова, Р. Э. Алиев, И. Н. Шубин // Научно-практический журнал «Заметки ученого». 2020. № 10. С. 87–103.

9. Features of Nanoporous Carbon Material Synthesis / A. A. Popova, R. E. Aliev, I. N. Shubin // Advanced Materials & Technologies. 2020. № 3(19). DOI: 10.17277/amt.2020.03.pp. 028-032.

10. Синтез микропористого углерода в системе фурфурол-гидрохинон-уротропин / А. Е. Кучерова, Н. Р. Меметов, А. Д. Зеленин, А. Г. Ткачев, А. В. Мележик, А. А. Фомкин, И. Н. Шубин // IV Всероссийский научный симпозиум (с международным участием) «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов». 1–3 июля 2019. Иваново, Суздаль : материалы конф. / ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2019. С. 90–92.

11. Xiaotian Zhang, Weixing Chen. Mechanisms of pore formation on multi-wall carbon nanotubes by KOH activation // Microporous and Mesoporous Materials. 2015. 206. P. 194–201. URL: http://dx.DOI.org/10.1016/j.micromeso.2014.12.002 1387-1811.

12. Пат. № 2620404 РФ, C01B 31/08. Способ получения мезопористого углерода / А. Г. Ткачев, А. В. Мележик, Г. В. Соломахо; заявл. 26.01.2016; опубл. 25.05.2017.

13. Пат. 2736 586. РФ, B01J 20/20, B01J 20/30. Формованный наноструктурированный микропористый углеродный сорбент и способ его получения: № 2019121997: опубл. 18.11.2020 / А. Г. Ткачев, Н. Р. Меметов, А. Е. Кучерова, А. В. Мележик, А. Д. Зеленин, А. А. Попова, И. Н. Шубин; патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». Бюл. №32. 7 с.

Особенности проектирования оборудования для получения функционализированных углеродных наноматериалов

И. Н. Шубин [a], А. А. Попова [b], Р. Э. Алиев [c], Е. Д. Мишуков [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техника и технологии производства нанопродуктов» [a],
аспирант гр. АМС-32 [b], магистрант гр. МТМ-21 [c],
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: i.shubin77@yandex.ru [a], zeleandrey@yandex.ru [b], alyona.popova.93@list.ru [c],
roma200929@gmail.com [d]

Аннотация. Углеродные наноматериалы (УНМ), отличающиеся различной морфологией и структурой (нанотрубки, графен, нанопористый углерод), широко применяются в различных областях современной промышленности. Это связано с тем, что их характеристики оказывают значительное положительное влияние на свойства конечного продукта. При этом в большинстве случаев наилучшие эксплуатационные характеристики достигаются при равномерном распределении УНМ по всему объему модифицируемого материала. Но это несет в себе проблему, связанную со сложностью распределения УНМ в объеме материала, так как наночастицы агрегируются, и это приводит к возникновению дефектов, неравномерности диспергирования и повышению энергетических затрат на переработку. Объясняется это склонностью УНМ к самоассоциации в агрегаты (пучки), объединеные ван-дер-вальсовыми взаимодействиями. Решению данной проблемы будет способствовать использование функционализированных УНМ, т. е. устойчивые дисперсии наноматериалов в веществах, легко совмещающихся с различными средами.

Целью данного исследования было создание промышленно реализуемой технологии и оборудования для функционализации углеродных материалов. Авторами работы были рассмотрены особенности функционализации углеродных наноструктур, стадии ее проведения, а также проектирование и использование оборудования для ее осуществления. В результате была предложена конструкция аппарата для осуществления одной из стадий получения функциональных углеродных наноструктур. Полученные результаты лабораторных испытаний показали высокие характеристики готового углеродного материала и возможность его практического применения.

Ключевые слова: оборудование, углеродные наноматериалы, функционализация, сатуратор.

Введение. На сегодняшний день в основу развития наноиндустрии положена работа над накоплением знаний о свойствах, методах получения и областях практического применения наноразмерных структур. Как правило, исследования ведутся по двум основным направлениям, по которым проводятся как фундаментальные, так и прикладные работы. Это синтез и характеризация наноматериалов, а также их практическое применение.

Высокоразвитая поверхность УНМ способствует созданию материала с большим количеством поверхностных функциональных групп. Во время работы над такими материалами возникает проблема распределения УНМ в различных средах. Её решение видится в снижении агрегирования нанотрубок, кото-

рое достигается за счет хорошо смачиваемой среды, что возможно благодаря использованию поверхностно-активных веществ (ПАВ) или химической прививки функциональных групп к поверхности УНМ [1, 2].

Известны многочисленные методы получения стабильных дисперсий УНМ в воде и полярных органических растворителях, т. е. функционализация полярными кислородсодержащими группами, которая достигается за счет обработки углеродных наноматериалов какими-либо окислителями (азотная и серная кислоты, персульфат аммония, перекись водорода, гипохлорит натрия, озон, перманганат калия) в жидкой или в газовой фазе [1, 3].

Методы исследования. Задача создания функционализированных наноматериалов была успешно решена авторами работы. В процессе реализации данного исследования было разработано аппаратурно-технологическое оформление процесса функционализации. В основе работы лежали классические подходы к расчетам и использованию традиционного оборудования. Также были применены многочисленные конструктивные и технологические решения, благодаря которым наблюдалось повышение эффективности и результативности используемого оборудования [4, 5]. В качестве примера рассмотрим одну из стадий производства функционализированных УНМ, а именно насыщение жидкой реакционной смеси углекислым газом. Особенностью данной операции была невозможность барботажа газа в объем жидкости, в связи с чем контакт газовой среды ограничивался зеркалом поверхности с эффективной площадью аппарата. Предложенные технические и конструктивные решения способствовали значительному сокращению времени необходимого контакта газовой и реакционной сред, при этом увеличилась эффективность данной технологической операции [6, 7].

Суть предложенных решений заключалась в конструкции аппарата, корпус которого был выполнен в виде конической обечайки, снабженной эллиптическими днищами, верхнее днище имеет патрубки подачи жидкости и выхода газа, а нижнее – патрубки подвода газа и отвода жидкости, усеченный конус своим основанием установлен в корпусе с кольцевым зазором и соединен с ме-

ханизмом перемещения, образуя дозатор жидкости, в центральной и нижней частях аппарата помещен перфорированный распределитель газа в виде коаксиально расположенных сетчатых конической обечайки с эллиптическим днищем (рис. 1).

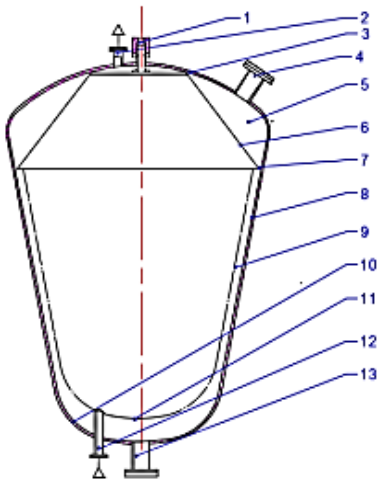


Рис. 1. Схематичное изображение аппарата для насыщения реакционного раствора углекислым газом: 1 – механизм перемещения; 2 – патрубок выхода газа; 3 – верхнее эллиптическое днище; 4 – патрубок подачи жидкости; 5 – зона питания; 6 – усеченный конус; 7 – кольцевой зазор; 8 – коническая обечайка; 9 – сетчатая коническая обечайка; 10 – нижнее эллиптическое днище; 11 – сетчатое эллиптическое днище; 12 – патрубок подвода газа; 13 – патрубок отвода жидкости

При этом было возможным применение различных распределительных устройств для газа и реакционной смеси, увеличивающее площадь и время контакта фаз (рис. 2). Кроме того, была обеспечена возможность обработки технологических растворов с различной вязкостью, эмульсий и суспензий [8, 9].

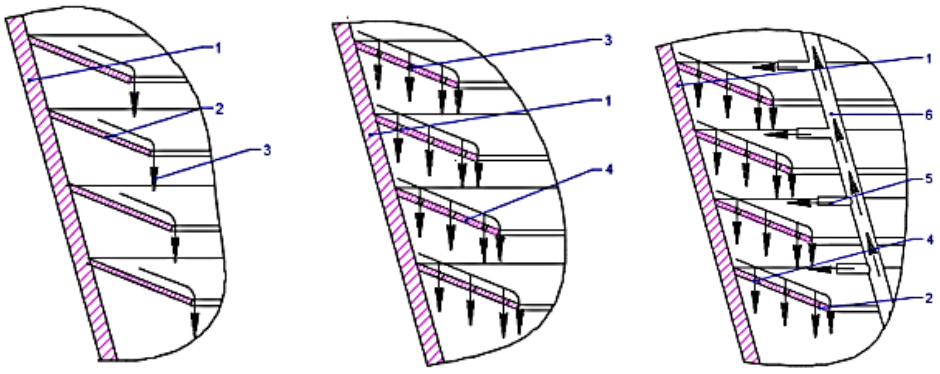


Рис. 2. Варианты распределительных устройств: 1 – коническая обечайка; 2 – направляющие полки для жидкости; 3 – направление потока жидкости; 4 – перфорированные направляющие полки для жидкости; 5 – направление потока газа; 6 – распределительное устройство для газа

Выводы. Авторами работы были рассмотрены особенности проектирования и использования оборудования для получения функционализированных углеродных наноструктур. Благодаря анализу литературных источников и экспериментальных исследований была разработана конструкция аппарата для насыщения реакционного раствора углекислым газом и предложены варианты распределительных устройств, которые будут способствовать повышению эффективности оборудования и интенсификации протекания химических реакций в процессе функционализации. Это является значительным этапом в оформлении аппаратурно-технологического процесса получения стабильных дисперсий на основе углеродных материалов. Такое решение будет способствовать переходу от лабораторных экспериментов к реализуемым опытно-промышленным и промышленным технологиям получения функционализированных УНМ. А возможность определения основных параметров применяемого оборудования, исходя из особенностей протекающих в них процессов, нивелирует трудности, которые могут возникнуть при переходе к масштабному производству.

Библиографический список

1. Мищенко С. В., Ткачев А. Г. Углеродные наноматериалы: производство, свойство, применение. М. : Машиностроение, 2008. 320 с.

2. Головин Ю. И. Введение в нанотехнологию. М. : Машиностроение, 2003. 112 с.

3. Дьячкова Т. П., Ткачев А. Г. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок. М. : Изд. дом «Спектр», 2013. 152 с.

4. Попова А. А., Шубин И. Н. Анализ влияния свойств нанодисперсных систем на конструкции технологического оборудования // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 7 (724). DOI: 10.18698/0536-1044-2020-7-3-12.

5. Рухов А. В., Таров Д. В., Дьячкова Т. П. и др. Методика проектирования аппаратурного оформления производств углеродных нанотрубок и полупродуктов на их основе // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. № 3. С. 94–101.

6. Таров Д. В., Гурова Т. В., Шубин И. Н. Аппаратурное оформление функционализации нанотрубок стеаратом титана // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. Т. 2. № 2. С. 360–366.

7. Шубин И. Н., Ткачев А. Г., Таров В. П., Таров Д. В. Технологические основы функционализации многостенных углеродных нанотрубок стеаратом титана для последующего производства композитов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 3. № 22. С. 501–509.

8. Пат. № 2637234. РФ, B01F 3/04. Сатуратор: № 2016141017: Опубл. 01.12.2017 / А. Г. Ткачев, Д. В. Таров, В. П. Таров, И. Н. Шубин, Н. Р. Меметов; патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». Бюл. № 34. 8 с.

9. Попова А. А., Таров Д. В., Шубин И. Н. Характеризация свойств наномодифицированных материалов функционализированными углеродными нанотрубками // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 11 (28). Т. 1. Ноябрь. С. 545–548.

Метод определения истинной плотности сверхлегких наполнителей

Ю. В. Юркин [a], Д. А. Варанкина [b], И. О. Волоскова [c], Р. С. Рогожкин [d]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и машин [a],
студентка группы СТм-1801-01-00 [b, c], студент группы СТм-1802-03-00 [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c , d]
E-mail: yurkin@vyatsu.ru [a], stud123860@vyatsu.ru [b], stud127762@vyatsu.ru [c],
stud123852@vyatsu.ru [d]

Аннотация. В механике композиционных материалов для моделирования структуры материала с целью прогнозирования его свойств используется объемная доля наполнителя, для определения которой требуется знание его истинной плотности. Определение истинной плотности сверхлегких наполнителей осложняется тем, что они не тонут в жидкостях, что не позволяет применить стандартный пикнометрический метод определения истинной плотности. Цель статьи – установить возможность определения истинной плотности сверхлёгких наполнителей, используя метод обратного прогнозирования плотности материала, и сравнить полученные результаты с экспериментальными исследованиями. В статье приводится исследование изменения плотности резиновых смесей в зависимости от степени наполнения микросферами. Установлено, что снижение плотности экспериментальных образцов было ниже, чем теоретически спрогнозировано. Причиной данного расхождения явилось существенное расхождение истинной плотности, заявленной изготовителем микросфер, от фактической. Для установления фактической истинной плотности микросфер применялся стандартный пикнометрический метод и метод обратного прогнозирования плотности материала. Оба метода позволили получить близкие результаты, что дало возможность применить метод обратного прогнозирования истинной плотности для сверхлегких наполнителей, для которых неприменим пикнометрический метод.

Ключевые слова: микросфера, плотность, композит, каучук, резиновая смесь.

Введение. В механике композиционных материалов для прогнозирования их физико-механических характеристик применяют различные модели [3–5]. Эти модели связывают микроструктуру композита с физико-механическими свойствами его компонентов. Разработаны модели прогнозирования упругих характеристик композитов [8–10], прочностных свойств [6], динамических характеристик [7, 11] и пр. Все эти модели объединяет то, что характеристикой доли наполнителя в композите является его объемная доля. На практике для приготовления композитов чаще всего используются массовые доли, из-за чего возникают расхождения экспериментальных свойств с теоретическими, особенно при применении тяжелого или сверхлегкого наполнителя.

Для перевода массовых долей в объемные необходимо знать плотность каждого компонента композита, причем для сыпучих компонентов, таких как наполнитель, требуется знать его истинную плотность (без пор). Истинная плотность обычно определяется по объему дистиллированной воды, вытесняе-

мой навеской испытуемого материала из пикнометра при кипячении [1]. В качестве пикнометрической жидкости при необходимости помимо воды может использоваться более легкая жидкость, например керосин. Однако есть такие наполнители, которые не тонут даже в легких жидкостях, и стандартный пикнометрический метод определения истинной плотности для таких наполнителей становится недоступным. Для определения истинной плотности таких наполнителей используется видоизмененный пикнометрический метод [2], однако есть сложности с применением этого метода, так как требуется специальная капсула, в которую помещают навеску наполнителя.

Если известна массовая доля и истинная плотность каждого компонента композита, то можно не только определить их объемную долю, но и спрогнозировать плотность будущего композита. Идея данной статьи состоит в том, что, если в композите применен компонент с неизвестной истинной плотностью, применяя обратные формулы для прогнозирования плотности композита, можно определить истинную плотность компонента, у которого эта величина неизвестна.

Цель статьи – выявить возможность определения истинной плотности сверхлёгких наполнителей, используя метод обратного прогнозирования плотности материала, и сравнить полученные результаты с экспериментальными исследованиями.

Методы исследования. Для получения композиционных материалов выбрана базовая резиновая смесь, состоящая из следующих компонентов:

Таблица 1

Состав базовой смеси

Материал	Массовая доля, г	Плотность, г/см^3
Бутилкаучук БК-1675Н	130	0,9
Хлорбутилкаучук ХБК-139	10	0,9
Нефтяное масло И-40	60	0,9
Алкилфенол-формальдегидная смола SP-1045	15	1,4
Мел КМ-1 (микромрамор)	140	2,44
Технический углерод П-803	30	1,6

В качестве микросфер использовались стеклосфера полая Hollow Glass Microspheres HL25 с заявленной истинной плотностью 0,24–0,27 г/см^3, а также

микросфера алюмосиликатная полая с заявленной истинной плотностью 0,5 г/см^3. Массовая доля стеклосфер в базовой смеси составляла 20, 40 и 60 г; алюмосиликатных микросфер – 40, 80 и 120 г. Для заявленных истинных плотностей данные навески различных микросфер должны были дать одинаковую их объемную долю в композите.

Приготовление резиновой смеси проводилось с помощью резиносмесителя периодического действия с Z-образными роторами ЗЛ-1,0. Замешивание происходило в течение 40 минут при температуре 60–70 °С. Далее смесь подвергалась вулканизации в вулканизационном прессе при температуре 180 ºС в течение 40 минут. Экспериментальные образцы для испытаний получали с помощью вырубного пресса.

Плотность экспериментальных образцов определяли методом обмера и взвешивания по ГОСТ 15139-69 п. 2. Метод применяется для определения плотности (объемной массы) изделий и обеспечивает точность измерения плотности до 0,5 % при точности измерения объема 0,3 % и массы 0,2 %.

Далее для определения истинной плотности алюмосиликатных микросфер использовался стандартный пикнометрический метод по ГОСТ 9758-2012 п. 8. В чистый высушенный и предварительно взвешенный пикнометр засыпали 10 г наполнителя. Затем в пикнометр добавляли уайт-спирит в таком количестве, чтобы он был заполнен не более чем на 1/2 своего объема, и перемешивали для удаления пузырьков воздуха. Пикнометр обтирали мягкой тканью, охлаждали до комнатной температуры, доливали до метки уайт-спирит и взвешивали. Пикнометр освобождали от содержимого, промывали и заливали до метки уайт-спирит комнатной температуры, обтирали мягкой тканью и взвешивали.

Теоретическую плотность экспериментальных образцов определяли по формуле:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{\sum_{i=1}^{n} (m_i/\rho_i)}, \quad (1)$$

где m_i – массовая доля каждого компонента; ρ_i – истинная плотность каждого компонента.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты исследования плотности смесей с разной дозировкой алюмосиликатных микросфер (далее – AL) и стеклосфер (далее – HL) приведены соответственно в табл. 2 и 3. Из полученных данных видно, что увеличение дозировки AL приводит к уменьшению плотности, однако в ходе исследования оказалось, что истинная плотность AL выше заявленной производителем.

Таблица 2

Плотность образцов с различной дозировкой AL

№ образца	Плотность образцов (г/см^3) при массовой доле AL		
	40	80	120
1	1,208	1,139	1,079
2	1,221	1,213	1,139
3	1,111	1,107	1,106
Средняя	1,180	1,153	1,108
Теоретическая при ρ_{AL} =0,5 г/см^3	1,092	0,991	0,920

Таблица 3

Плотность образцов с различной дозировкой HL

№ образца	Плотность образцов (г/см^3) при массовой доле HL		
	20	40	60
1	1,195	1,222	1,132
2	1,132	1,102	1,103
3	1,176	1,132	1,147
Средняя	1,168	1,152	1,127
Теоретическая при ρ_{HL} = 0,25 г/см^3	1,041	0,906	0,810

По таблицам видно, что имеется существенное расхождение между теоретическими и экспериментальными плотностями образцов. Так как теоретическая (1,245 г/см^3) и экспериментальная (1,25 г/см^3) плотности базовой смеси (см. табл. 1) практически идентичны, причиной расхождения может быть только ошибка в заявленной плотности микросфер.

Для уточнения истинной плотности AL был применен стандартный пикнометрический метод, однако в качестве пикнометрической жидкости был выбран уайт-спирит, так как алюмосиликатные микросферы были легче воды и

керосина. В результате измерений было получено значение истинной плотности AL равное 0,82 г/см^3, что значительно превышало заявленное производителем 0,82 г/см^3. Подставив в формулу 1 найденные значения плотности AL, мы рассчитали теоретические плотности образцов и сопоставили с экспериментальными. Результат сопоставления представлен на рис. 1.

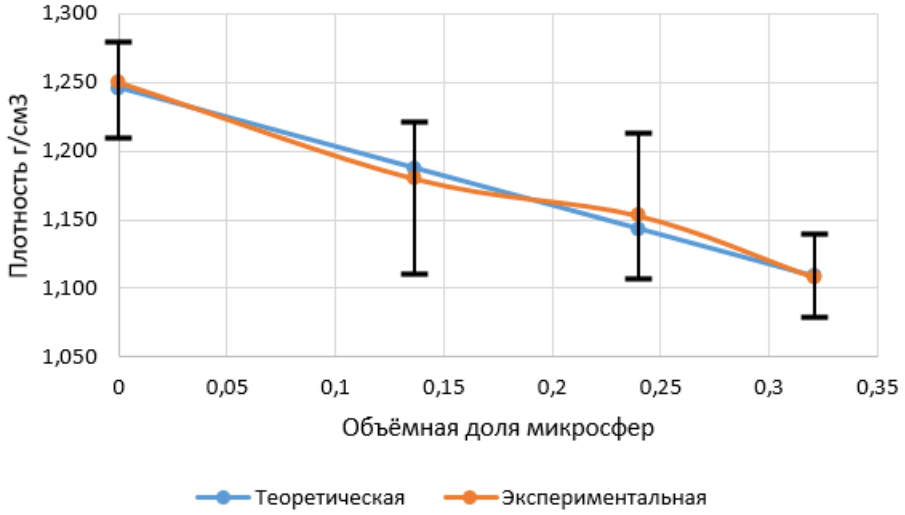


Рис. 1. График зависимости плотности от объёмной доли наполнителя AL

По графику видно, что данные, полученные экспериментальным и теоретическим методами, довольно близки. На этом основании был разработан метод определения истинной плотности одного (первого в формуле) компонента смеси при известных плотностях остальных компонент, массовых долях всех компонент и известной экспериментальной плотности смеси ρ. Истинную плотность компонента можно определить по формуле:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{\rho} - \sum_{i=2}^{n}(m_i/\rho_i)}, \qquad (2)$$

либо рассчитать плотность неизвестного компонента по формуле 1 методом итераций.

С помощью данного метода была определена истинная плотность стеклосфер HL, так как ввиду их легкости нельзя было применить для этого пикнометрический способ. Рассчитанная истинная плотность HL составила 0,65 г/см^3, что значительно превышает заявленные производителем 0,25 г/см^3. Результат

сопоставления экспериментальных значений плотности композитов с HL и теоретических с определенной по вышеописанному методу истинной плотностью стеклосфер представлен на рис. 2.

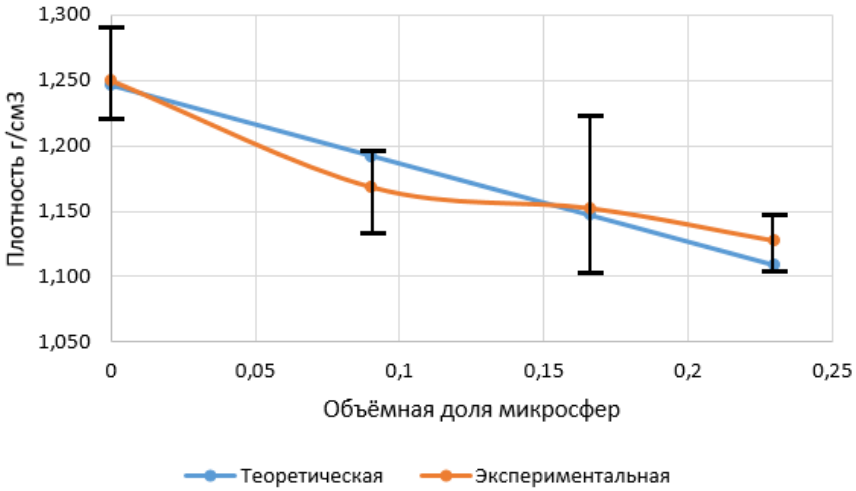


Рис. 2. График зависимости плотности от объёмной доли заполнителя HL

Из графика видно, что средняя теоретическая плотность находится в диапазоне между экспериментальными значениями.

Выводы. Если в композите применен компонент с неизвестной истинной плотностью, применяя обратные формулы для прогнозирования плотности композита, можно определить истинную плотность компонента, у которого эта величина неизвестна.

Библиографический список

1. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний (с изменениями № 1, 2, с поправкой). М. : ИПК изд-во стандартов, 2006.

2. ГОСТ Р 57962-2017. Микросферы стеклянные полые. Метод определения плотности. М. : ИПК изд-во стандартов, 2017.

3. Кристенсен Р. Введение в механику композитов : учеб. пособие. М. : Изд-во Мир, 1982. 334 с.

4. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер К. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве : учеб. пособие. М. : Стройиздат, 1988. 312 с.

5. Ванин П. А. Микромеханика композиционных материалов : учеб. пособие. Киев : Наук. думка, 1985. 304 с.

6. The effect of micromechanics models on mechanical property predictions for short fiber composites / Jian Zhao, Dong-Xiao Su, Jin-ming Yi and etc. // Composite Structures. 2020. Vol. 244. P. 112229.

7. Yurkin Y. V., Cherkasov V. D., Avdonin V. V. Analytical Model for Prediction of Damping Properties of Particulate-Filled Polymer Composite // Materials Science Forum. 2018. 937. P. 77–82.

8. Young Seok Song, Jae Ryoun Youn. Modeling of effective elastic properties for polymer based carbon nanotube composites // Polymer. 2006. 47. P. 1741–1748.

9. Gueguen O., Ahzi S., Makradi A., Belouettar S. A new three-phase model to estimate the effective elastic properties of semi-crystalline polymers: Application to PET // Mechanics of Materials. 2010. 42. P. 1–10.

10. Nelyub V. A. Characteristics of Interfacial Layers of Polymer Composite Materials // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. 2014. Vol. 7. № 4. P. 310–312.

11. Karamipour S., Ebadi-Dehaghani H., Ashouri D., Mousavian S. Effect of nano-$CaCO_3$ on rheological and dynamic mechanical properties of polypropylene: Experiments and models // Polymer Testing. 2011. 30. P. 110–117.

Электронное научное издание

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2021)

Сборник статей

XXI Всероссийская научно-практическая конференция 12 апреля–30 апреля 2021 г.

Том 2
Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле

Редактор *Ю. Н. Болдырева*
Технический редактор *Л. А. Кислицына*

Электронное издание сетевого распространения

Объем издания: 17 Мб.

Дата подписания к использованию: 31.05.2021

Вятский государственный университет
610000, г. Киров, ул. Московская, 36
www.vyatsu.ru, www.vestnik43.ru
Тел. (8332) 20-89-64 (Научное издательство ВятГУ)