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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2020)

СБОРНИК СТАТЕЙ

**XX Всероссийская
научно-практическая конференция
17 февраля–26 апреля 2020 г.**

**Том 2
Химико-биологические и технические науки**

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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2020)

Сборник статей

**XX Всероссийская
научно-практическая конференция
17 февраля–26 апреля 2020 г.**

**Том 2
Химико-биологические и технические науки**

**Киров
2020**

ББК Ч215.16(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**, руководитель Департамента Информационных технологий; **Л. В. Капитурова**, заведующий Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, редактор Управления воспитательной и социальной работы; **Е. А. Пятунин**, директор Музея ВятГУ; **А. Н. Чикишева**, канд. экон. наук, начальник Отдела аспирантуры, докторантуры и НИРС, **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц., директор Института биологии и биотехнологии; **С. В. Фомин**, канд. техн. наук, доц., директор Института химии и экологии; **И. В. Губин**, канд. техн. наук, доц., директор Политехнического института; **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; **Е. Л. Сырцова**, канд. пед. наук, доц., директор Института непрерывного образования российских и иностранных граждан.

Редакционная коллегия сборника:

С. Г. Литвинец, канд. с.-х. наук, доц.; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук; **О. В. Байкова**, д-р. филол. наук. проф; **Е. А. Бармина**, канд. экон. наук, доц.; **В. Г. Басманов**, канд. техн. наук, доц.; **Г. М. Безверхов**, канд. арх. наук, доц.; **Е. А. Братухина**, канд. экон. наук; **Ш. В. Бузиков**, канд. техн. наук; **О. М. Бузикова**, канд. биол. наук, доц.; **Р. Л. Веснин**, канд. техн. наук; **А. В. Вильнер**, канд. техн. наук, доц.; **Е. О. Галицких**, д-р. пед. наук, профессор; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; **С. П. Грачев**, канд. техн. наук, доц.; **М. А. Зайцев**, канд. пед. наук, доц.; **М. И. Земцов**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Зонова**, канд. филол. наук доц.; **Ю. В. Игошина**, канд. филос. наук, доц.; **Е. В. Каранина**, д-р. экон. наук, доц.; **В. Е. Круковский**, канд. юр. наук; **В.А. Крысова**, канд. пед. 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, профессор; **Н. Г. Наумова**, канд. филол. наук, доц.; **Н .В. Палешева**, канд. экон. наук, доц.; **О. Н. Пересторонина**, канд. биол. наук, доц.; **М. А. Морозова**, канд. биол. наук, доц.; **Е. В. Рябова**, канд. биол. наук; **В. Е. Круковский**, канд. юрид. наук;; **Е. В. Разова**, канд. пед. наук, доц.; **И. В. Романова**, канд. пед. наук, доц.; **Д. Г. Сергеев**, канд. техн. наук, доц.; **Д. А. Страбыкин**, д-р. техн. наук, проф.; **Д. М. Суворов**, канд. техн. наук, доц.; **Т. Н. Суворова**, д-р пед. наук, профессор; **С. В. Фомин**, канд. техн. наук, доц.; **А. А. Фоминых**, канд. техн. наук; **Н. В. Цветкова**, канд. психолог. наук, **М. Г. Швецова**, канд. филол. наук, доц.; **Ю. В. Юркин**, канд. техн. наук

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2020) : сб. ст. : XX Всерос. науч.-практ. конф., 17 февр. – 26 апр. 2020 г. В 2 т. Т.2. Химико-биологические и технические науки. – Электрон. текстовые дан. – Киров : Вятский государственный университет, 2020. URL: http://vestnik43.ru/obschestvo-nauka-innovacii-(npk-2020)-tom-2

ISBN 978-5-98228-227-9 (Т. 2.)
ISBN 978-5-98228-225-5

ББК Ч215.16(082)

Минимальные системные требования

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

ISBN 978-5-98228-227-9 (Т. 2.)
ISBN 978-5-98228-225-5

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

А. А. Алалыкин, М. С. Соловьева, Р. М. Кутергина, Е. А. Мартинсон
Пчелиная обножка – перспективный ингредиент функционального питания 7

В. С. Белозёров, Б. А. Ананченко, И. В. Конышев, А. А Бывалов
Влияние скорости нагружения межмолекулярных связей на определяемую силу взаимодействия в системе «антиген-антитело» с использованием атомно-силовой микроскопии 14

И. А. Коновалова, Е. В. Лелекова
Мониторинг состояния двулетних культур сосны обыкновенной из саженцев с закрытой и открытой корневой системой 19

О. Н. Пересторонина, С. В. Шабалкина
Состояние отдельных насаждений ели колючей (*Picea pungens* f. *glauca* Beissn.) в г. Кирове 25

Е. М. Толмачева, Е. А. Домнина, В. А. Езимов
Характеристика листопадных деревьев Ботанического сада ВятГУ 31

К. С. Устюгова, И. Г. Широких
Выбор оптимальной питательной среды для стрептомицетов – продуцентов биофунгицидов 37

Л. В. Устюжанинова, А. М. Богатырев, Е. А. Мартинсон
Исследование возможности силосования жома борщевика Сосновского 43

Л. В. Устюжанинова, И. А. Мамаева, Е. А. Мартинсон
Оптимизация технологии производства и состава холодного негазированного напитка из иван-чая 51

Л. В. Устюжанинова, Т. И. Миронова, В. А. Вятер, С. А. Васильев
Исследование влияния СВЧ-излучения на концентрацию живых молочнокислых микроорганизмов 59

Л. В. Устюжанинова, М. А. Сорокожердьева, К. В. Полежаева, В. А. Вятер
Изучение состава жома борщевика Сосновского 66

Л. В. Устюжанинова, Е. А. Тиунова, И. А. Уржумцева, Е. А. Мартинсон
Исследование возможности использования зеленой массы борщевика Сосновского для производства биоэтанола 73

Л. В. Устюжанинова, Е. А. Тиунова, И. А. Уржумцева, Е. А. Мартинсон
Селекция высокопродуктивных дрожжей-сахаромицетов для производства биоэтанола 81

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т. П. Береснева, М. А. Загоскин, А. И. Фокина
Определение витамина B_2 методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии 86

С. Э. Большакова , Е. В. Береснева
Сравнительный анализ состава и свойств лекарственных препаратов и лекарственных форм, содержащих иод 90

А. А. Бурков, М. Ф. Хозяинова
Биоразлагаемые композиты на основе ПЛА и крахмала 98

А. Н. Бушуев, И. В. Толстобров, О. В. Елькин, В. А. Кряжевских
Получение сополимеров (винилиденфторид-гексафторпропилен)
с высоким содержанием ГФП в своем составе 102

А. В. Захаров, Ю. П. Хранилов, Т. В. Еремеева, А. А. Новосёлова
Влияние фторида натрия на процесс катодного восстановления трёхвалентного железа 108

К. О. Камалов, Ф. И. Ахмаров, А. В. Мочалов
Исследование процесса переработки цинксодержащих сточных вод
производства теофиллина 113

В. А. Лихачев, М. С. Бобро
Исследование влияния нитрат-ионов на питтинговую коррозию
нержавеющих сталей в 3%-м растворе Nacl 119

И. А. Мансурова, А. С. Сыкчин, В. В. Пятина, Е. А. Солодянкин
Структура и свойства механоактивированного пиролизного углерода 126

И. В. Толстобров, А. Н. Бушуев, Е.С. Широкова, В. А. Кряжевских
Разработка композиции полимер-оксид циркония, адаптированной для 3D-печати 133

И. Б. Шилов, Н. О. Бакулев, Н. Е. Владимиров
Исследование резин на основе бутилкаучука 137

Е. С. Широкова, Д. С. Великоредчанин, К. С. Белозеров
Исследование состава образцов изделий из вторичного полиэтилентерефталата
и его влияние на физико-механические показатели 142

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

М. Ю. Здоровенко, М. В. Торопов
Разработка приложения для построения динамической модели
прогнозирования числа присасывания клещей в Кировской области 146

Т. А. Пескишева, Д. Э. Маскин
Методы машинного обучения для прогнозирования заработной платы сотрудников 153

В. С. Ростовцев, О. Н. Черемисинова
Анализ методов подбора гиперпараметров сверточной нейронной сети 161

П. Г. Чупраков, Д. А. Бородавкин
Широкополосное детектирование сигналов в коротковолновом диапазоне 168

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ю. Л. Апатов, К. Ю. Апатов, В. С. Васенин
Новый подход к технологическим возможностям
СП-формовки изделий из плоских листовых заготовок 175

Ю. Л. Апатов, В. С. Васенин, Д. Э. Макаров
Интенсификация процесса СПФ переходом
к использованию автономных штамповых блоков 183

Д. А. Баранов, А. Г. Шемпелев
Исследование режимов работы теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1
и разработка мероприятий по повышению эффективности ее эксплуатации 191

В. Г. Басманов, В. М. Холманских, И. В. Долбилин
Статистические исследования надежности воздушных линий 6–10 кВ 199

А. Н. Беляев, Э. В. Коржова
Проблемы нормативно-правового регулирования обращения
твердых бытовых отходов в РФ.....207

А. Н. Беляев, А. В. Фалалеев
Технологические риски при эксплуатации плавательных бассейнов 213

К. В. Брызгалова, Д. В. Шуплецова, Е. М. Тураева
Архитектурно-планировочное решение и история строительства
Троицкой церкви с. Кильмезь.....220

Р. Е. Галочкин, Ю. Я. Тюкалов
Сборный арочный мост из бетонных блоков 225

И. В. Губин, А. Д. Шешин, А. А. Фоминых
Результаты работы студенческой команды по созданию электрического транспорта.....233

М. Д. Дурсенева, А. Н. Пупышев, М. С. Шишкин, С. П. Грачев
Математическая модель связи между режимами импульсного лазерного излучения
и глубиной упрочненной зоны ленточной пилы.....238

А. Ю. Курбатова, Д. А. Кузнецова, И. А. Соловьева
Применение концепции “Vision Zero” в офисных организациях.....246

Н. М. Малышева, Н. В. Тимина, С. А. Сарпов, А. В. Касимов
База данных трансформаторов 250

В. С. Мелехина, Н. А. Перминов, В. Г. Басманов
Исследования по определению срока службы ОПН 256

И. В. Микрюков, В. А. Головенкин, М. В. Гунбин
Многофункциональный гибридный коммутационный аппарат 264

С. А. Михайловская, А. С. Матюнина
Причины несчастных случаев с преподавателями
и обучающимися высших учебных заведений.....273

М. В. Мотовилова, Е. Д. Петухович
Методика проведения тяговых испытаний на активированном топливе.....283

А. Н. Ожегов, В. В. Шаповалова
Особенности планирования энергосервисного контракта в сетях уличного освещения
на основе методики расчета размера экономии электроэнергии 289

И. Е. Папулова, А. А. Митяшина
Системный анализ пород древесины, используемых для паркета.....296

И. Е. Папулова, К. В. Онучина
Системный анализ пород древесины, применяемых для изготовления мебели.....303

В. С. Паскарь, О. А. Рублева
Обоснование методики проведения экспериментальных исследований
по разработке экологичных древесных прессовочных масс 313

С. А. Плотников, А. А. Шалаева
Методы литья магниевых сплавов в металлургическом центре АО «ВМП «АВИТЕК» 321

Е. С. Рублева, Н. А. Тарбеева
Проектирование шарнирного соединения для трансформируемых
мебельных изделий с использованием аддитивных технологий 328

О. А. Рублева, Н. Н. Демидов
Моделирование процесса прессования прямоугольных проушин
в заготовках из древесины сосны 333

Н. А. Смирнов, А. А. Минин, А. Н. Яковлев, А. Л. Флаксман
Влияние режимов импульсной лазерной сварки на прочность стыкового сварного шва 340

И. А. Соболева, А. А. Мезенцева
Концепция благоустройства территории ленточного парка
в районе Ежовского озерно-родникового комплекса
на территории муниципального образования «Город Киров» 345

Е. А. Солодянкина, А. Н. Беляев
Реализация безопасности труда в BIM-модели проектных работ.....353

Д. М. Суворов, В. М. Сущих, Т. Х. Содикзода
Оценка КПД ГТУ с энергетическим впрыском пара
с использованием котла-утилизатора 356

Н. А. Тарбеева, Е. С. Рублева
Основные дефекты и способы их предотвращения в изделиях
на основе древесины и эпоксидной смолы.....361

В. М. Холманских, Н. А. Васильева, А. С. Козлов
Оценка выбора ценовых категорий электроэнергии на примере
предприятий Кировской области и Республики Коми 369

А. Г. Шемпелев, Д. К. Поздеев, В. Ю. Тарасов
Расчетный анализ эффективности использования детандер-генераторной установки
на Кировской ТЭЦ-5.....377

А. В. Шестаков, Ф. В. Малюшин
Программная реализация математической модели рабочих характеристик
частотно-управляемого асинхронного двигателя при различных формах
кривой питающего напряжения.....385

Н. А. Шмакова, О. П. Шевченко
Моделирование спектра коэффициента поглощения смеси газов 393

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Пчелиная обножка – перспективный ингредиент функционального питания

А. А. Алалыкин [a], М. С. Соловьева [b], Р. М. Кутергина [c], Е. А. Мартинсон [d]
кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии [a]
студент группы БТм-1101-02-00 [b]
студент группы БТб-3101-03-00 [c]
кандидат технических наук, директор института биологии и биотехнологии [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: aa_alalykin@vyatsu.ru [a], usr21821@vyatsu.ru [b],
stud097824@vyatsu.ru [c], martinson@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Отсутствие полноценного питания существенно усиливает восприимчивость населения к неблагоприятным факторам: различным заболеваниям, стрессовым ситуациям, значительным умственным и физическим нагрузкам и др. Одним из эффективных решений данной проблемы является разработка и создание функциональных продуктов питания, направленных на поддержание здоровья благодаря содержанию сбалансированного комплекса питательных и наиболее значимых биологически активных веществ. Пчелиная обножка – естественный природный продукт, важнейшими компонентами которого являются белки, состоящие из аминокислот. Установление аминокислотного состава обножки является актуальной задачей.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке перспективности использования обножки в качестве ингредиента функционального питания.

В задачи исследования входило аналитическое определение содержания аминокислот в составе обножки и сопоставление полученных результатов с литературными данными для некоторых пчелопродуктов и животных белков.

В ходе исследования было определено содержание 16 аминокислот методом высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии.

Полученные показатели сопоставлены с литературными данными для пчелиного мёда, гомогената трутневого расплода и белка целого куриного яйца.

Установлено, что по исследованным показателям пчелиная обножка значительно превосходит пчелиный мёд, большей частью сопоставима с гомогенатом трутневого расплода и уступает яичному белку.

С учетом достаточно высокого содержания аминокислот, в особенности способствующих формированию и укреплению опорно-двигательной системы человека, пчелиная обножка может быть использована в качестве ингредиента функционального питания в большей степени для людей с повышенными физическими нагрузками.

Ключевые слова: пчелиная обножка, аминокислоты, функциональное питание, жидкостная хроматомасс-спектрометрия.

Введение. В современном мире постоянно возрастает количество неблагоприятных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье человека. К ним относятся различные заболевания, стрессовые ситуации, значительные умственные и физические нагрузки и др. При этом отсутствие полноценного

питания существенно усиливает восприимчивость населения к перечисленным факторам. Известно, что продукты питания не только обладают питательной ценностью, но и регулируют функции и биохимические реакции организма [1, с. 9]. Одним из эффективных решений данной проблемы является разработка и создание функциональных продуктов питания, направленных на поддержание здоровья благодаря содержанию сбалансированного комплекса питательных и наиболее значимых биологически активных веществ. В качестве одного из ингредиентов таких продуктов часто выступает хорошо известный пчелиный мёд. Разнообразие пчелопродуктов достаточно велико, однако большинство из них до сих пор не включаются в рецептуры наряду с мёдом. Цветочная пыльца, собранная пчелами, – пчелиная обножка (ПО) – является естественным природным продуктом. Она представляет собой совокупность питательных и биологически активных веществ растительного и животного происхождения [2, с. 327]. Химический состав ПО представлен широким спектром ценных биокомпонентов, важнейшими из которых являются белки, состоящие из аминокислот (АК). При этом качественный состав и соотношения АК во многом определяют ценность и функции белков, что необходимо учитывать при разработке функциональных продуктов питания. В связи с этим установление аминокислотного состава ПО является актуальной задачей.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке перспективности использования ПО в качестве ингредиента функционального питания.

В задачи исследования входило аналитическое определение содержания АК в составе ПО и сопоставление полученных результатов с литературными данными для некоторых пчелопродуктов и животных белков.

Методы исследования. Объектом исследования являлся образец пчелиной обложки, произведенный в крестьянском хозяйстве «Апис» Сунского района Кировской области.

Для определения содержания АК использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС). Метод является гибридным и объединяет независимые друг от друга процессы хроматографи-

ческого разделения и масс-спектрометрического анализа. Значение жидкостной хроматографии объясняется её способностью эффективно разделять большой круг органических веществ различной природы, включая термолабильные компоненты. Масс-спектрометрия – один из наиболее мощных и информативных методов исследования структуры органических соединений и анализа сложных веществ и их смесей. Это прямой метод, позволяющий непосредственно определять молекулярную массу, состав молекул и их фрагментов, их связь между собой, изучать механизмы фрагментации. Важнейшим достоинством метода является возможность определения следовых количеств веществ в сложных аналитических матрицах, к которым относятся биологические объекты. В случае определения аминокислот ВЭЖХ-МС/МС позволяет проводить анализ без предварительной дериватизации компонентов, непосредственно в неочищенных экстрактах и гидролизатах биологических образцов.

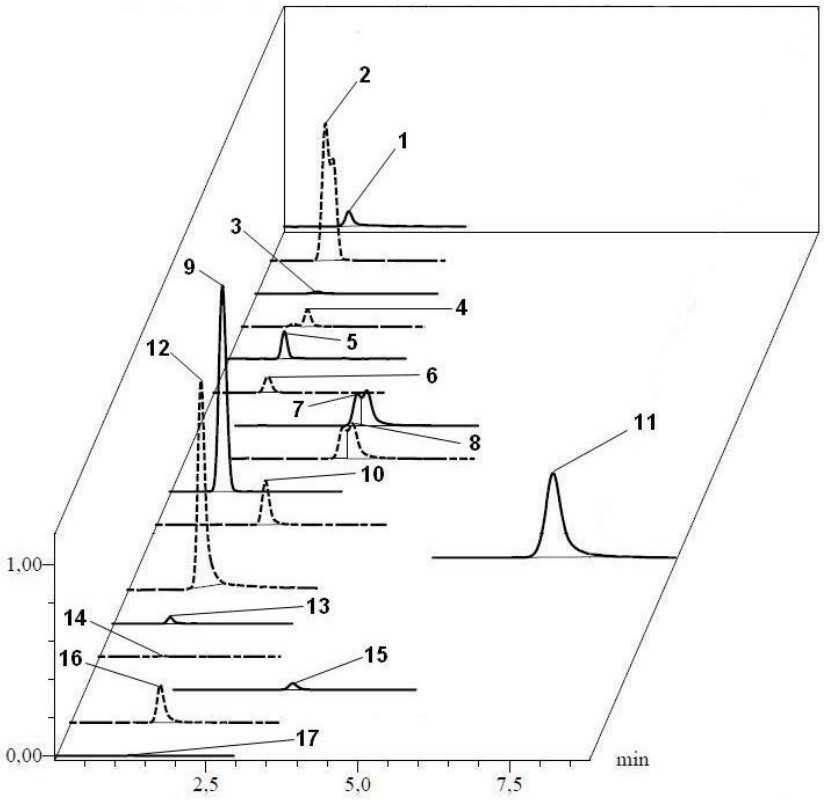
Для определения содержания АК точную навеску исследуемого образца, взвешенную в пределах 0,02–0,03 г, поместили в пробирку-автоклав для проведения гидролиза. К навеске добавили 3 мл 10%-й хлороводородной кислоты и после герметизации пробирку со смесью термостатировали при 110 °С в течение 24 часов. Гидролизат количественно перенесли в мерную колбу вместимостью 100 мл и довели объем водой до метки. Полученный раствор фильтровали через шприцевой полиамидный фильтр “Chromafil Xtra PA-20/25” с диаметром пор 0,2 мкм для последующего анализа.

Исследования проводили на тандемном жидкостном хроматомасс-спектрометре LCMS-8040 («Шимадзу», Япония) с хроматографической колонкой “Dr. Maisch Reprosil-Pur Basic C18” 100×2 мм×3 мкм и ионным источником типа «электроспрей». Ионизирующее напряжение 3,5 кВ. Коллизионный газ – аргон. Энергия коллизии 35 эВ. 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 3 мкл. Состав подвижной фазы: фаза А – 0,1%-й водный раствор муравьиной кислоты, фаза Б – ацетонитрил. Расход подвижной фазы 0,25 мл/мин. Режим элюирования: фаза

Б – 0% до 8 мин, 0% – 45% с 8 до 10 мин, 45% с 10 до 12 мин. Режим сбора данных MRM по заданным переходам m/z.

Последующую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения LabSolutions LCMS 5.86. Количественное определение АК осуществляли по методу внешнего стандарта с калибровкой прибора по стандартной смеси АК.

Результаты исследований, их обсуждение. На рисунке представлены масс-фрагментограммы, полученные при регистрации отдельных переходов m/z, соответствующих фрагментации псевдомолекулярных ионов $[M+H]^+$ определяемых АК.



Масс-фрагментограммы и пики аминокислот: 1 – аланин, 2 – аргинин, 3 – аспарагиновая кислота, 4 – глутаминовая кислота, 5 – глицин, 6 – гистидин, 7 – изолейцин, 8 – лейцин, 9 – лизин, 10 – метионин, 11 – фенилаланин, 12 – пролин, 13 – серин, 14 – треонин, 15 – тирозин, 16 – валин, 17 – цистин

Содержание АК в составе ПО, а также некоторые аналитические параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения содержания аминокислот в пчелиной обножке

Аминокислота	Переход m/z	Время удерживания, мин	Содержание, мг на 100 г
Аланин	90,10 → 44,10	1,02	109,40
Аргинин	175,10 → 70,10	0,96	237,22
Аспарагиновая кислота	134,10 → 73,95	1,02	45,86
Глутаминовая кислота	148,10 → 84,10	1,07	132,33
Глицин	75,80 → 30,10	0,98	292,11
Гистидин	156,10 → 110,10	0,94	214,66
Изолейцин	132,10 → 86,15	1,87	674,81
Лейцин	132,10 → 86,15	2,63	1558,65
Лизин	147,00 → 84,10	0,87	318,80
Метионин	150,10 → 56,10	1,50	164,66
Фенилаланин	166,10 → 120,10	6,71	743,99
Пролин	116,10 → 70,10	1,20	501,50
Серин	106,10 → 60,20	0,99	132,33
Треонин	120,10 → 74,00	1,04	47,37
Тирозин	182,10 → 136,25	3,46	271,05
Валин	118,10 → 72,05	1,42	476,69
Цистин	241,00 → 151,95	–	не обнаружен
Всего:			5921,43

Показатели содержания АК в исследованной ПО были сопоставлены с литературными данными по соответствующим показателям для других пчелопродуктов: мёда [2, с. 154] и гомогената трутневого расплода [3]. В качестве продукта сравнения, богатого белком животного происхождения, было выбрано куриное яйцо (целое) [4, с. 192]. Сравнение экспериментальных и литературных показателей приведено в табл. 2.

В ходе исследования было показано, что наибольшие содержания в пчелиной обножке приходятся на лейцин, изолейцин и фенилаланин. Все три АК являются незаменимыми. Две первые АК регулируют уровень глюкозы в крови, участвуют в процессе восстановления и роста мышечной и костной тканей, задействуются в синтезе гормона роста. Помимо этого изолейцин способствует повышению физической выносливости спортсменов. Фенилаланин служит предшественником в биосинтезе тирозина. Данные АК участвуют в наработке важнейших нейромедиаторов – адреналина, норадреналина и дофамина, обеспечивающих нормальное функционирование центральной и периферической нервной системы. По содержанию изолейцина и фенилаланина пчелиная об-

ножка сопоставима с животными белками яиц, а по содержанию изолейцина превосходит их в полтора раза и значительно превосходит представленные пчелопродукты. Некоторое преобладание наблюдается также в случае пролина – АК, необходимой для хрящевой ткани, кожи, суставов и позвонков. Однако наибольшее количество пролина отмечается в гомогенате трутневого расплода.

Таблица 2

Сравнение содержания некоторых аминокислот в продуктах

Аминокислота	Содержание, мг на 100 г			
	Пчелиная обножка	Пчелиный мёд	Гомогенат трутневого расплода	Куриное яйцо
Аланин	109,40	0,89	441	710
Аргинин	237,22	0,54	840	787
Аспарагиновая кислота	45,86	0,40	–	1229
Глутаминовая кислота	132,33	2,00	434	1773
Глицин	292,11	0,32	202	416
Гистидин	214,66	0,14	124	340
Изолейцин	674,81	0,48	238	597
Лейцин	1558,65	0,35	144	1081
Лизин	318,80	1,50	314	903
Метионин	164,66	0,12	134	424
Фенилаланин	743,99	13,60	165	652
Пролин	501,50	44,00	1067	396
Серин	132,33	1,00	196	928
Треонин	47,37	0,44	254	610
Тирозин	271,05	1,90	235	476
Валин	476,69	0,57	2,55	772

С учетом достаточно высокого содержания АК, в особенности способствующих формированию и укреплению опорно-двигательной системы человека, ПО может быть использована в качестве ингредиента функционального питания в большей степени для людей с повышенными физическими нагрузками.

Выводы. Определено содержание 16 аминокислот в составе пчелиной обножки с использованием метода высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии.

Полученные в ходе исследования показатели сопоставлены с литературными данными для пчелиного мёда, гомогената трутневого расплода и белка целого куриного яйца.

По исследованным показателям пчелиная обножка значительно превосходит пчелиный мёд, большей частью сопоставима с гомогенатом трутневого расплода и уступает яичному белку.

Таким образом, исследованная пчелиная обножка может рассматриваться в качестве перспективного ингредиента функционального питания.

Библиографический список

1. Функциональные продукты питания : учеб. пособие / И. В. Бобренева. СПб. : ИЦ Интермедия, 2012. 180 с.

2. Апитерапия / А. Е. Хомутов, Р. В. Гиноян, О. В. Лушникова и др. Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. 442 с.

3. Трутневый гомогенат. URL: https: //mellonella.ru/trutnevyi-gomogenat/ (дата обращения 05.03.2020).

4. Скурихин И. М., Волгарев М. Н. Химический состав пищевых продуктов : справочник. Книга 2. М. : Агропромиздат, 1987. 360 с.

Влияние скорости нагружения межмолекулярных связей на определяемую силу взаимодействия в системе «антиген-антитело» с использованием атомно-силовой микроскопии

В. С. Белозёров [a], Б. А. Ананченко [b], И. В. Конышев [c], А. А Бывалов[d]
аспирант [a]
кандидат химических наук, руководитель НОЦ «Нанотехнологии» [b]
кандидат биологических наук, инженер НОЦ «Нанотехнологии» [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. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одним из распространённых методов силовой спектроскопии, позволяющих производить оценку силовых характеристик взаимодействий между биологически активными молекулами. Понимание процессов, лежащих в основе межмолекулярных взаимодействий, во-первых, позволяет установить роль тех или иных молекул в адгезивности, например бактериальных клеток к эукариоцитам, и, во-вторых, позволяет изучить возможность влияния на силу взаимодействия, что может быть востребовано при разработке иммуно-биологических препаратов.

В данной работе рассматриваются методы функционализации АСМ-зонда препаратом конъюгата антимышиных антител, меченых флуоросцеинизотиоцианатом (FITC), с использованием бифункционализированного полиэтиленгликоля (ПЭГ) и подложки (слюды) препаратом мышиных антител, а также приводятся результаты оценки силовых характеристик взаимодействия «антиген-антитело» в зависимости от скорости нагружения (loading rate) межмолекулярной связи.

Цель работы − оценить влияние скорости нагружения межмолекулярной связи на определяемые силовые характеристики взаимодействия в модельной системе «антиген-антитело» с использованием атомно-силовой микроскопии.

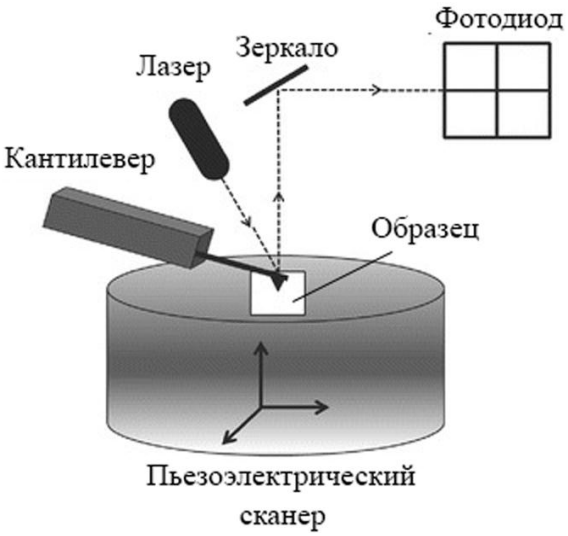
В результате проведенных исследований была установлена зависимость силы взаимодействия от скорости нагружения связи между молекулами, а также был произведен расчёт силы взаимодействия в состоянии равновесия. Данные, полученные в представленной работе, могут быть использованы для совершенствования методических подходов к оценке механизмов межмолекулярных взаимодействий в системе «лиганд – рецептор».

Ключевые слова: функционализация, силовая спектроскопия, адгезия, бионанотехнологии.

Введение. Для изучения взаимодействия биологически активных молекул в настоящее время используется несколько основных биофизических подходов: оптический пинцет, магнитная ловушка и атомно-силовая микроскопия. Из представленных методов силовой спектроскопии атомно-силовая микроскопия является наиболее распространённым методом для изучения биологических молекул. Минимальное деструктивное воздействие на образец, достаточно вы-

сокая чувствительность и автоматизация процесса получения данных позволяют за относительно небольшой промежуток времени получить значительный объём информации о силовых характеристиках взаимодействующих молекул. 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 [1].

Принципиальная схема устройства атомно-силового микроскопа представлена на рисунке.



Принципиальная схема устройства атомно-силового микроскопа [2]

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

Определяемая с помощью АСМ сила взаимодействия может зависеть от множества факторов, таких как температура, время контакта молекул, скорость нагружения межмолекулярных связей и др. [3] В данной работе рассматривается влияние скорости нагружения связи между молекулами на определяемую силу, а также оценивается возможность определения силы взаимодействия в равновесном состоянии (equilibrium force).

Цель исследования – оценить влияние скорости нагружения (loading rate) межмолекулярных связей на определяемую силу взаимодействия в модельной системе «антиген-антитело» с использованием атомно-силовой микроскопии.

Методы исследования. Оценка силовых характеристик производилась 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 ~0.06 нН/нм.

В модельной системе «антиген-антитело» использовались препарат мышиных антител одной из линий лабораторного изготовления в качестве антигена и конъюгат антимышиных антител, меченых FITC (Sigma-Aldrich, США). Благодаря чётко определенной структуре антител их использование в АСМ позволяет создать простую модельную систему взаимодействующих, предположительно единичных, молекул.

Покрытие поверхностей кантилевера и подложки (слюды) биологическими молекулами проводили в два этапа: модификация и функционализация. На стадии модификации производилось аминирование поверхностей кантилевера и слюды 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 конъюгат антимышиных антител с ФИТЦ [4]. Антиген (мышиные антитела) непосредственно связывали с аминогруппами на слюде с использованием EDC и NHS [5].

Определение сил разрыва связей между молекулами на атомно-силовом микроскопе осуществлялось в контактном режиме. Для оценки влияния скорости нагружения межмолекулярных связей были выбраны три скорости отведения образца от кантилевера: 1.0, 0.5 и 0.1 мкм/с, что соответствует значениям скорости нагружения 60, 30, 6 нН/с соответственно. Использование низких значений скоростей нагружения связи позволяет определить силовые характери-

стики взаимодействия в равновесном состоянии. Все измерения проводились в фосфатном буферном растворе.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты проведенного исследования представлены в виде средних значений силы первого и последнего разрывов связей, средней амплитуды всех разрывов и адгезии (работа по разрыву всех связей) (см. таблицу).

Зависимость силовых характеристик взаимодействия в системе «антиген-антитело» от скорости нагружения межмолекулярной связи ($X_{mean} \pm I_{99}$)

Скорость нагружения, нН/с	Амплитуда первого отрыва, нН	Амплитуда последнего отрыва, нН	Средняя амплитуда всех отрывов, нН	Работа адгезии, кв. ед.
60	0,994±0,127	0,767±0,103	0,844±0,115	0,059±0,010
30	0,913±0,058	0,619±0,042	0,799±0,055	0,052±0,006
6	0,678±0,045	0,457±0,032	0,593±0,046	0,023±0,003

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

Уменьшение скорости отведения образца от кантилевера, а соответственно, и уменьшение скорости нагружения межмолекулярной связи приводит к снижению как определяемой силы, так и работы, которую необходимо совершить для разрыва всех связей. Достоверные различия ($p \leq 0.01$) были установлены в группах сравнения «60 нН/с – 6 нН/с» и «30 нН/с – 6 нН/с». В группе сравнения «60 нН/с – 30 нН/с» наблюдается незначительное уменьшение силовых характеристик.

На основе общепринятой методики определения силы с использованием атомно-силовой микроскопии была рассчитана равновесная сила взаимодействия молекул F_{eq}, оказавшаяся равной 0.052 нН.

Выводы. В результате проведенных исследований была отработана методика функционализации поверхностей кантилевера и слюды препаратами антител. Была установлена зависимость определяемой силы взаимодействия от скорости нагружения межмолекулярной связи. Определена сила взаимодействия «антиген-антитело» в равновесном состоянии. Полученные данные могут быть использованы для количественного определения силовых характеристик

взаимодействия биологических молекул, а также «длины» их агломератов методом атомно-силовой микроскопии.

Библиографический список

1. 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 07.03.2020).

2. Mechanical properties of paraformaldehyde-treated individual cells investigated by atomic force microscopy and scanning ion conductance microscopy / S. Kim et al. // Nano Converg. 2017. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/ PMC5359366/ (accessed 07.03.2020).

3. Friddle R. W., Noy A., De Yoreo J. J. Interpreting the widespread nonlinear force spectra of intermolecular bonds // PNAS. 2012. Vol. 109. P. 13573–13578. URL: https://www.pnas.org/content/109/34/13573 (accessed 07.03.2020).

4. Gruber H. Functionalization of AFM tips with Acetal Linkers – JKU. Linz, 2013. P. 10. URL: https://www.jku.at/biophysics/content/e54633/e54706/e201881/ (accessed 07.03.2020).

5. Vashist S. K. Comparison of 1-Ethyl-3-(3-Dimethylaminopropyl) Carbodiimide Based Strategies to Crosslink Antibodies on Amine-Functionalized Platforms for Immunodiagnostic Applications // Diagnostics (Basel). 2012. Vol. 2(3). P. 23–33. URL: https://www.mdpi.com/2075-4418/2/3/23 (accessed 07.03.2020).

Мониторинг состояния двулетних культур сосны обыкновенной из саженцев с закрытой и открытой корневой системой

И. А. Коновалова [a], Е. В. Лелекова [b]
научный сотрудник, Центр компетенций «Использование биологических ресурсов» [a]
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
Центр компетенций «Использование биологических ресурсов» [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: S-dulcamara@yandex.ru [a], LelekovaEV1980@mail.ru [b]

Аннотация. В области лесовосстановления в регионах нашей страны все шире применяется перспективная в настоящее время технология создания лесных культур с помощью посадочного материала с закрытой корневой системой. Исследования в этой области приобретают все большую актуальность. Целью настоящей работы служит оценка состояния двулетних культур сосны обыкновенной, созданных однолетним посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой. Для реализации цели выделены критерии оценки растений, позволяющие дать характеристику их биометрических и морфологических параметров. Анализ результатов показал, что различия средних значений у растений в культурах, созданных посадочным материалом, выращенным по разным технологиям, незначительны. Густота посадки на данном этапе не влияет на рост и развитие саженцев с закрытой корневой системой. Увеличение значений ряда показателей у исследуемых растений более чем в 2–3 раза по сравнению с 2018 г. позволяет говорить об успешности эксперимента и возможности создавать лесные культуры в борах посадочным материалом с закрытыми корнями с биометрическими параметрами, не достигшими стандартных значений. Последнее значительно сокращает сроки и затраты на выращивание сеянцев.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесные культуры, ООПТ «Медведский бор», посадочный материал, закрытая корневая система.

Введение. В последнее время перед отраслью лесного хозяйства наиболее остро стоит проблема восстановления лесов на месте сплошных рубок. Следуя за опытом Скандинавских стран, занимающих ведущие мировые позиции в области лесовосстановления [1, 2], на территории нашей страны все больше отдается предпочтение созданию лесных культур с помощью посадочного материала, выращенного с закрытой корневой системой (ЗКС).

Согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25 марта 2019 г. № 188 «Об утверждении Правил лесовосстановления» в период с 2022 г. по 2025 г., не менее 20% площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления должно выполняться посадкой сеянцев, саженцев с ЗКС (п. 3). С 2025 г. доля таких площадей увеличится до 30% (п. 4), с 2030 г. – до 45% (п. 5).

Отдельного внимания с позиций лесовосстановления заслуживают особо охраняемые природные территории (ООПТ). В пределах нашего региона, по

данным Правительства Кировской области, их насчитывается не более 2,69% от общей площади. Особое место среди них занимают реликтовые сосновые леса ксеротермической эпохи послеледникового времени, расположенные на материковых песчаных дюнах в ООПТ «Медведский бор». Сохранять сосну наиболее продуктивной (южно-уральской) популяции на территории памятника природы при искусственном возобновлении рекомендовано сеянцами, выращенными из семян местной репродукции [3]. Поэтому в 2017 г. заложена серия экспериментов по восстановлению сосны обыкновенной и созданию на месте сплошных санитарных рубок в этом бору лесных культур с помощью полученного в ходе специальных исследований посадочного материала с ЗКС.

Актуальность подобных исследований, известных в Архангельской, Вологодской областях, Республике Карелия и ряде других регионов страны [4], очевидна. Они направлены на отработку технологии выращивания посадочного материала с ЗКС, создание лесных культур с последующим мониторингом. В Кировской области такая работа проводится впервые.

Объект настоящего исследования – двулетние лесные культуры сосны обыкновенной, созданные посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой (ОКС); предмет – биометрические и морфологические параметры растений. Цель исследования – оценить состояние двулетних культур сосны обыкновенной, созданных однолетним посадочным материалом с ЗКС и ОКС, на территории Медведского бора. Задачи: выделить критерии для оценки; оценить растения в культурах по заданным критериям; выяснить влияние технологии выращивания посадочного материала и густоты посадки (для ЗКС) на рост и развитие растений.

Методы исследования. Лесные культуры созданы в мае 2018 г. с помощью однолетнего посадочного материала, выращенного с ЗКС и ОКС. Растения с ЗКС, в отличие от сосен с открытыми корнями, на момент посадки не достигали стандартных параметров (диаметр корневой шейки не менее 2,0 мм, высота стволика не менее 12 см) согласно Правилам лесовосстановления (утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 июня 2016 г.

№ 375). Этот эксперимент был заложен по заказу ООО «Нолинская лесопромышленная компания» для определения приживаемости однолетних саженцев сосны обыкновенной в культурах с целью возможного сокращения сроков выращивания посадочного материала.

Растения с ЗКС высаживали в 55-м квартале 14-м выделе на территории Медведского бора в распаханные полосы с разной густотой: через 70 см и 100 см. Саженцы с ОКС размещали в другие полосы этого же участка с расстоянием между растениями не более 70 см. В сентябре проводили инвентаризацию растений с целью определения их приживаемости в культурах. Через год в конце вегетационного сезона мониторинговые мероприятия повторили. Для этого были заложены пробные площадки длиной 10 м через каждые 10 м вдоль распаханных полос. Всего было заложено 30 площадок (по 10 для каждой группы растений: с ЗКС при густоте посадки 70 см и 100 см и ОКС). Для оценки состояния саженцев разработали ряд критериев, отражающих биометрические показатели (высота растения, диаметр корневой шейки, длина последнего годового прироста); состояние хвои (желтая или бурая в процентах); наличие верхушечной почки и число пазушных почек вокруг неё; число боковых побегов; наличие перевершинивания и прямого стволика (см. таблицу). Прямой стволик, наличие перевершинивания и развитой верхушечной почки принимали за 100%, в ином случае – 0%. В промежутке от 0 до 100 отмечали процент желтой и бурой хвои. Статистическая обработка данных проводилась в программе Excel, где для выявления различий между группами применяли критерий Стьюдента (различия достоверны при $p < 0,05$).

Результаты исследований и их обсуждение. Высота растений в лесных культурах в среднем составила более 25 см, максимальные значения не превышали 50 см, минимальные – 12 см. Различия средних показателей по этому параметру между саженцами, выращенными по разным технологиям и с разной густотой посадки у ЗКС, не достоверны (см. таблицу).

Средние значения диаметра корневой шейки у растений с закрытыми и открытыми корнями не имеют существенных отличий и находятся в пределах

8–9 мм. По длине последнего годового прироста различия у саженцев с ЗКС и ОКС не достоверны; средние показатели не превышают 18,5–19 см.

Все исследуемые растения имеют разную степень ветвления: от одного бокового побега до 26; средние значения варьируют от 5,9±0,5 у саженцев с ОКС до 6,3±0,4 у особей с ЗКС.

Характеристика культур сосны обыкновенной

№ п/п	Признак	ЗКС (1 м)	ЗКС (0,7 м)	ОКС
1	Высота саженца, см	26,4±0,7	25,1±0,7	27,6±0,7
2	Диаметр корневой шейки, мм	8,6±0,2	8,8±0,2	9,1±0,3
3	Длина последнего годового прироста, см	18,8±0,6	19,1±0,6	18,5±0,6
4	Число боковых побегов, шт.	6,3±0,4	6,1±0,3	5,9±0,5
5	Наличие верхушечной почки, %	90	92	97,3
6	Число пазушных почек, шт.	4,8±0,2	5,1±0,1	4,9±0,2
7	Прямой стволик, %	100	100	100
8	Перевершинивание, %	2	5,1	1,3
9	Желтая и/или бурая хвоя, %	0	0	0

У 90% исследуемых растений к концу вегетационного сезона верхушечная почка развита и визуально просматривается. Наибольшими (97,3%) показателями по этому критерию обладают особи, выращенные с ОКС.

Вокруг верхушечной почки насчитывается от одной до 11 пазушных; средние значения располагаются в диапазоне 4,8–5,1 шт. Различия по этому признаку у саженцев разных групп достоверны, но незначительны.

Все растения имеют прямой стволик и зелёную хвою; перевершинивание отмечено не более чем у 5% исследуемых особей.

Анализ полученных результатов показал, что различия средних показателей у растений в культурах, созданных посадочным материалом, выращенным по разным технологиям, не существенны. Эти данные подтверждают литературные: в первые годы различия между саженцами с ЗКС и ОКС в росте и развитии незначительны [5; 6]. Густота посадки на данном этапе не влияет на биометрические показатели особей и их общее состояние.

При сравнении полученных результатов с данными инвентаризации лесных культур в конце вегетационного сезона 2018 г. [7] выявлено увеличение значений по ряду критериев: длины годового прироста и числа боковых побе-

гов – в 3,7 раза; высоты растений и диаметра корневой шейки – в 3,3 раза; числа пазушных почек на верхушке побега – в 2 раза. Это свидетельствует об успешном продуктивном росте и развитии сосны обыкновенной в лесных культурах, созданных посадочным материалом с закрытыми и открытыми корневыми системами.

Выводы:

1. Выделено 9 критериев для оценки состояния лесных культур с учётом биометрических параметров и морфологических признаков растений.

2. В конце вегетационного сезона 2019 г. проведена оценка особей сосны обыкновенной с ЗКС и ОКС в составе двулетних лесных культур по выделенным критериям.

3. Выяснено, что на данном этапе развития особей технология создания посадочного материала (с ЗКС и ОКС) и густота посадки (70 см и 100 см) не оказывают значительного влияния на рост и развитие лесных культур. Результаты проведённых мониторинговых мероприятий позволяют предполагать целесообразность создания культур сосны обыкновенной на территории бора однолетним посадочным материалом, даже не достигшим стандартных параметров. Это существенно сокращает сроки выращивания сеянцев и снижает затраты, связанные с этим процессом.

Библиографический список

1. Граник А. М., Крук Н. К. Разработка новых приемов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. 2015. № 1. С. 124–127.

2. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии / А. И. Соколов, В. А. Харитонов, А. Н. Пеккоев, Т. И. Кривенко // Лесной журнал. 2015. № 6. С. 46–56.

3. Савиных Н. П., Пересторонина О. Н., Шабалкина С. В. Проблемы сохранения биоразнообразия при искусственном возобновлении в сосняках // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению : сб. ст. по материалам Международной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета. Тверь : Тверской государственный университет, 2017. С. 353–356.

4. Бобушкина С. В. Интенсивность роста и развития сеянцев сосны с закрытой корневой системой при разных режимах выращивания для лесовосстановления в Архангельской области : автореф. дис. … канд. сельскохоз. наук: 06.03.01. Архангельск, 2014. 23 с.

5. Самосудов А. Е. Влияние технологий выращивания посадочного материала в питомнике на приживаемость и рост культур ели и сосны в условиях Марий Эл : автореф. дис. … канд. сельскохоз. наук: 06.03.01. Йошкар-Ола, 2004. 22 с.

6. Гаврилова О. И., Юрьева А. Л. Рост лесных культур сосны в условиях юга Карелии // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2005. № 5. С. 23–30.

7. Коновалова И. А., Лелекова Е. В., Шаклеина М. Н. Оценка состояния однолетних культур сосны обыкновенной в ООПТ «Медведский бор» // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : сб. ст. по материалам IV научно-технической конференции. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С. 120–123.

Состояние отдельных насаждений ели колючей (*Picea pungens* f. *glauca* Beissn.) в г. Кирове

О. Н. Пересторонина [a], С. В. Шабалкина [b]
кандидат биологических наук, заведующий кафедрой биологии и методики обучении биологии [a]
кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и методики обучении биологии [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr11789@vyatsu.ru [a], usr11855@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Зелёные насаждения в городе – неотъемлемый компонент урбоэкосистемы – требуют постоянных наблюдений за их состоянием для разработки программ по мониторингу, поддержанию в жизнеспособном, безаварийном и декоративном виде. В статье приведены результаты обследования и оценки насаждений ели колючей (*Picea pungens* f. *glauca* Beissn.) у здания администрации г. Кирова. Для оценки жизненного состояния деревьев в апреле 2018 г. проведены эколого-анатомические и биометрические исследования. У каждой особи определяли длину приростов 2016–2017 гг.; процент зелёной хвои и с изменённой окраской на приросте 2017 г.; площадь (%) хвои, занятую повреждением; наличие и расположение отмерших ветвей; продолжительность жизни хвои; охвоенность кроны (%). Изученные деревья были в ослабленном и пограничном состоянии, качественная оценка удовлетворительная. В мезофилле красно-бурой хвои отмечены гифы паразитарных грибов. Результаты исследования доведены до сведения специалистов Управления благоустройства и транспорта г. Кирова. Рекомендуется продолжить наблюдение за состоянием этих зелёных насаждений.

Ключевые слова: зелёные насаждения, ель колючая, *Picea pungens* f. *glauca* Beissn., жизненное состояние.

Введение. Неотъемлемым компонентом системы жизнеобеспечения городов являются зелёные насаждения. Они подвергаются воздействию абиотических, биотических и антропогенных факторов, что вызывает серьёзные изменения в их состоянии [1, с. 66]. В связи с этим особенно актуальны задачи обследования, оценки и мониторинга существующих зелёных насаждений для обеспечения их полноценного развития, а также для создания новых посадок, устойчивых к нагрузкам и отвечающих высоким эстетическим требованиям.

В конце сентября 2010 г. у здания администрации г. Кирова было посажено шесть елей колючих (*Picea pungens* f. *glauca* Beissn.) сорта «Эдем», который выбран неслучайно. Исходя из комментариев специалистов Экологического фонда г. Кирова следовало, что они обладают высокой зимостойкостью, устойчивы к дыму и копоти, являются медленнорастущими, но долгоживущими деревьями: в возрасте 10 лет достигают высоты 1,8 м, в 30 лет – не более 7 м, общая продолжительность жизни около 100 лет [2]. За восемь месяцев с

момента посадки деревья подросли всего на 10–12 см, что обеспокоило кировчан. Специалисты Экологического фонда пояснили, что «деревья хвойных пород после перевозки и пересадки адаптируются к новым условиям произрастания в течение двух-трех лет. Поэтому годовой прирост у них в этОт период значительно снижен» [2].

Однако в 2016 г. жители г. Кирова заметили покраснение хвои елей. Как рассказали специалисты заповедника «Нургуш», это может свидетельствовать о болезни: «Эта зима была очень морозной, к тому же недавно тоже было похолодание. Теплолюбивые голубые ели таким образом “отреагировали” на погоду. Однако хвоя может восстановиться» [3]. Тем не менее внешний облик молодых елей становится все непригляднее. В связи с этим по просьбе начальника Управления благоустройства и транспорта в апреле 2018 г. проведены обследование и оценка насаждений ели колючей у здания администрации г. Кирова.

Методы исследования. При оценке состояния деревьев руководствовались шкалой категорий состояния деревьев [4]. Кроме того, у каждой особи оценили следующие признаки: длины приростов 2016 г. и 2017 г. (по трём побегам); процент зелёной хвои на приросте 2017 г.; процент хвои с изменённой окраской на приросте 2017 г.; площадь (%) хвои, занятая повреждением; наличие и расположение отмерших ветвей; продолжительность жизни хвои; охвоенность кроны (%).

Для оценки возможности восстановления хвои с изменённой окраской изучили анатомическое строение зелёной и повреждённой хвои 2016 г. Для подтверждения представляемых данных фотографировали целостные деревья и отдельные структуры. По совокупности описанных признаков давали качественную характеристику состоянию дерева: хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате изучения насаждений ели колючей была дана характеристика каждого дерева, расположенного возле здания администрации г. Кирова в направлении от ул. Воровского к Театральной площади (см. таблицу, рис. 1).

Оценка состояния особей ели колючей у здания администрации г. Кирова

Параметр/номер дерева	1	2	3	4	5	6
Длина прироста 2017 г., см*	6,5±1,3 5,5–8,0	11,7±1,9 9,5–13,0	11,3±3,9 7,0–14,5	8,5±2,8 6,0–11,5	11,8±1,6 10,0–13,0 Приросты побегов с южной стороны	12,8±2,1 10,5–14,5
Длина прироста 2016 г., см*	15,3±2,9 12,0–17,5	19,0±2,0 17,0–21,0	19,2±1,0 18,0–19,5	13,7±2,3 11,5–16,0	19,3±1,5 18,0–21,0	16,0±3,0 13,0–19,0
Процент (%) зелёной хвои на приросте 2017 г.	80–100	95 Не везде есть приросты	90 Буреет верхушка	90, Не все почки 2016 г. развернулись	90, живые почки на побегах, расположенных с южной стороны	90
Процент (%) хвои с изменённой окраской на приросте 2017 г.	Единично-желтая	5–10	10–15	5–10, белые точки по хвое, верхушки буреют	10	10
Площадь (%) хвои, занятая повреждением (2016 г.)	Есть бурая	От 0 до 100	От 5 до 90	Хвоя опала, у оставшейся хвои площадь повреждения От 0 до 3	Хвоя опала, у оставшейся хвои площадь повреждения От 0 до 5	От 0 до 100
Наличие и расположение отмерших ветвей	Единичные отмершие приросты и верхушечные почки боковых побегов I порядка	Есть много отмерших приростов и верхушечных почек боковых побегов I порядка	Есть много отмерших приростов и верхушечных почек боковых побегов I порядка	Есть отмершие приросты и верхушечные почки боковых побегов I порядка	С северной стороны много отмерших приростов и верхушечных почек боковых побегов I порядка	Равномерно по сторонам, верхушечные почки развернулись у боковых побегов I порядка, у побегов II порядка не реализованы
Продолжительность жизни хвои 2016 г. – опадает	От 1 до 5–7 лет	От 1 до 2 прошлогодние отмершие	От 1 до 3–4 лет	От 1 до 5 лет	От 1 до 5 лет	От 1 до 5 лет

Охвоенность кроны (%) с нарушением распределения фитомассы хвои по высоте кроны	90 % – зеленая хвоя	70 %– бурая хвоя, 5 % – зелёная	70% – бурая хвоя, 10% – зеленая	75–80% – бурая хвоя 40% – зелёная	70% – бурая хвоя, 35% – зелёная	85% – бурая хвоя, 40% – зелёная
Категория состояния дерева	Ослабленное	Пограничное между сильно ослабленным и усыхающим	Пограничное между сильно ослабленным и усыхающим	Пограничное между сильно ослабленным и усыхающим	Пограничное между сильно ослабленным и усыхающим	Пограничное между сильно ослабленным и усыхающим
Качественное состояние дерева	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное

* – в числителе – среднее арифметическое значение ± стандартное отклонение; в знаменателе – диапазон значений.

Таким образом, наименее повреждено первое дерево (рис. 1, *А1*), несмотря на самые маленькие приросты 2017 г., остальные растения имеют от 70 до 85 % бурой хвои в составе кроны. Короткие приросты 2017 г., наличие отмерших верхушечных и пазушных почек (рис. 1, *Б*) боковых побегов свидетельствуют о прекращении нарастания, что не способствует формированию равносторонней кроны. В результате деревья утрачивают свою декоративность. Это демонстрирует также небольшая длительность жизни хвои, присутствие оголённых приростов, большой процент бурой хвои в кроне, «ведьмины метлы».

Изучение на поперечном срезе анатомического строения хвои приростов 2016 г. у первого дерева показало следующее. Хвоя зелёная, живая (рис. 2), содержит клетки мезофилла с большим количеством хлоропластов. Красно-бурые хвоинки погибшие; клетки мезофилла с утолщенными оболочками и отмершим протопластом; в отдельных клетках отмечены включения; встречаются гифы паразитарных грибов, пронизывающие мезофилл. Устьица эпидермы закупорены. Сравнительно-анатомическое исследование свидетельствует о невозможности восстановления побуревшей хвои из-за отмирания протопласта.

Рис. 1. Внешний вид обследованных деревьев (А) и продольные срезы верхушечных почек (Б): 1–6 – номера особей (соответствуют номерам в таблице 1); 7 – продольный срез повреждённой почки; 8 – продольный срез здоровой почки

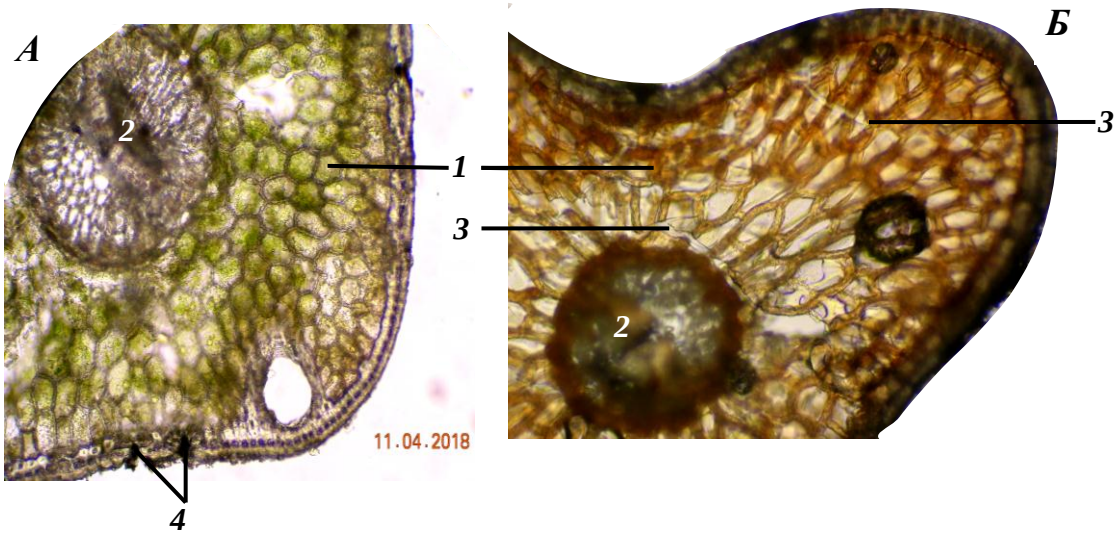


Рис. 2. Анатомическое строение зеленой (А) и красно-бурой (Б) хвои: 1 – мезофилл; 2 – проводящий пучок; 3 – мицелий; 4 – закупоренные устьица

Выводы. Пять из шести обследованных деревьев потеряли свою декоративность, и восстановить её не представляется возможным из-за прекращения моноподиального нарастания боковых осей вследствие повреждения верхушечных почек. Крона большинства голосеменных растений выглядит эстетично только тогда, когда нарастание происходит равномерно по всему периметру. Воздействие неблагоприятных факторов 2015–2016 гг. приводит к асимметричному формированию кроны на разной высоте. Несмотря на наличие живой зелёной хвои на приростах 2019 г. и вполне удовлетворительное состояние, асимметричность кроны сохраняется. Необходимы дальнейшие наблюдения за состоянием этих насаждений ели колючей.

Библиографический список

1. Самохвалов К. В., Рысин С. Л. Видовой состав деревьев в зеленых насаждениях города Чебоксары // Лесохозяйственная информация: электрон. сетевой журн. 2017. № 4. С. 65–72.

2. Декоративные ели у Кировской администрации не адаптировались. URL: http://kirov.bezformata.ru/listnews/dekorativnie-eli-u-kirovskoj-administratcii/2840775 (дата обращения 05.04.2018).

3. Коробейникова А. Голубые ели, купленные за бюджетные деньги, не выдержали холодов. URL: http://kirov.bezformata.ru/listnews/golubie-eli-kuplennie-za-byudzhetnie/56832824/ (дата обращения 05.04.2018).

4. Постановление Правительства Российской Федерации От 20.05.2017 г. № 607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах».

Характеристика листопадных деревьев Ботанического сада ВятГУ

Е. М. Толмачева [a], Е. А. Домнина [b], В. А. Езимов [c]
студент группы Бм-2102-51-00 [a]
кандидат биологических наук, с. н. с. центра компетенций
«Использование биологических ресурсов» [b]
директор Ботанического сада [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: stud108655@vyatsu.ru [a], usr11493@vyatsu.ru [b], va_ezimov@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Ботанические сады имеют научное, прикладное и образовательное значение. Непременный, неотъемлемый элемент ботанических садов – коллекции растений, изучение которых является актуальным.

Цель исследования – инвентаризация листопадных деревьев Ботанического сада ВятГУ.

На основе имеющегося в Ботаническом саду списка видов деревьев и кустарников был составлен список листопадных древесных растений, разработан план описания.

Разнообразие листопадных деревьев в Ботаническом саду представлено 64 видами из 19 семейств. Анализ экологических групп показал, что по отношению к свету преобладают сциогелиофиты – 38 видов; по отношению к влаге – мезофиты – 53 вида; по отношению к общему богатству почвы необходимыми элементами – мезотрофы – 33 вида. По отношению к температуре все деревья соответствуют экологической группе микротермы.

В Ботаническом саду ВятГУ листопадные деревья обладают различными декоративными качествами. Сведения об экологических группах и декоративных качествах деревьев позволяют осуществлять правильный уход, группировку растений и играют важную роль в реализации образовательно-просветительской функции.

Ключевые слова: ботанический сад, листопадные деревья, виды, экологические группы, декоративные качества.

Введение. Ботанические сады занимают особое место среди научных и научно-просветительских ботанических учреждений. Своеобразие ботанических садов заключается прежде всего в том, что независимо от профиля и конкретных задач, которые они ставят перед собой, непременным, неотъемлемым их элементом всегда являются коллекции растений [1, с. 281]. Они имеют научное, прикладное и образовательное значение.

В Ботаническом саду Вятского государственного университета (ВятГУ) наряду с другими коллекциями находится коллекция древесных растений – дендрарий, изучение которого является актуальным.

Цель исследования – инвентаризация листопадных деревьев Ботанического сада ВятГУ.

Задачи исследования: составление списка листопадных деревьев, характеристика их систематического положения, экологических групп, декоративных качеств и анализ полученных результатов.

Объекты и методы. В коллекциях и экспозициях Ботанического сада ВятГУ, по данным на 1 января 2019 г., насчитывается 514 видов, форм, разновидностей древесных растений. На основе имеющегося в Ботаническом саду списка видов деревьев и кустарников был составлен список листопадных деревьев, разработан план описания, включающий в себя: русское и латинское название, синонимы, систематическое положение, географическое распространение, отношение к экологическим факторам, морфологическое описание, биологические особенности, значение, декоративные качества.

Результаты и обсуждение. Разнообразие листопадных деревьев, произрастающих на территории Ботанического сада ВятГУ, представлено 64 видами из 19 семейств (рис. 1).

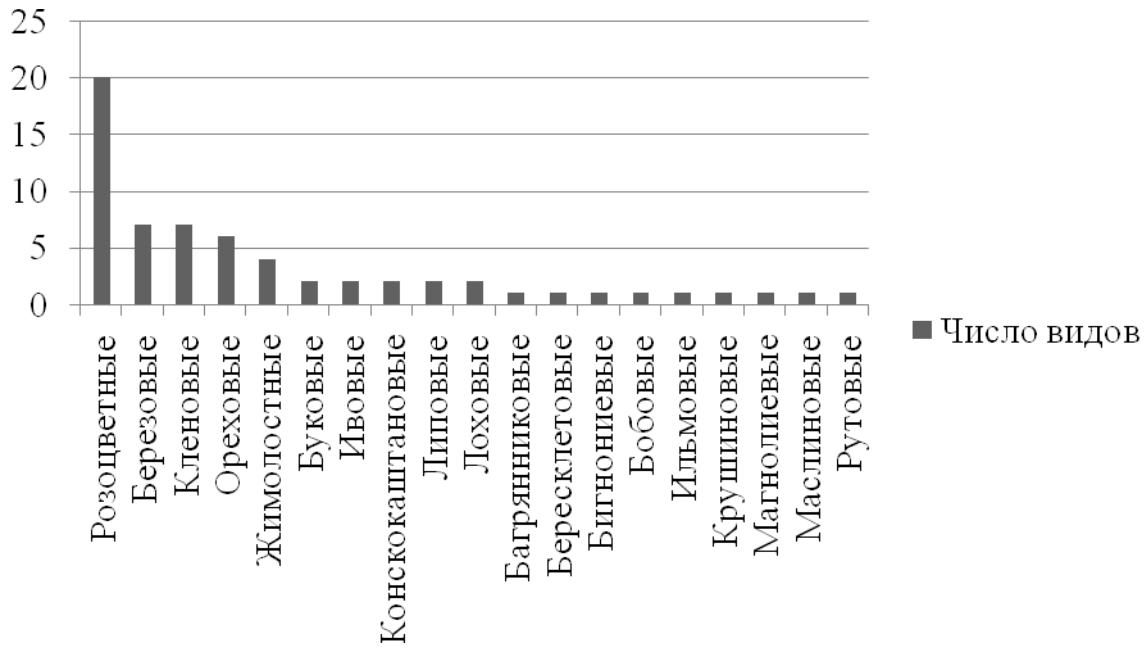


Рис. 1. Распределение по семействам видов листопадных деревьев, произрастающих в Ботаническом саду ВятГУ

Наиболее многочисленными семействами по числу видов являются Розоцветные (Rosaceae) – 20 видов, Березовые (Betulaceae) – 7 видов, Кленовые

(Aceraceae) – 7 видов и Ореховые (Juglandaceae) – 6 видов. В процентном соотношении доля видов семейства от общего числа составляет 31,25%, 10,94%, 10,94% и 9,38% соответственно.

Эти деревья произрастают в Северной Америке, Западной, Центральной и Южной Европе, Западной, Средней и Восточной Азии, на территории Европейской части России, Кавказе, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Китае, Корее и Японии в лесах различного состава (лиственные, смешанные и др.) и места произрастания (горные, пойменные и др.); на опушках и полянах; в зарослях кустарников; по берегам рек и водоемов; на болотах и болотистых участках.

Анализ экологических групп по отношению к свету показал, что в Ботаническом саду ВятГУ имеются гелиофиты и сциогелиофиты, что свидетельствует о произрастании деревьев на открытых и полуоткрытых пространствах. Группа гелиофитов насчитывает 26 видов (41%), сциогелиофитов – 38 видов (59%) (рис. 2). Примерами растений гелиофитов являются береза повислая (*Betula pendula* Roth), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.); сциогелиофитов – багрянник японский (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.).

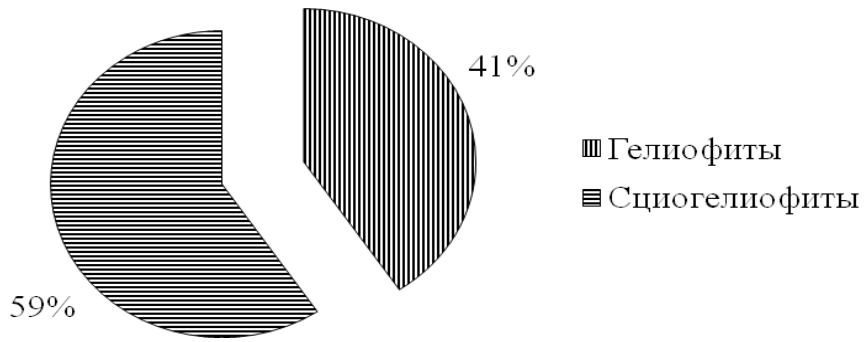


Рис. 2. Соотношение экологических групп деревьев Ботанического сада ВятГУ по отношению к свету

По отношению к влаге среди листопадных деревьев встречаются 4 экологические группы: группа мезофитов которая насчитывает 53 вида (83%), гигромезофитов – 6 видов (9%), гигрофитов – 4 вида (6%) и мезоксерофитов 1 вид

(2%) (рис. 3). Следовательно, преимущественно на территории сада произрастают листопадные деревья, требующие средних условий увлажнения. Мезофитами являются береза вишневая (*Betula lenta* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.); гигромезофитами – тополь лавролистный (*Populus laurifolia* Ldb.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Max.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.); гигрофитами – бузина Зибольда (*Sambucus sieboldiana* (Mlq.) Schwer.), тополь белый (*Populus alba* L.); мезоксерофитами – вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.).

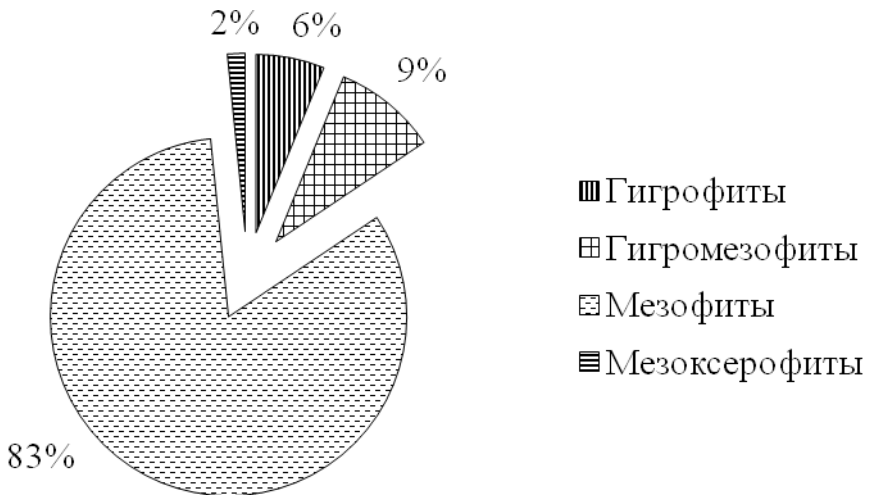


Рис. 3. Соотношение экологических группы деревьев Ботанического сада ВятГУ по отношению к влаге

Все изученные виды приспособлены к прохладному лету и продолжительной морозной зиме, что соответствует экологической группе микротермы.

По отношению к общему богатству почвы необходимыми элементами листопадные деревья сада делятся на четыре группы: эутрофы (растения, распространенные на плодородных почвах), эумезотрофы (промежуточная группа между эутрофами и мезотрофами), мезотрофы (растения, обитающие на почвах с умеренным содержанием элементов минерального питания) и олиготрофы (растения, довольствующиеся небольшим количеством питательных веществ). Группа эутрофов насчитывает 21 вид (32%), эумезотрофов 1 вид (2%), мезо-

трофов 33 вида (52%) и олиготрофов 9 видов (14%) (рис. 4). Примерами растений эутрофов являются лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), катальпа великолепная (*Catalpa speciosa* Warder ex Engelm.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), клен колосистый (*Acer spicatum* Lam.); эумезотрофов – черемуха обыкновенная; мезотрофов – береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos* Scop.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.); олиготрофов – тополь лавролистный (*Populus laurifolia* Ldb.), клен красный (*Acer rubrum* L.), лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh.).

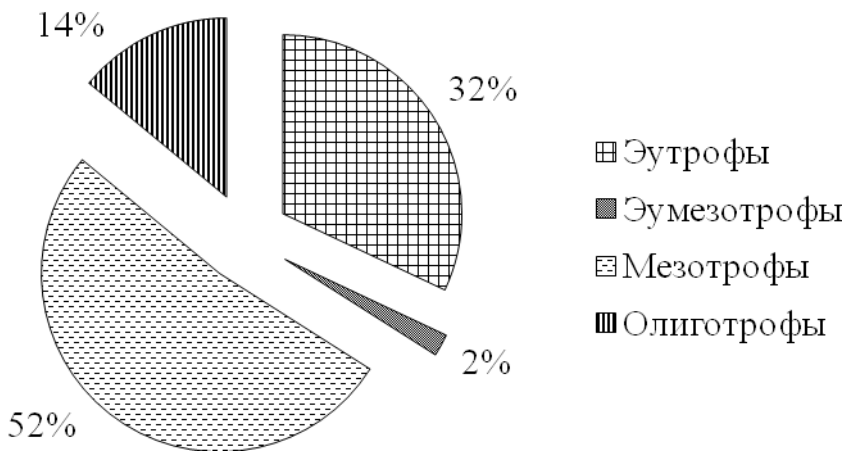


Рис. 4. Соотношение экологических группы деревьев Ботанического сада ВятГУ по отношению к общему богатству почвы

Одно из наиболее видимых декоративных качеств деревьев – это форма кроны [2]. Листопадные деревья, произрастающие в Ботаническом саду, обладают округлой, шатровидной, широкоокруглой, широкояйцевидной, пирамидальной, широкоцилиндрической, шаровидной, широкоовальной и ширококонусовидной формой кроны.

Выводы. Таким образом, в результате исследования был составлен список листопадных деревьев Ботанического сада ВятГУ, содержащий 64 вида из 19 семейств. Наиболее многочисленными семействами по числу видов являются Розоцветные (Rosaceae), Березовые (Betulaceae), Кленовые (Aceraceae) и Ореховые (Juglandaceae). Анализ экологических групп показал, что по отноше-

нию к свету преобладают сциогелиофиты – 38 видов; по отношению к влаге – мезофиты – 53 вида; по отношению к общему богатству почвы необходимыми элементами – мезотрофы – 33 вида. По отношению к температуре все деревья соответствуют экологической группе микротермы.

В Ботаническом саду ВятГУ листопадные деревья обладают округлой, шатровидной, широкоокруглой формой кроны. Сведения об экологических группах и декоративных качествах листопадных деревьев позволяют осуществлять правильный уход, группировку растений и играют важную роль в реализации образовательно-просветительской функции Ботанического сада ВятГУ.

Библиографический список

1. Валицкая Г. С., Пузанкевич Е. Г. Новые тематические экспозиции Центрального ботанического сада НАН Беларуси // Цветоводство: история, теория, практика : сб. ст. по материалам VII междунар. науч. конф. Минск : Конфидо, 2016. С. 260–263.

2. Колесников А. И. Декоративная дендрология. М. : Лесная промышленность, 1974. 704 с.

Выбор оптимальной питательной среды для стрептомицетов – продуцентов биофунгицидов

К. С. Устюгова [a], И. Г. Широких [b]
студент группы Бб-4101 [a]
доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: ksyusha.ust8@mail.ru [a], irgenal@mail.ru [b]

Аннотация. Борьба с фитопатогенными грибами является важной задачей сельского хозяйства. Стрептомицеты и их метаболиты являются интересным вариантом борьбы с фитопатогенами. В данной работе была подобрана оптимальная среда для культивирования стрептомицетов – продуцентов биофунгицидов на примере двух штаммов: *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 и *Streptomyces castelarensi* 8Al-3. Сравнивали четыре жидкие питательные среды: Беннета, овсяную, Чапека с крахмалом и картофельную. Антагонистическую активность культуральной жидкости стрептомицетов проверяли на трех тест-культурах фитопатогенных грибов: *Alternaria* sp., *Fusarium culmorum* и *Fusarium proliferatum*. На основании полученных данных по накоплению биомассы в средах различного состава и проявлению антифунгального действия в отношении тест-культур фитопатогенов была установлена оптимальная среда для продукции антифунгальных метаболитов каждым из исследованных штаммов.

Ключевые слова: стрептомицеты, культивирование, биофунгициды.

Введение. В последнее время было проведено много исследований по использованию продуктов микробного антагонизма для борьбы с болезнями, вызываемыми патогенными бактериями и грибами, содержащимися в почве, в попытке заменить существующие методы химического контроля и избежать широкого применения пестицидов, применение которых часто имеет множество негативных последствий. В сельском хозяйстве микроорганизмы, способствующие росту растений и биоконтролю фитопатогенов, стали безопасной альтернативой химическим пестицидам. *Streptomyces* sp., и их метаболиты могут иметь большой потенциал в качестве агентов для борьбы с различными грибковыми и бактериальными заболеваниями растений [1]. Стрептомицеты являются неотъемлемым компонентом ризосферных микробных сообществ и эффективными колонизаторами тканей растений, от корней до надземных частей. Они активно продуцируют антибиотики и другие, в т. ч. летучие, органические соединения с противомикробным действием, которые могут использоваться в посевах сельскохозяйственных культур в качестве агентов биоконтроля [2].

Несмотря на большой метаболический потенциал стрептомицетов, в настоящее время существует не так много препаратов на основе мицелиальных прокариот и их метаболитов.

Цель данной работы – выявить оптимальную среду для культивирования перспективных культур стрептомицетов с антифунгальной активностью.

Задачи:

1. Оценить накопление биомассы штаммами *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 и *Streptomyces castelarensi* 8Al-3 в питательных средах различного состава.

2. Оценить продукцию антифунгальных метаболитов штаммами *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 и *Streptomyces castelarensi* 8Al-3 в питательных средах различного состава.

3. На основе полученных данных о накоплении биомассы и продукции антифунгальных метаболитов выявить оптимальную среду для культивирования исследуемых штаммов стрептомицетов.

Методы исследования. Объектом исследования служили предполагаемые продуценты биофунгицидов – штаммы *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 и *Streptomyces castelarensi* 8Al-3 из коллекции ФАНЦ Северо-Востока. В качестве тест-культур использовали штаммы фитопатогенных микромицетов *Fusarium culmorum*, *Alternaria* sp. и *Fusarium proliferatum*. В работе использовали следующие жидкие питательные среды: Беннета, Чапека с крахмалом, картофельную и овсяную [3]. Питательные среды разливали в колбы объемом 250 мл по 50 мл в каждую. Посев в колбы осуществляли двумя агаровыми блоками, вырезанными из газонных культур стрептомицетов, выращенных на овсяном агаре в течение 8 суток при 28 °С. Культивировали на качалке при 120 об/мин в течение 6 суток. На каждой из сред учитывали накопление мицелиальной биомассы бактерий и антифунгальную активность культуральной жидкости. Для определения биомассы заранее взвешивали бумажные фильтры, предварительно прогретые при 103 °С в до постоянной массы в сухожаровом шкафу. По окончании культивирования на различных по составу средах биомассу стрептомицетов отделяли от культуральной жидкости фильтрацией через бумажный фильтр. По-

сле того как вся жидкость профильтровалась, фильтры с биомассой снова высушивали в сухожаровом шкафу до постоянного веса. Накопление биомассы каждой культурой определяли по разнице масс фильтра с биомассой бактерий и фильтра без биомассы.

Определение антифунгальной активности исследуемых штаммов проводили методом диффузии в агар [4]. Для этого на агаризованную среду Чапека в центр чашки помещали агаровый блочек с мицелием фитопатогенного гриба. По окружности чашки, раскладывали стерильные бумажные диски, на которые асептически раскапывали культуральную жидкость стрептомицетов. Каждый опыт проводили в трех повторностях. Чашки с посевами инкубировали в термостате при 28 °С. Фунгицидную активность определяли по величине зон задержки роста гриба. Статистическую обработку проводили стандартными методами.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения биомассы *S. castelarensi* 8Al-3 получились следующие: на среде Чапека с крахмалом получилось наибольшее количество биомассы (0,3432±0,0994 г), на овсяной среде биомасса стрептомицетов имеет среднее значение (0,1434±0,0177 г), самое низкое значение биомассы на среде Беннета (0,0722±0,0016 г) и картофельной среде (0,0611±0,0074 г). Данные результаты представлены на рис. 1.

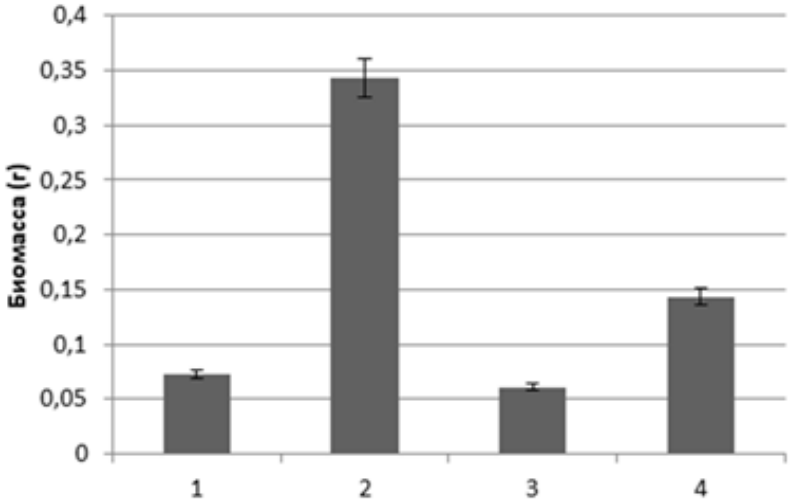


Рис. 1. Изменение биомассы *Streptomyces castelarensi* 8Al-3 при выращивании в течение 6 суток на качалке в жидких средах различного состава. Питательные среды: 1 – Беннета; 2 – Чапека с крахмалом; 3 – картофельная; 4 – овсяная

Результаты определения биомассы *S. alfalfae* 6 Из-12 следующие: самый большой выход биомассы (0,4508±0,0361 г) на среде Чапека с крахмалом. На овсяной среде накопление биомассы меньше (0,1507±0,0116 г), чем на среде Чапека, и выше значения биомассы на среде Беннета (0,0671±0,0119 г). Самое низкое значение биомассы на картофельной среде (0,0954±0,0349 г). Данные результаты представлены на рис. 2.

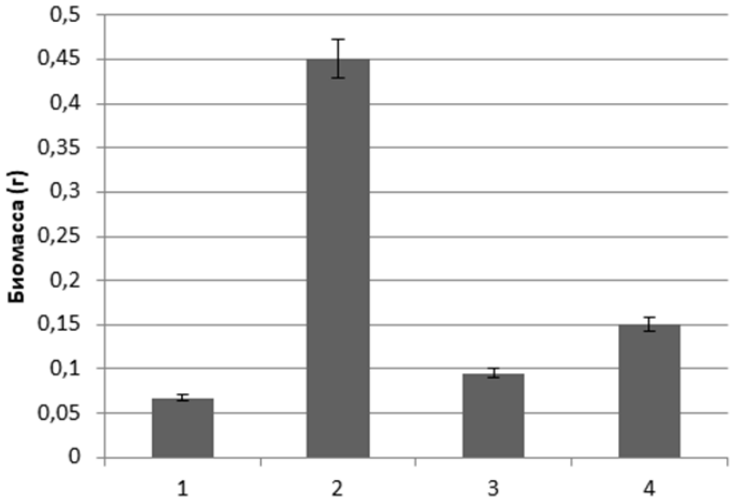


Рис. 2. Изменение биомассы *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 при выращивании в течение 6 суток на качалке в жидких средах различного состава: 1 – Беннета; 2 – Чапека с крахмалом; 3 – картофельная; 4 – овсяная

Результаты антифунгального действия культуральной жидкости (КЖ): *S. alfalfae* 6 Из-12: полное отсутствие фунгицидного дейсвия наблюдалось по отношению к *F. culmorum*. Отсутствие антифунгальной активности к *F. proliferatum* наблюдали у КЖ стрептомицетов, выращенных на среде Чапека с крахмалом. Наибольший фунгицидный эффект, оцененный как три условные единицы (ус. ед.) – сильное подавление роста гриба, был обнаружен по отношению к *Alternaria* sp. у КЖ, полученной в процессе роста стрептомицетов на средах: овсяной, картофельной и Чапека с крахмалом. Умеренный фунгицидный эффект (2 ус. ед.) наблюдался в отношении к *Alternaria* sp. и к *F. proliferatum* у КЖ со среды Беннета, овсяной и картофельной среды. Слабое подавление роста (1 ус. ед.) *F. proliferatum* проявила КЖ со среды Чапека с крахмалом. Данные результаты представлены на рис. 3.

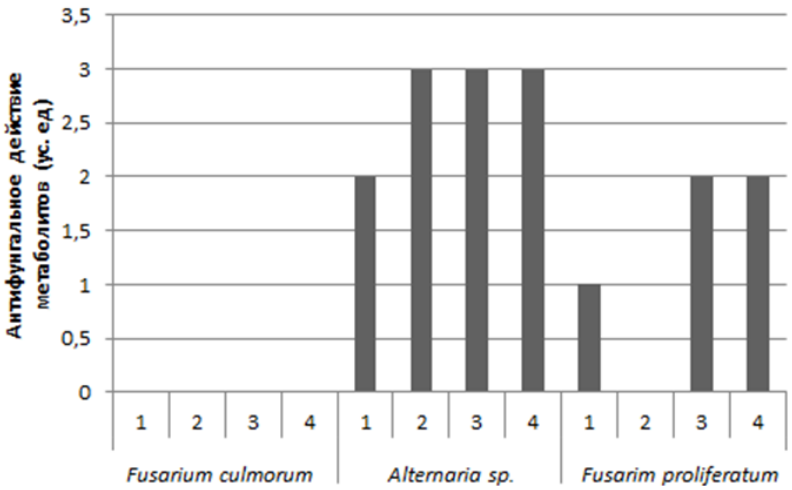


Рис. 3. Антифунгальное действие водорастворимых метаболитов *Streptomyces alfalfae* 6 Из-12 в зависимости от состава питательной среды: 1 – Беннета; 2 – Чапека с крахмалом; 3 – картофельная; 4 – овсяная

Наибольшая антифунгальная активность (3 ус. ед.) в отношении *Alternaria* sp. проявилась у КЖ *S. castelarensi* 8Al-3, выращенного на средах: Беннета, картофельной и овсяной. Умеренное подавление роста (2 ус. ед.) *Alternaria* sp. и *F. proliferatum* характерно для культуральной жидкости со среды Беннета, картофельной и овсяной. Минимальная фунгицидная (1 ус. ед.) активность в отношении *F. proliferatum* и *F. culmorum* была обнаружена у КЖ со сред: Беннета, картофельной и овсяной. В остальных случаях антифунгальное действие не было обнаружено. Результаты представлены на рис. 4.

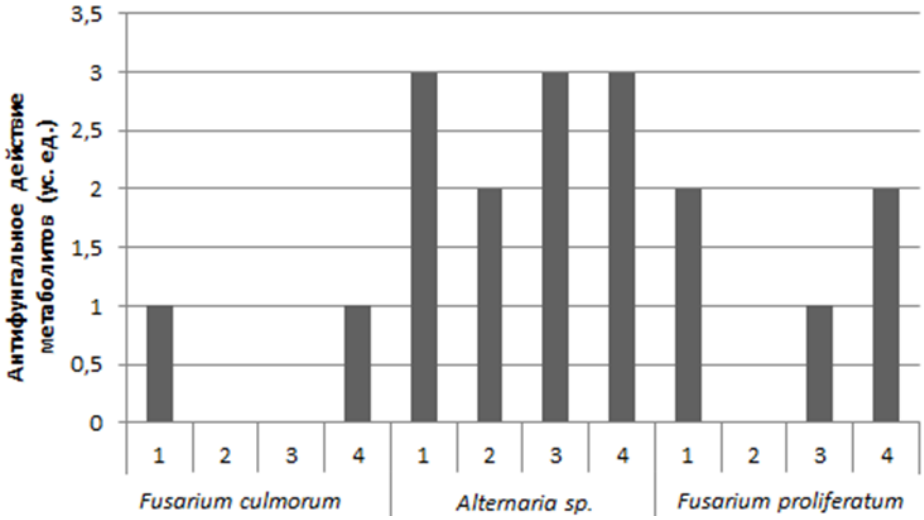


Рис. 4. Антифунгальное действие водорастворимых метаболитов *Streptomyces castelarensi* 8Al-3 в зависимости от состава питательной среды: 1 – Беннета; 2 – Чапека с крахмалом; 3 – картофельная; 4 – овсяная

Выводы:

1. Проведенный нами эксперимент показал, что наиболее благоприятной средой для накопления биомассы штаммами *S. alfalfae* 6 Из-12 и *S. castelarensi* 8Al-3 является среда Чапека с крахмалом, но на данной среде штаммы проявили низкую антифунгальную активность (0–1 ус. ед.) в отношении всех тест-культур фитопатогенных грибов. При росте на картофельной и овсяной среде КЖ *S. alfalfae* 6 Из-12 обеспечила наибольший фунгицидный эффект в отношении тест-культур грибов, но накопление биомассы оказалось выше на овсяной, чем на картофельной среде и среде Беннета. Из полученных результатов можно заключить, что оптимальная среда для культивирования и получения антифунгальных метаболитов штамма *S. alfalfae* 6 Из-12 – жидкая овсяная среда.

2. Культуральная жидкость *S. castelarensi* 8Al-3, выращенного на среде Беннета и овсяной среде, проявила одинаковый фунгицидный эффект, но количество биомассы стрептомицета на овсяной среде превышало количество биомассы на среде Беннета. Полученные данные показали, что оптимальной средой для культивирования *S. castelarensi* 8Al-3, как и для *S. alfalfae* 6 Из-12, является овсяная среда.

3. Таким образом, на основании полученных данных можно утверждать, что жидкая овсяная среда является наиболее оптимальной при культивировании стрептомицетов с целью получения антифунгально активных метаболитов. Для наиболее высокого выхода биомассы культуры стрептомицетов *S. alfalfae* 6 Из-12 и *S. castelarensi* 8Al-3 необходимо культивировать на среде Чапека с крахмалом.

Библиографический список

1. Почвенные актиномицеты как потенциальные биофунгициды / Е. А. Дегтярева, К. А. Виноградова, А. В. Александрова и др. // Вестник московского университета. 2009. № 2. С. 22–26.

2. Sai Shiva Krishna Prasad Vurukonda, Davide Giovanardi, Emilio Stefani. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of Streptomyces spp. as Endophytes // International Journal of Molecular Sciences 2018. Vol. 9. I. 4. P. 12–38. URL: https://www.mdpi.com/1422-0067/19/4/952 (published: 22.03.2018).

3. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.

4. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М. : Наука, 2004. 528 с.

Исследование возможности силосования жома борщевика Сосновского

Л. В. Устюжанинова [a], А. М. Богатырев [b], Е. А. Мартинсон [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бм-1101-01-00 [b]
директор Института биологии и биотехнологии [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a]

Аннотация. Есть варианты использования сока борщевика для производства биоэтанола и сахара [1, 2]. При этом остается жом борщевика, который можно использовать поразному. Целью данной работы является изучение возможности силосования жома борщевика Сосновского и оценка получаемого при этом силоса. Качество силоса оценивали по показателям, регламентированным ГОСТ. После трех месяцев хранения признаков порчи силоса не наблюдалось. Таким образом, жом борщевика Сосновского можно засилосовать. Почти по всем изученным показателям силос из жома борщевика соответствует требованиям ГОСТ на силос. Только содержание сырого протеина в сухом веществе силоса, полученного из жома борщевика Сосновского, ниже регламентированных значений и не соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90. Поэтому данный силос обладает низкой питательной ценностью. Рекомендуется силосовать жом борщевика Сосновского вместе с силосными культурами, богатыми белком (например, бобовыми культурами).

Ключевые слова: силос, борщевик Сосновского, сырой протеин, сырая клетчатка.

Введение. Известны способы использования сока борщевика для получения биоэтанола и сахара [1, 2]. При этом остается жом борщевика, который можно использовать для получения силоса.

Целью данного исследования является изучение возможности силосования жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока, и анализ качества получаемого силоса.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

– засилосовать пробы жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока без использования промывки и мацерации (непромытый жом);

– засилосовать пробы жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока с использованием промывки (промытый жом);

– исследовать качество полученных проб силоса на соответствие требованиям ГОСТ.

Методы исследования. Полученные из жома борщевика пробы силоса анализировали на содержание массовой доли сухих веществ, сырого протеина,

сырой клетчатки, сырой золы, на содержание моносахаридов (МС), олигосахаридов (ОС); также в пробах определяли pH и титруемую кислотность, содержание КМАФАнМ и лактобактерий.

Массовую долю сухих веществ определяли с помощью анализатора влажности (“Sartorius”, Германия) при 105 °С в автоматическом режиме (до постоянства массы навески). Анализ каждого образца проводили 3–5 раз.

Массовую долю сырой золы определяли согласно ГОСТ 32933-2014 (ISO 5984:2002) [3]. Массовую долю сырого протеина определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) [4]. Массовую долю сырой клетчатки определяли экспресс-методом по ГОСТ 31675-2012 [5].

Содержание моно- и олигосахаридов определяли после их извлечения трехкратной экстракцией 80%-ным этанолом. Экстракцию и дальнейшую обработку проводили по методике [6] до получения фильтрата. В полученном фильтрате определяли содержание редуцирующих веществ (РВ) и редуцирующих веществ после инверсии (РВИ) эбулиостатическим методом [7]. Концентрацию РВ приравнивали к концентрации моносахаридов. Концентрацию олигосахаридов находили по разнице концентраций РВИ и РВ с учетом коэффициента пересчета моносахаридов в олигосахариды, равного 0,95 [8].

Активную кислотность (pH) измеряли с помощью pH-метра Аквилон pH METER-pH410 (Россия). Вытяжку из силоса для измерения активной кислотности готовили согласно ГОСТ 26180-84 [9]. Титруемую кислотность силоса определяли титрованием аликвоты вытяжки, полученной для определения активной кислотности согласно ГОСТ 26180-84 [9], 0,1 н раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора фенолфталеина до устойчивого в течение 1 мин слаборозового окрашивания. Количество раствора гидроксида натрия пересчитывали в процентное содержание молочной кислоты на 100 г силоса (считали, что 1 $см^3$ 0,1 н раствора NaOH соответствует 0,009 г молочной кислоты).

Из каждого образца жома брали две параллельные пробы на анализ. Каждую пробу анализировали 2–3 раза.

Статистическую обработку полученных данных проводили по ГОСТ Р 8.736-2011 [10] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) производили по ГОСТ 10444.15-94 [11]. Для приготовления агаризованной питательной среды использовали готовую сухую среду «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 [11].

Для определения концентрации живых клеток лактобактерий чашечным методом Коха [12] использовали ППС Лактобакагар, для приготовления которой брали готовую сухую среду «Питательная среда для выделения и культивирования лактобацилл сухая» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Также использовали среду на основе ПД-бульона с добавлением лактозы и агара (ПДЛ-агар). Чашки Петри с посевами инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 2–4 суток.

При определении концентрации живых клеток лактобактерий методом НВЧ использовали бульон MRS. Использовали симметричный высев по 1 $см^3$ из 3–5 разведений в три параллельные пробирки с 5 $см^3$ бульона MRS. Посевы инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 3–7 суток. После инкубирования визуально осматривали пробирки и отмечали присутствие или отсутствие роста [12].

Расчет и обработку результатов микробиологических исследований проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [12] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

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), плотно утрамбовывали в пенициллиновые флаконы (примерно по 15 г жома в

каждый флакон). Потом 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 флаконы герметично укупоривали и хранили в темном месте при комнатной температуре (20–25 °С). Флаконы визуально осматривали каждый месяц.

За 3 месяца хранения ни в одной пробе визуально не отмечается признаков порчи (плесневение, гниение). Таким образом, жом борщевика Сосновского (как непромытый, так и промытый) получилось засилосовать.

Через 2 месяца после закладки силоса отобрали по одной пробе силоса, полученного из непромытого (проба 1.3) и промытого (проба 2.6) жома борщевика Сосновского соответственно, вскрыли и проанализировали.

Сначала в пробах определяли концентрацию живых лактобактерий и КМАФАнМ (табл. 1).

Таблица 1

Содержание живых лактобактерий и КМАФАнМ в пробах силоса, полученных из жома борщевика Сосновского, после двух месяцев хранения

Наименование показателя	Проба силоса, полученного из непромытого жома (проба 1.3)	Проба силоса, полученного из промытого жома (проба 2.6)
Содержание живых лактобактерий, определенное чашечным методом Коха, КОЕ/г	$(1{,}9\pm0{,}2)\times10^2$	$(2{,}9\pm0{,}3)\times10^3$
Содержание живых лактобактерий, определенное методом НВЧ*, НВЧ/г	$2{,}0\times10^2$	$2{,}4\times10^3$
Содержание КМАФАнМ, КОЕ/г	$(6{,}0\pm0{,}3)\times10^2$	$(6{,}5\pm0{,}5)\times10^2$

*Примечание: среднее значение НВЧ/г из двух параллельных определений

В обеих пробах наблюдалась низкая концентрация лактобактерий по сравнению с их начальной концентрацией при закладке силоса (1×10^9 КОЕ/г). Значительное снижение содержания лактобактерий может быть связано с нехваткой питательных веществ, негативным влиянием на лактобактерии продуктов собственного метаболизма (и вызванной ими кислой реакции среды) или фуранокумаринов, содержащихся в борщевике.

Концентрация лактобактерий в пробе из промытого жома борщевика была на порядок выше, чем в пробе из непромытого жома. Содержание КМАФАнМ в обеих пробах было примерно одинаковым (табл. 1).

Далее в пробах силоса определяли органолептические показатели, которые регламентируются ГОСТ Р 55986-2014 [13]. Все показатели (табл. 2) соответствуют нормативным значениям (табл. 1, ГОСТ Р 55986-2014 [13]). Силос изначально не содержал вредных и ядовитых растений, посторонних примесей, в т. ч. комьев, земли, камней, горюче-смазочных материалов.

Таблица 2

Определение органолептических показателей проб силоса, полученных из жома борщевика Сосновского, после двух месяцев хранения

Наименование показателя	Проба силоса, полученного из непромытого жома (проба 1.3)	Проба силоса, полученного из промытого жома (проба 2.6)
Состояние	В негреющемся состоянии, с температурой менее 40 °С	
Цвет	Зеленовато-оливковый	Оливковый
Запах	Запах квашенных овощей, довольно приятный, с нотками запаха, свойственного борщевику	
Консистенция	Мягкая, немажущаяся	

После этого в пробах силоса определяли следующие физико-химические показатели: содержание сухих веществ, концентрации в сухом веществе сырого протеина, сырой клетчатки и сырой золы, pH силоса, титруемую кислотность в пересчете на молочную кислоту, содержание моно- и олигосахаридов (табл. 3).

Анализ силоса на содержание моно- и олигосахаридов (табл. 3) показал, что в силосе на момент исследования присутствовало достаточно моносахаров для питания лактобактерий, поэтому их низкое содержание связано не с нехваткой сахаров.

Таблица 3

Определение физико-химических показателей проб силоса, полученных из жома борщевика Сосновского, после двух месяцев хранения

Наименование показателя	Проба силоса, полученного из непромытого жома (проба 1.3)	Проба силоса, полученного из промытого жома (проба 2.6)
Содержание сухих веществ, г/кг	245±15	250±25
Концентрация в сухом веществе сырого протеина, г/кг	4,8±0,3	1,7±0,2

Концентрация сырой клетчатки в сухом веществе, г/кг	57,5±3,5	56,5±4,5
Концентрация сырой золы в сухом веществе, г/кг	29,7±2,8	22,1±2,1
pH силоса, ед. pH	4,0±0,1	3,9±0,1
Титруемая кислотность в пересчете на молочную кислоту, % масс.	3,2±0,2	2,6±0,2
Содержание моносахаридов, % масс.	2,2±0,1	4,3±0,1
Содержание олигосахаридов, % масс.	0,30±0,03	0,53±0,12

По содержанию сухого вещества, сырой золы, сырой клетчатки, а также значению pH пробы силоса, полученные из жома борщевика Сосновского (как промытого, так и не промытого), соответствуют требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 для силоса [13, 14].

Содержание сырого протеина в сухом веществе силоса, полученного из жома борщевика Сосновского, ниже регламентированных значений и не соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 [13, 14]. Поэтому данный силос обладает низкой питательной ценностью. Рекомендуется силосовать жом борщевика Сосновского вместе с силосными культурами, богатыми белком (например, бобовыми культурами).

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие основные выводы:

1. Жом борщевика Сосновского (как непромытый, так и промытый) можно засилосовать. За 3 месяца признаков порчи не наблюдалось.

2. В пробах силоса из непромытого и промытого жома борщевика после двух месяцев хранения наблюдалась низкая концентрация лактобактерий по сравнению с их начальной концентрацией при закладке силоса (1×10^9 КОЕ/г).

3. Концентрация лактобактерий в пробе из промытого жома борщевика была на порядок выше, чем в пробе из непромытого жома.

4. Содержание КМАФАнМ в обеих пробах было примерно одинаковым – около 600–650 КОЕ/г.

5. Все органолептические показатели силоса из жома борщевика Сосновского соответствуют нормативным значениям согласно ГОСТ.

6. По содержанию сухого вещества, сырой золы, сырой клетчатки и значению pH пробы силоса, полученные из жома борщевика Сосновского (как промытого, так и не промытого), соответствуют требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90.

7. Содержание сырого протеина в сухом веществе силоса, полученного из жома борщевика Сосновского, ниже регламентированных значений и не соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90. Поэтому данный силос обладает низкой питательной ценностью. Рекомендуется силосовать жом борщевика Сосновского вместе с силосными культурами, богатыми белком.

8. Анализ силоса на содержание моно- и олигосахаридов показал, что в силосе на момент исследования присутствовало достаточно моносахаров для питания лактобактерий. Таким образом, низкое содержание молочнокислых бактерий связано, скорее всего, с ингибирующими рост факторами. Необходимо проанализировать содержание фурокумаринов в жоме и силосе.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2458106, подача заявки: 21.09.2010, публикация патента: 10.08.2012. URL: https://findpatent.ru/patent/245/2458106.html (дата обращения 09.03.2020).
2. 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 09.03.2020).
3. ГОСТ 32933-2014 (ISO 5984:2002). Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы): принят 29.08.2014; действ. с 01.01.2016. М. : Стандартинформ, 2015. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200114230 (дата обращения 09.03.2020).
4. ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Къельдаля: принят 03.12.2012; действ. с 01.07.2014. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200105311 (дата обращения 09.03.2020).
5. ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации: принят 15.11.2012; действ. с 01.07.2013. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-31675-2012 (дата обращения 09.03.2020).
6. Назаренко М. Н. Совершенствование технологий получения инулина и фруктозо-глюкозного сиропа из топинамбура и их применение в производстве функциональных молочных продуктов : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01; 05.18.04. Краснодар, 2014. 171 с.
7. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. 367 с.
8. ГОСТ 5903-89. Изделия кондитерские. Методы определения сахара: принят 28.11.1989; действ. с 01.01.1991. М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-5903-89 (дата обращения 09.03.2020).
9. ГОСТ 26180-84. Корма. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (pH): принят 29.04.1984; действ. с 01.07.1985. М. : Издательство стандартов, 1984. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-26180-84 (дата обращения 09.03.2020).

10. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: принят 13.12.2011; действ. с 01.01.2013; переизд. Март 2019. М. : Стандартинформ, 2019. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200089016 (дата обращения 09.03.2020).

11. 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 09.03.2020).

12. 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 09.03.2020).

13. 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 09.03.2020).

14. 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 09.03.2020).

Оптимизация технологии производства и состава холодного негазированного напитка из иван-чая

Л. В. Устюжанинова [a], И. А. Мамаева [b], Е. А. Мартинсон [c]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b]
кандидат технических наук, доцент, директор Института биологии и биотехнологии [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru[a], ujilucy9i@gmail.com[a]

Аннотация. В последние годы заметно вырос интерес производителей и потребителей к чаям и напиткам на основе кипрея узколистного, или иван-чая. При этом готовые напитки из растительного сырья особенно подвержены микробиологической порче. Целью данного исследования является оптимизация технологии производства и состава холодного негазированного напитка из иван-чая для улучшения его микробиологических показателей безопасности и снижения вероятности микробиологической порчи при хранении. Проведенные микробиологические исследования представленных производителем образцов напитка из иван-чая выявили превышение нормативов безопасности напитка по содержанию КМАФАнМ, плесени и дрожжей (в сумме); БГКП в 100 см^3 не обнаружено. Экспериментально показано, что кипячение напитка перед розливом снижает его общую обсемененность; а использование консервантов сорбата калия и бензоата натрия, как по отдельности, так и вместе, способствует предупреждению микробиологической порчи продукта в течение полугода. Исследования продолжаются. Производителю уже даны рекомендации, которые будут способствовать улучшению микробиологических показателей безопасности напитков и предотвращению их порчи.

Ключевые слова: кипрей узколистный, иван-чай, консерванты, сорбат калия, бензоат натрия.

Введение. Обогащение пищевой продукции биологически активными веществами, в том числе за счет добавления травяных экстрактов, является одной из основных современных тенденций в пищевой промышленности [1]. Особенно интенсивно развивается производство различных чаев и напитков на основе растительного сырья [2]. В последние годы заметно вырос интерес производителей и потребителей к чаям и напиткам на основе кипрея узколистного, или иван-чая [1, 2].

Интерес к иван-чаю (кипрею узколистному) связан с тем, что в молодых листьях и корневищах этого растения содержатся дубильные вещества (до 10%), биофлаваноиды, витамины С и Р, каротиноиды, аминокислоты и белки, органические кислоты, полисахариды (слизь, лектины, пектины, клетчатка), макро- и микроэлементы (железо, медь, марганец, кальций, калий, фосфор, ко-

бальт, бор, титан и другие), алкалоиды [1–3]. Настои и отвары листьев иван-чая обладают сильным противовоспалительным и обволакивающим свойствами [3], антиоксидантной активностью [2].

Вся пищевая продукция, в том числе чаи и напитки из растительного сырья, должна соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [4].

При производстве и реализации травяных чаев в сухом виде вероятность микробиологической порчи снижается за счет низкой влажности продукции (не более 10%). При производстве готовых напитков, содержащих влагу и питательные вещества в достаточном для микроорганизмов количестве, добиться микробиологической чистоты продукции становится гораздо сложнее. Чаще всего при производстве напитков применяют пастеризацию с последующим асептическим розливом. Но у небольших компаний не всегда имеются финансовые средства на покупку дорогостоящего оборудования для пастеризации и асептического розлива готовой продукции. Такие производители заинтересованы в альтернативных методах сохранения своих напитков от микробиологической порчи в течение максимально возможного срока годности.

Поэтому целью данного исследования является оптимизация технологии производства и состава холодного негазированного напитка из иван-чая для улучшения его микробиологических показателей безопасности и снижения вероятности микробиологической порчи при хранении.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

– изучить варианты снижения начальной микробной контаминации напитка, которые можно реализовать на производстве, и экспериментально выявить наиболее оптимальный вариант;

– изучить влияние концентрации лимонной кислоты на активную кислотность напитка и найти ее минимальное значение для обеспечения заданного уровня pH;

– экспериментально подобрать оптимальное содержание консервантов в напитке для сохранения стабильных микробиологических показателей безопасности напитка на протяжении желаемого производителем срока годности.

Методы исследования. Объектом исследования является сухой ферментированный гранулированный иван-чай и напитки, получаемые из него.

Активную кислотность (pH) напитков измеряли с помощью pH-метра Аквилон pH METER-pH410 (Россия).

Микробиологическое изучение напитков производилось по трем направлениям:

1) определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ);

2) определение количества бактерий рода кишечных палочек (БГКП);

3) определение количества дрожжей и плесени.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) производилось по ГОСТ 10444,15-94 [5]. Для приготовления агаризованной питательной среды использовали готовую сухую среду «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 [5].

Определение количества дрожжей и плесени производили по ГОСТ 10444.12-2013 [6]. Для приготовления агаризованной питательной среды использовали готовую сухую среду «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 [6].

Для определения КМАФАнМ, плесени и дрожжей использовали методы посева на агаризованную среду и в агаризованную среду с последующим прямым подсчетом колоний микроорганизмов, метод НВЧ с симметричным посевом в жидкую питательную среду (ЖПС) [5–7]. Для приготовления ЖПС использовали БТН-бульон (производства компании «Биотехновация», г. Москва)

с добавлением 1%-й глюкозы при определении КМАФАнМ и бульон Сабуро (производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск) при определении плесени и дрожжей.

Определение количества бактерий рода кишечных палочек (БГКП) производили по ГОСТ 31747-2012 титрационным (бродильным) методом [8].

Учет и обработку результатов по определению концентрации живых клеток микроорганизмов проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [7] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам микробиологического анализа образцов напитка безалкогольного негазированного «Иван-чай холодный», предоставленных производителем, во всех образцах было выявлено превышение КМАФАнМ и количества плесени и дрожжей (табл. 1) по сравнению с требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [4], что и явилось причиной порчи продукции. Во всех образцах в 100 см^3 БГКП не было обнаружено (табл. 1).

Скорее всего, только использованием консервантов невозможно будет достичь увеличения сроков годности до года (желание производителя), особенно при имеющихся условиях производства. Так как применяемые в пищевой промышленности консерванты обладают бактериостатическим действием, то для целесообразности их использования необходимо максимально снизить начальное содержание микроорганизмов в напитках. Поэтому для увеличения срока годности рекомендуется термическая обработка готового напитка (кипячение, стерилизация или пастеризация) с последующим асептическим розливом. Также рекомендуется соблюдать правила чистоты и асептики на производстве. Для дополнительной защиты от развития плесени можно использовать карбонизацию напитка.

Было рассмотрено два варианта технологии приготовления напитка.

1-й способ. Готовили отвар иван-чая, который кипятили 15 мин и фильтровали горячим; отдельно готовили раствор остальных ингредиентов, который также кипятили 15 мин, охладили и смешали с отваром.

2-й способ: готовили отвар иван-чая, который кипятили 15 мин и фильтровали горячим; отдельно готовили раствор остальных ингредиентов на кипяченой воде, раствор смешивали с отваром и потом все вместе кипятили 15 мин.

Второй способ оказался более эффективным (табл. 2). При этом уменьшение времени кипячения не рекомендуется (табл. 3).

Изучение влияния концентрации лимонной кислоты на pH напитка показало, что для обеспечения pH 4,5 (необходимого для максимальной эффективности консервантов сорбата калия и бензоата натрия [9]) достаточно добавления лимонной кислоты в количестве 0,75 г/дм^3 (табл. 4).

Далее было исследовано влияние разных концентраций сорбата калия и бензоата натрия на сохранность напитков при хранении (табл. 5).

Таблица 1

Содержание живых микроорганизмов в исследованных образцах напитка безалкогольного негазированного «Иван-чай холодный»

Номер образца	Наименование образца (дата высева)	Показатель		
		Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/см^3	Количество бактерий рода кишечных палочек (БГКП), КОЕ/100 см^3	Количество дрожжей и плесени (в сумме), КОЕ/см^3
1	Две пробы без этикетки (08.08.2019)	$(5,6\pm0,5)\times10^3$	Не обнаружены	$[(1,0\pm0,1)\times10^4]^1$
		$(6,3\pm0,3)\times10^2$	Не обнаружены	$[(7,4\pm0,4)\times10^2]^2$
2	Напиток безалкогольный негазированный «Иван-чай холодный» от 24.06.2019, 2 пробы (08.08.2019)	$(3,8\pm0,3)\times10^3$, в т.ч. плесень	Не обнаружены	Сплошной рост плесени, подсчет невозможен
		$(7,7\pm0,5)\times10^3$, в т.ч. плесень	Не обнаружены	$[(1,0\pm0,1)\times10^4]^3$
3	Напиток безалкогольный негазированный «Иван-чай холодный» с черникой от 11.07.2019 (08.08.2019)	$(3,5\pm0,3)\times10^3$, в т.ч. плесень	Не обнаружены	$[(1,4\pm0,1)\times10^3]^4$

Примечания:
1. Выявлены дрожжи и бактерии, плесени не обнаружено.
2. Выявлены в основном дрожжи и бактерии, плесени – единичные колонии (около 2 КОЕ/см^3).
3. Выявлены в основном дрожжи и бактерии, плесени – около 100 КОЕ/см^3.
4. Преобладают дрожжи и бактерии, плесени – около 150 КОЕ/см^3 (на порядок меньше, чем дрожжей и бактерий)

Таблица 2

Содержание живых микроорганизмов в исследованных образцах напитка при разных вариантах технологии его приготовления

Вариант технологии приготовления напитка	КМАФАнМ		Количество БГКП, КОЕ/100 см^3	Количество дрожжей и плесени (в сумме), КОЕ/см^3
	Посев на агаризованные среды, КОЕ/см^3	Метод НВЧ, НВЧ/см^3		
1	5	0,36	Не обнаружены	Менее 0,5
2	Менее 5	0 (менее 0,31)	Не обнаружены	Менее 0,5

Таблица 3

Содержание живых микроорганизмов в исследованных образцах напитка, приготовленных при разной длительности кипячения

Время кипячения	КМАФАнМ		Количество БГКП, КОЕ/100 см^3	Количество дрожжей и плесени (в сумме), КОЕ/см^3
	Посев на агаризованные среды, КОЕ/см^3	Метод НВЧ, НВЧ/см^3		
10 мин	Менее 5	2,3	Не обнаружены	Менее 0,5
15 мин	Менее 5	0,92	Не обнаружены	Менее 0,5

Таблица 4

Влияние концентрации лимонной кислоты на pH напитка

Концентрация лимонной кислоты, г/дм^3	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
pH_1, ед. pH	4,70	4,45	4,38	4,21	4,11
pH_2, ед. pH	4,60	4,48	4,33	4,24	4,15
Среднее значение pH, ед. pH	4,7	4,5	4,4	4,2	4,1

Таблица 5

Влияние вида и концентрации консервантов на микробиологическую чистоту напитков при хранении (средние значения по трем пробам)

<table>
<tr><th rowspan="2">№ пробы</th><th rowspan="2">Консервант</th><th rowspan="2">Концентрация консерванта, г/дм^3</th><th colspan="4">КМАФАнМ, КОЕ/см^3 (1 и 2 мес.) или НВЧ/см^3 (0 и 6 мес.)</th><th colspan="2">Дрожжи и плесень</th></tr>
<tr><th>0 мес.</th><th>1 мес.</th><th>2 мес.</th><th>6 мес.</th><th>0 мес., КОЕ/см^3</th><th>6 мес., НВЧ/см^3</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="4">Сорбат калия</td><td>0,15</td><td>0,36</td><td>8,0</td><td rowspan="4">Менее 0,5</td><td>0,31</td><td rowspan="9">Менее 0,5</td><td rowspan="9">Менее 0,31</td></tr>
<tr><td>2</td><td>0,3</td><td rowspan="3">Менее 0,31</td><td>7,3</td><td>0,31</td></tr>
<tr><td>3</td><td>0,45</td><td>5,0</td><td rowspan="6">Менее 0,31</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0,6</td><td>0,92</td><td>5,2</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="2">Бензоат натрия</td><td>0,15</td><td>2,3</td><td>9,3</td><td>0,5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>0,3</td><td>0,36</td><td>9,2</td><td rowspan="4">Менее 0,5</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="3">Сорбат калия + бензоат натрия</td><td>0,15+0,15</td><td rowspan="3">Менее 0,31</td><td>10,8</td></tr>
<tr><td>8</td><td>0,30+0,15</td><td>4,7</td></tr>
<tr><td>9</td><td>0,25+0,15</td><td>3,0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Контроль</td><td rowspan="2">–</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">Менее 0,31</td><td>0,5 (№ 3к)</td><td colspan="2">Менее 0,31 (проба № 3к)</td><td rowspan="2">5,3</td><td rowspan="2">1 и 2 пробы заросли плесенью; 3 – менее 0,31</td></tr>
<tr><td colspan="3">1-я и 2-я пробы заросли плесенью за 1 мес.</td></tr>
</table>

Микробиологическое исследование образцов напитка с различными концентрациями сорбата калия и бензоата натрия (табл. 5), полученных в лабораторных условиях, показало, что в первый месяц хранения произошло увеличение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), которое, однако, не привело к порче образцов. При дальнейшем хранении концентрация МАФАнМ снизилась (табл. 5). Два из трех контрольных образцов за первый месяц хранения заросли плесенью, что отчетливо наблюдалось визуально. В остальных образцах роста плесени и дрожжей за 6 месяцев не обнаружено (табл. 5). Таким образом, при низкой начальной концентрации микроорганизмов сорбат калия и бензоат натрия во всех исследованных сочетаниях и концентрациях предотвратили порчу образцов напитка из иван-чая. Исследования продолжаются дальше.

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие основные выводы:

1. Для снижения начальной концентрации микроорганизмов в напитках рекомендуется перед розливом их кипятить в течение минимум 15 минут.

2. Изучение влияния концентрации лимонной кислоты на pH напитка показало, что для обеспечения pH 4,5 (необходимого для максимальной эффективности консервантов сорбата калия и бензоата натрия [9]) достаточно добавления лимонной кислоты в количестве 0,75 г/дм^3.

3. Два из трех контрольных образцов (без консервантов) за первый месяц хранения заросли плесенью, что отчетливо наблюдалось визуально. В остальных образцах роста плесени и дрожжей за 6 месяцев не обнаружено; количество МАФАнМ за первый месяц хранения незначительно увеличилось, а затем снизилось (табл. 5). Таким образом, при низкой начальной концентрации микроорганизмов сорбат калия и бензоат натрия во всех исследованных сочетаниях и концентрациях предотвратили порчу образцов напитка.

Производителю рекомендовано для увеличения срока годности напитков помимо внесения консервантов (сорбата калия и бензоата натрия) производить термическую обработку готовых напитков (например, кипячением в течение

минимум 15 минут) с последующим розливом в асептических условиях. Также рекомендуется соблюдать правила чистоты и асептики на производстве во время всего технологического процесса. Для дополнительной защиты от развития плесени можно использовать карбонизацию напитка.

Библиографический список

1. Гребнева З. В., Сорокопуд А. Ф. Получение экстракта травы иван-чай на вибрационном экстракторе // Научный вклад молодых ученых в развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК : сб. науч. тр. VII конф. молод. ученых и специалистов НИИ Отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Россельхозакадемии. М., 2013. С. 90–93.
2. Ефремова Ю. Е., Винницкая В. Ф. Характеристика биохимического состава и пищевой ценности сырья для создания фруктовых и травяных чаев и напитков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 104–108.
3. Серебряная Ф. К., Посевин И. И. Морфолого-анатомическое исследование иван-чая узколистного (Chamenerion angustifolium (L.) Scop.), произрастающего на Северном Кавказе // Фармация и фармакология. 2016. Т. 4. № 2. С. 79–87.
4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». URL: http://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения 09.03.2020).
5. 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 09.03.2020).
6. 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 09.03.2020).
7. 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 09.03.2020).
8. ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) : принят 01.10.2012; действ. с 01.07.2013. М. : Стандартинформ, 2013. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200098583 (дата обращения 09.03.2020).
9. Консерванты. URL: https://globar.ru/production/konservanty/ (дата обращения 09.03.2020).

Исследование влияния СВЧ-излучения на концентрацию живых молочнокислых микроорганизмов

Л. В. Устюжанинова [a], Т. И. Миронова [b], В. А. Вятер [c], С. А. Васильев [d]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бм-2101-01-00 [b]
студент группы Бб-3101-01-00 [c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a]

Аннотация. В настоящее время кисломолочные продукты, в том числе йогурты, являются популярными. Они содержат легкоусвояемый белок и кальций, а также живые молочнокислые бактерии. Так как кисломолочные продукты являются скоропортящимися, то они должны храниться в холодильнике. При этом необходимость или желание подогреть их вызывает затруднения, так как их не рекомендуется разогревать в микроволновых печах, а другие способы подогрева являются менее удобными. Исследования влияния СВЧ-излучения показывают как ингибирующие, так и стимулирующие эффекты данного воздействия на культуры микроорганизмов. Поэтому целью данной работы является исследование влияния СВЧ-излучения на выживаемость молочнокислых микроорганизмов в йогурте при его подогреве в микроволновой печи. Результаты исследования показали, что при непродолжительном воздействии СВЧ-излучения на йогурт (10 сек) концентрация молочнокислых микроорганизмов не изменилась по сравнению с исходным значением. При этом увеличение температуры происходило до значения, комфортного для молочнокислых бактерий. При дальнейшем увеличении времени воздействия СВЧ-излучения на йогурт концентрация микроорганизмов снижалась. Возможно, это связано только с увеличением температуры йогурта после воздействия. При уменьшении в два раза массы йогурта, взятой для эксперимента, выживаемость молочнокислых микроорганизмов снизилась (при прочих равных условиях воздействия) также почти в два раза при продолжительности воздействия микроволновым излучением в течение 10 сек. Влияния площади поверхности контакта не выявлено при рассмотренных условиях воздействия. Необходимо продолжить исследования дальше, рассмотрев большее количество значений изменяющихся параметров. На данном этапе исследования показано, что 10-секундное воздействие СВЧ-излучения не приводило к снижению концентрации живых молочнокислых микроорганизмов в йогурте (в четырех параллельных экспериментах). Данная информация может быть полезна потребителям кисломолочной продукции.

Ключевые слова: СВЧ, микроволновое излучение, молочнокислые микроорганизмы, йогурт.

Введение. Кисломолочные продукты являются ценным пищевым продуктом, содержащим легкоусвояемый белок и кальций. Кроме того, они содержат активные молочнокислые бактерии, которые благотворно влияют на организм человека. Особое значение и популярность имеют натуральные йогурты, так как они обладают легкой структурой, приятными органолептическими характеристиками, в том числе и потому, что часто обогащены различными наполнителями, повышающими биологическую и пищевую ценность продукта. В послед-

нее время особым спросом пользуются йогурты с фруктовыми и ягодными наполнителями [1].

Натуральные кисломолочные продукты являются скоропортящимися продуктами и должны храниться в холодильнике. В некоторых случаях не рекомендуется употреблять холодные напитки/продукты (например, маленьким детям), что приводит к вопросу о вариантах их подогрева до нужной температуры. В настоящее время самым удобным и популярным способом разогревать различные блюда и продукты питания является использование микроволновых печей. При этом кисломолочные продукты не рекомендуется разогревать таким образом из-за возможного негативного влияния СВЧ-излучения на микроорганизмы, содержащиеся в них, а также на органолептические свойства данных продуктов [2].

При этом исследования показывают, что микроволновое излучение может вызвать как стимулирующие, так и ингибирующие эффекты на культуры микроорганизмов [3].

Поэтому целью данной работы является исследование влияния СВЧ-излучения на выживаемость молочнокислых микроорганизмов в йогурте при его подогреве в микроволновой печи.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

– изучить влияние времени воздействия микроволнового излучения на концентрацию живых молочнокислых микроорганизмов в йогурте;

– исследовать влияние массы йогурта, взятого для СВЧ-обработки, на выживаемость молочнокислых микроорганизмов;

– изучить влияние площади поверхности контакта посуды и йогурта на концентрацию живых молочнокислых микроорганизмов в нем.

Методы исследования. Объектом исследования является йогурт «Вятушка» с черникой-голубикой и с сахаром с массовой долей жира 2,5% (изготовитель – ЗАО «Кировский молочный комбинат»). С даты изготовления до даты исследования прошло трое суток.

При исследовании воздействия микроволнового излучения на живые молочнокислые микроорганизмы йогурта использовали печь микроволновую марки Panasonic, модель NN-SF550W, характеристики которой приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики печи микроволновой Panasonic, модель NN-SF550W

Технические характеристики	Числовое значение характеристики и единицы измерения
Источник электропитания	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	4,2 А, 900 Вт
Выходная мощность	1000 Вт
Рабочая частота	2450 МГц

Исследование выживаемости молочнокислых микроорганизмов йогурта при воздействии микроволнового излучения проводили при изменении нескольких параметров:

– время воздействия микроволнового излучения,

– масса йогурта,

– площадь поверхности контакта посуды и йогурта.

При изменении одного исследуемого параметра все прочие условия были идентичными.

О влиянии микроволнового излучения на жизнеспособность молочнокислых микроорганизмов (МКМ) судили по изменению концентрации их живых клеток в йогурте после воздействия СВЧ-излучения по сравнению с исходной концентрацией живых МКМ в этом же йогурте (без воздействия СВЧ).

Количество жизнеспособных клеток жизнеспособность молочнокислых микроорганизмов (число колониеобразующих единиц – КОЕ) в 1 г йогурта определяли поверхностным чашечным методом Коха [4]. Из каждого разведения производили два параллельных высева на чашки Петри.

Для определения концентрации живых клеток молочнокислых микроорганизмов использовали плотную питательную среду 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. Чашки Петри с посевами инкубировали 2 суток в термостате при температуре 37 °С.

Учет и обработку результатов по определению концентрации живых клеток микроорганизмов проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [4] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Температуру измеряли с помощью термометра ртутного стеклянного ТЛ-2М № 2 (Россия).

Результаты исследований, их обсуждение. При исследовании выживаемости молочнокислых микроорганизмов в зависимости от времени воздействия микроволнового излучения йогурт отбирали в количестве 30 г в одинаковые стерильные стеклянные стаканчики объемом 100 см^3. Воздействие СВЧ-излучения осуществляли в течение 10, 20 и 30 сек. Приготовление разведений и высев производили сразу после окончания воздействия. Также в параллельных пробах измеряли температуру йогурта после воздействия СВЧ-излучения: эксперимент проводили в аналогичных условиях с исходной пробой йогурта, только вместо определения концентрации живых молочнокислых микроорганизмов измеряли температуру пробы йогурта после воздействия СВЧ-излучения.

Как видно из полученных данных (табл. 2), после 10-секундного воздействия СВЧ-излучения концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов не изменилась. После 20-секундного воздействия микроволнового излучения концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов уменьшилась примерно в три раза по сравнению с исходной пробой йогурта, а после 30 секунд воздействия СВЧ-излучения живых клеток в йогурте стало почти в 10^7 раз меньше (концентрация снизилась на семь порядков). При увеличении времени воздействия СВЧ-излучения на йогурт его температура увеличивалась (табл. 2). Возможно, негативное воздействие СВЧ-излучения связано именно с увеличением температуры жидкости (особенно с возникновением в ней точек локального перегрева), которое неблагоприятно для микроорганизмов.

Таблица 2

Влияние времени воздействия микроволнового излучения на жизнеспособность клеток молочнокислых микроорганизмов в йогурте

Время воздействия СВЧ-излучения, сек	Концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов, КОЕ/см^3	Температура йогурта, °С
0	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	12
10	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	32
20	$(3,4\pm0,3)\times10^8$	62
30	$(1,4\pm0,2)\times10^2$	81

При уменьшении в два раза массы йогурта, взятой для эксперимента, выживаемость молочнокислых микроорганизмов снизилась (при прочих равных условиях воздействия) также почти в два раза при продолжительности воздействия микроволновым излучением в течение 10 сек (табл. 3). При этом температура пробы с меньшей массой была выше. Необходимо провести исследование влияния СВЧ-излучения на большую массу йогурта с увеличением продолжительности воздействия СВЧ-излучения, но с нагреванием до температуры 32–34 °С, как при 10-секундном воздействии на 30 г йогурта. Это позволит выявить и уточнить, влияет ли на концентрацию живых микроорганизмов само микроволновое воздействие (а не температурный фактор).

При изменении площади контакта емкости с йогуртом почти в два раза при рассмотренном режиме воздействия (30 г йогурта, продолжительность СВЧ-излучения 10 сек) изменения концентрации живых молочнокислых микроорганизмов в йогурте не наблюдалось (табл. 4). Температура после воздействия была почти одинаковой и составляла 33–33,5 °С. Таким образом, влияния площади поверхности контакта не выявлено. Необходимо повторить эксперимент с увеличением длительности воздействия.

Таблица 3

Влияние массы йогурта, взятой для исследования, на выживаемость клеток молочнокислых микроорганизмов при воздействии СВЧ-излучения

Определяемый параметр	Масса йогурта, взятая для исследования, г	
	15	30
Концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов в исходной пробе йогурта, КОЕ/см^3	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	
Концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов после воздействия СВЧ-излучения в течение 10 сек, КОЕ/см^3	$(5,7\pm0,5)\times10^8$	$(1,1\pm0,1)\times10^9$
Температура исходной пробы йогурта, °С	12	
Температура йогурта после воздействия СВЧ-излучения в течение 10 сек, °С	52	33,5

Таблица 4

Влияние площади поверхности контакта 30 г йогурта с емкостью на выживаемость клеток молочнокислых микроорганизмов при воздействии СВЧ-излучения

Определяемый параметр	Вид емкости (посуды)	
	Чашка Петри	Стакан
Концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов в исходной пробе йогурта, КОЕ/см^3	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	
Концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов после воздействия СВЧ-излучения в течение 10 сек, КОЕ/см^3	$(1,1\pm0,1)\times10^9$	$(1,1\pm0,1)\times10^9$
Температура исходной пробы йогурта, °С	12	
Температура йогурта после воздействия СВЧ-излучения в течение 10 сек, °С	33	33,5
Площадь поверхности дна емкости, см^2	67,89	15,90
Площадь всей поверхности контакта 30 г йогурта с емкостью, см^2	80,74	41,33

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие основные выводы:

1. После 10-секундного воздействия СВЧ-излучения концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов в йогурте не изменилась. После 20-секундного воздействия микроволнового излучения концентрация живых клеток молочнокислых микроорганизмов уменьшилась примерно в три раза по сравнению с исходной пробой йогурта. А после 30 сек воздействия СВЧ-излучения живых клеток в йогурте стало почти в 10^7 раз меньше (концентрация снизилась на семь порядков). При увеличении времени воздействия СВЧ-излучения на йогурт его температура увеличивалась. Возможно, негативное воздействие СВЧ-излучения связано именно с увеличением температуры жидкости, которое неблагоприятно для микроорганизмов.

2. При уменьшении в два раза массы йогурта, взятой для эксперимента, выживаемость молочнокислых микроорганизмов снизилась (при прочих равных условиях воздействия) также почти в два раза при продолжительности воздействия микроволновым излучением в течение 10 секунд.

3. Влияния площади поверхности контакта не выявлено, так как при рассмотренных условиях воздействия в обоих случаях не наблюдалось изменения концентрации МКМ.

Таким образом, на данном этапе исследования установлено, что 10-секундное воздействие СВЧ-излучение не приводило к снижению концентрации живых молочнокислых микроорганизмов в йогурте (в четырех параллельных экспериментах).

Необходимо продолжить исследования дальше, рассмотрев большее количество значений изменяющихся параметров.

Библиографический список

1. Соболева О. М., Шилова К.-К. А. Йогурт с плодами рожкового дерева и ягодным наполнителем, обработанным в электромагнитном поле // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (159). С. 187–192.
2. 8 табу для микроволновки. Техника безопасности СВЧ-печи // Аргументы и факты URL: https://aif.ru/food/household/8_tabu_dlya_mikrovolnovki_tehnika_bezopasnosti_svch-pechi (дата обращения 09.03.2020).
3. Использование микроволнового излучения низкой интенсивности в процессах культивирования микроорганизмов / Д. Б. Кузнецов, Е. В. Орлова, В. А. Несчисляев и др. // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2015. № 4 (13). С. 92–95.
4. 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 09.03.2020).

Изучение состава жома борщевика Сосновского

Л. В. Устюжанинова [a], М. А. Сорокожердьева [b], К. В. Полежаева [c], В. А. Вятер [d]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы БТб-3101-03-00 [b, c]
студент группы Бб-3101-01-00 [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a]

Аннотация. Для производства биоэтанола и сахара предлагается использовать сок борщевика [1, 2]. При этом остается жом. Его предлагается сушить и использовать в качестве твердого топлива в виде пеллет и гранул. Для высушивания жома требуются затраты энергии, которые могут оказаться больше, чем энергия, получаемая от сжигания производимых пеллет и гранул. Оставшийся после получения сока жом борщевика можно использовать для получения других продуктов, например силоса или компоста. Но перед тем, как определиться с целесообразностью такого использования жома, необходимо изучить его состав. Целью данного исследования является изучение состава жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока. Согласно полученным результатам, жом борщевика Сосновского (как промытый, так и не промытый) содержит большое количество влаги (77–80%). Среди сухих веществ в жоме борщевика преобладает сырая клетчатка (25–28% от АСВ). Также в жоме борщевика содержится довольно много сырой золы (11–13% от АСВ), мало сырого протеина, моно- и олигосахаридов (менее 5% от АСВ), очень мало сырого жира (менее 0,5% от АСВ). Таким образом, жом борщевика Сосновского можно использовать для получения силоса, но в качестве дополнительного (неосновного) сырья, так как особой питательной ценности он не будет иметь в связи с низким содержанием сырого протеина. Также жом можно использовать для компостирования. Рекомендуется экспериментально исследовать возможность и эффективность силосования и компостирования жома борщевика.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, моно- и олигосахариды, легко- и трудногидролизуемые полисахариды, сухие вещества, сырая зола, сырой протеин, сырая клетчатка.

Введение. Известен патент РФ № 2458106 на получение биоэтанола из борщевика [1]. Также известен патент РФ № 2458148 на получение сахара из борщевика [2]. При этом для производства биоэтанола и сахара используют сок борщевика [1, 2], а оставшийся жом предлагается сушить и использовать в качестве твердого топлива в виде пеллет и гранул [1]. Для высушивания жома требуются затраты энергии, которые могут оказаться больше, чем энергия, получаемая от сжигания производимых пеллет и гранул.

Оставшийся после получения сока жом борщевика можно использовать для получения других продуктов, например силоса или компоста. Но перед тем, как определиться с целесообразностью использования жома борщевика в предложенных или других направлениях, необходимо изучить его состав.

Поэтому целью данного исследования является изучение состава жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

– изучить состав жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока без использования промывки и мацерации (непромытый жом);

– изучить состав жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока с использованием промывки между отжимами (промытый жом);

– проанализировать полученные данные и сравнить их между собой.

Методы исследования. Жом борщевика Сосновского, оставшийся после получения сока без мацерации и промывки (непромытый жом) и после получения сока с использованием промывки (промытый жом), анализировали на содержание массовой доли влаги, сырой золы, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, а также на содержание моносахаридов (МС), олигосахаридов (ОС), легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГ ПС) и трудногидролизуемых полисахаридов (ТГ ПС). После определения содержания ТГ ПС взвешивали доведенный до постоянной массы непрогидролизованный остаток и рассчитывали его содержание в исходном сырье.

Массовую долю влаги определяли с помощью анализатора влажности (“Sartorius”, Германия) при 105 °С в автоматическом режиме (до постоянства массы навески). Анализ каждого образца проводили 3–5 раз.

Массовую долю сырой золы определяли согласно ГОСТ 32933-2014 (ISO 5984:2002) [3]. Массовую долю сырого протеина определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) [4]. Массовую долю сырого жира определяли рефрактометрическим методом с α-бромнафталином (коэффициент преломления 1,6587) по ГОСТ 5668-68 [5]. Массовую долю сырой клетчатки определяли экспресс-методом по ГОСТ 31675-2012 [6].

Содержание моно- и олигосахаридов определяли после их извлечения трехкратной экстракцией 80%-ным этанолом. Экстракцию и дальнейшую обработку проводили по методике [7] до получения фильтрата. В полученном филь-

трате определяли содержание редуцирующих веществ (РВ) и редуцирующих веществ после инверсии (РВИ) эбулиостатическим методом [8]. Концентрацию РВ приравнивали к концентрации моносахаридов. Концентрацию олигосахаридов находили по разнице концентраций РВИ и РВ с учетом коэффициента пересчета моносахаридов в олигосахариды, равного 0,95 [9].

Остаток после экстракции моно- и олигосахаридов анализировали на содержание ЛГ ПС и ТГ ПС по методике [8].

Из каждого образца жома брали две параллельные пробы на анализ. Каждую пробу анализировали 2–3 раза.

Статистическую обработку полученных данных проводили по ГОСТ Р 8.736-2011 [10] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Результаты исследований, их обсуждение. По изученным физико-химическим показателям непромытый жом (табл. 1) и промытый жом (табл. 2) отличаются незначительно. За счет большего вымывания водорастворимых веществ из жома при промывке промытый жом содержит меньше сырого протеина и сырой золы, больше сырой клетчатки.

Жом борщевика Сосновского содержит большое количество влаги (77–80%). При увеличении эффективности отжима сока содержание влаги снизится.

Среди сухих веществ в жоме борщевика преобладает сырая клетчатка: она составляет как минимум четверть сухих веществ. Также в жоме борщевика содержится довольно много сырой золы (10,8–13,0% от сухих веществ), мало сырого протеина, моно- и олигосахаридов (менее 5%), очень мало сырого жира (менее 0,5%).

Таблица 1

Результаты исследования состава жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока без мацерации и промывки (непромытый жом)

Наименование показателя	Значение показателя при фактической влажности	Значение показателя в пересчёте на АСВ
Массовая доля влаги, %	77,0±6,3	–
Массовая доля сухих веществ, %	23,0±6,3	100

Массовая доля сырой золы, %	3,0±0,4	13,0±1,7
Массовая доля сырого протеина, %	1,0±0,2	4,3±0,9
Массовая доля сырого жира, %	Менее 0,1	Менее 0,4
Массовая доля сырой клетчатки, %	5,8±0,6	25,2±2,6
Содержание моносахаридов, % масс.	1,0±0,1	4,3±0,4
Содержание олигосахаридов, % масс.	0,12±0,04	0,52±0,17
Содержание легкогидролизуемых полисахаридов, % масс.	1,7±0,2	7,4±0,9
Содержание трудногидролизуемых полисахаридов, % масс.	0,36±0,10	1,6±0,4
Содержание негидролизуемого остатка (после определения ТГ ПС), % масс.	5,7±0,9	24,8±3,9

Примечание: АСВ – абсолютно сухое вещество

Таблица 2

Результаты исследования состава жома борщевика Сосновского, оставшегося после получения сока с использованием однократной промывки между двумя отжимами (промытый жом)

Наименование показателя	Значение показателя при фактической влажности	Значение показателя в пересчёте на АСВ
Массовая доля влаги, %	79,7±1,4	–
Массовая доля сухих веществ, %	20,3±1,4	100
Массовая доля сырой золы, %	2,2±0,2	10,8±1,0
Массовая доля сырого протеина, %	0,28±0,08	1,4±0, 4
Массовая доля сырого жира, %	Менее 0,1	Менее 0,5
Массовая доля сырой клетчатки, %	5,7±0,5	28,1±2,5
Содержание моносахаридов, % масс.	0,90±0,08	4,4±0,4
Содержание олигосахаридов, % масс.	0,08±0,03	0,39±0,15
Содержание легкогидролизуемых полисахаридов, % масс.	1,6±0,1	7,9±0,5
Содержание трудногидролизуемых полисахаридов, % масс.	0,37±0,08	1,8±0,4
Содержание негидролизуемого остатка (после определения ТГ ПС), % масс.	6,6±0,5	32,5±2,5

Примечание: АСВ – абсолютно сухое вещество.

По содержанию сухого вещества, сырой золы и сырой клетчатки исследованный жом борщевика Сосновского (как промытый, так и не промытый) соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 для силоса [11, 12]. Данные показатели в результате силосования вряд ли изменятся.

По содержанию сырого протеина в сухом веществе исследованный жом борщевика Сосновского (как промытый, так и не промытый) не соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 [11, 12]. Поэтому силос,

полученный только из жома борщевика, будет обладать низкой питательной ценностью в связи с очень низким содержанием сырого протеина.

Таким образом, жом борщевика Сосновского по изученным физико-химическим характеристикам можно использовать для получения силоса, но в качестве дополнительного (неосновного) сырья, так как особой питательной ценности он не будет иметь в связи с низким содержанием сырого протеина. Кроме того, в составе жома борщевика Сосновского есть фуранокумарины, содержание которых также необходимо изучить.

К субстратам для компостирования и компостам нет требований, регламентированных ГОСТ. Поэтому необходимо экспериментально изучить возможность и эффективность компостирования жома борщевика.

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие основные выводы:

1. По изученным физико-химическим показателям непромытый жом и промытый жом отличаются незначительно. За счет большего вымывания водорастворимых веществ из жома при промывке промытый жом содержит меньше сырого протеина и сырой золы, больше сырой клетчатки.

2. Жом борщевика Сосновского содержит большое количество влаги (77–80%). При увеличении эффективности отжима сока содержание влаги должно снизиться.

3. Среди сухих веществ в жоме борщевика преобладает сырая клетчатка: она составляет как минимум четверть сухих веществ. Также в жоме борщевика содержится довольно много сырой золы (10,8–13,0% от сухих веществ), мало сырого протеина, моно- и олигосахаридов (менее 5% от АСВ), очень мало сырого жира (менее 0,5% от АСВ).

4. Из-за высокого содержания влаги и незначительного содержания гидролизуемых полисахаридов использование жома борщевика для получения гидролизатов нецелесообразно.

5. По содержанию сухого вещества, сырой золы и сырой клетчатки исследованный жом борщевика Сосновского (как промытый, так и не промытый) соот-

ветствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 для силоса [11, 12]. Данные показатели в результате силосования вряд ли заметно изменятся.

6. По содержанию сырого протеина в сухом веществе исследованный жом борщевика Сосновского (как промытый, так и не промытый) не соответствует требованиям ГОСТ Р 55986-2014 и ГОСТ 23638-90 [11, 12]. Поэтому силос, полученный только из жома борщевика, будет обладать низкой питательной ценностью в связи с очень низким содержанием сырого протеина.

7. Таким образом, жом борщевика Сосновского по изученным физико-химическим характеристикам можно использовать для получения силоса, но в качестве дополнительного (неосновного) сырья, так как особой питательной ценности он не будет иметь в связи с низким содержанием сырого протеина. Рекомендуется силосовать жом борщевика Сосновского вместе с силосными культурами, богатыми белком (например, бобовыми культурами).

8. Необходимо изучить содержание фурокумаринов в составе жома борщевика Сосновского и их влияние на процессы силосования и компостирования и на качество получаемых продуктов.

9. Необходимо экспериментально исследовать возможность и эффективность силосования и компостирования жома борщевика Сосновского.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2458106, подача заявки: 21.09.2010, публикация патента: 10.08.2012. URL: https://findpatent.ru/patent/245/2458106.html (дата обращения 09.03.2020).

2. 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 09.03.2020).

3. ГОСТ 32933-2014 (ISO 5984:2002). Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы): принят 29.08.2014; действ. с 01.01.2016. М. : Стандартинформ, 2015. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200114230 (дата обращения 09.03.2020).

4. ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Къельдаля: принят 03.12.2012; действ. с 01.07.2014. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200105311 (дата обращения 09.03.2020).

5. ГОСТ 5668-68. Хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли жира (с Изменениями N 1, 2, 3, 4): принят 15.07.1968; действ. с 01.07.1969. М.: Издательство стандартов, 1994. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200022324 (дата обращения 09.03.2020).

6. ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации: принят 15.11.2012; действ. с 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-31675-2012 (дата обращения 09.03.2020).

7. Назаренко М. Н. Совершенствование технологий получения инулина и фруктозо-глюкозного сиропа из топинамбура и их применение в производстве функциональных молочных продуктов : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01; 05.18.04. Краснодар, 2014. 171 с.

8. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. 367 с.

9. ГОСТ 5903-89. Изделия кондитерские. Методы определения сахара: принят 28.11.1989; действ. с 01.01.1991. М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-5903-89 (дата обращения 09.03.2020).

10. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: принят 13.12.2011; действ. с 01.01.2013; переизд. Март 2019. М. : Стандартинформ, 2019. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200089016 (дата обращения 09.03.2020).

11. 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 09.03.2020).

12. 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 09.03.2020).

Исследование возможности использования зеленой массы борщевика Сосновского для производства биоэтанола

Л. В. Устюжанинова [a], Е. А. Тиунова [b], И. А. Уржумцева [c], Е. А. Мартинсон [d]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 [b, c]
директор Института биологии и биотехнологии [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a]

Аннотация. В настоящее время производство биотоплива, в частности биоэтанола, является активно развивающейся отраслью промышленности в мире. Так как использование продовольственного сырья для производства биотоплива может привести к уменьшению производства продуктов питания и росту цен на них, то поиск непищевого сырья является особенно актуальным направлением в этой области. Целью данного исследования является изучение возможности использования сока из зеленой массы борщевика Сосновского для получения биоэтанола. Эффективность сбраживания различных образцов сока борщевика оценивали по содержанию этанола и остаточной концентрации сахаров (РВИ), определяемых экспериментально. При сбраживании нестерильных соков была отмечена бактериальная контаминация бражки, подавляющая рост дрожжей и спиртовое брожение. При этом максимальное содержание этанола составило 0,2% об. при степени биоконверсии РВИ 56,1%. Дрожжи штамма *S. cerevisiae* (*diastaticus*) ВКПМ Y-1218 довольно хорошо сбраживали стерильный сок борщевика: за 24 ч брожения степень биоконверсии РВИ достигала 97%, а концентрация этанола – 2,4% об. Полученное содержание этанола довольно низкое из-за низкого содержания РВИ в соках борщевика. Поэтому нужно рассмотреть различные варианты увеличения концентрации сбраживаемых сахаров в субстрате на основе сока борщевика.

Ключевые слова: биотопливо, биоэтанол, борщевик Сосновского, спиртовое брожение.

Введение. В настоящее время биотопливо является активно развивающейся отраслью промышленности с увеличивающейся долей в структуре мировой энергетики. Из трех видов биотоплива самым популярным является биоэтанол, особенно в Бразилии и США [1].

При всех достоинствах применения биотоплива есть несколько важных экологических и экономических аспектов его производства, которые могут вызвать неблагоприятные последствия. Например, использование для производства биотоплива сельскохозяйственного сырья вызвало в 2007–2008 гг. рост цен на продовольственные товары [1].

Таким образом, на данный момент особенно актуальным стал поиск непродовольственного сырья для получения биотоплива.

Известен патент РФ № 2458106 на получение биоэтанола из борщевика [2]. При этом «для получения биоэтанола используют борщевик дикорастущий

и культивируемый, содержащий сахарозу 17–31% от фазы бутонизации до фазы цветения» [2]. Наши исследования показали, что в дикорастущем на территории Кировской области борщевике Сосновского содержится около 1–3% масс. моно- и олигосахаридов суммарно при фактической влажности зеленой массы 82,7–89,4%. При такой фактической влажности содержание сахарозы 17–31% даже теоретически невозможно.

Поэтому целью данного исследования является изучение возможности использования сока, полученного из зеленой массы борщевика Сосновского, в качестве субстрата для получения биоэтанола.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

– изучить эффективность сбраживания нестерильных соков, полученных из зеленой массы борщевика Сосновского разными методами;

– изучить эффективность сбраживания стерильных соков, полученных из зеленой массы борщевика Сосновского разными методами;

– сравнить полученные данные между собой и с имеющимися литературными данными о выходе этанола.

Методы исследования. В качестве продуцента этанола были взяты дрожжи-сахаромицеты штамма *Saccharomyces cerevisiae* (*diastaticus*) ВКПМ Y-1218.

Для получения сока брали зеленую массу борщевика Сосновского на разных стадиях его вегетации:

– кусты до цветения в фазу бутонизации (сбор 22.06.2019);

– кусты в фазу цветения (сбор 18.07.2019);

– молодые не цветущие кусты только с листьями (сбор 18.07.2019).

Сок из зеленой массы борщевика Сосновского получали, используя следующие варианты (режимы процесса):

1) отжим сока борщевика без промывки и мацерации;

2) отжим сока борщевика с мацерацией (т. е. с применением смачивания жома небольшим количеством воды между первым и вторым отжимом);

3) отжим сока борщевика с промывкой между первым и вторым отжимом.

Сначала исследовали эффективность сбраживания нестерильного сока борщевика. Образцы сока, полученные различными вариантами из массы борщевика Сосновского в фазу бутонизации (сбор 22.06.19), были использованы без стерилизации в качестве субстрата для сбраживания дрожжами-сахаромицетами. Для сравнения был взят стерильный бульон Сабуро (содержащий 10 г/дм^3 пептона и 40 г/дм^3 глюкозы). Посевным материалом служила 16–20-часовая культура дрожжей, выращенная на сусло-агаре при 30 °С и смытая физиологическим раствором. Посевная доза составляла 0,4%. Брожение осуществляли в колбах емкостью 250 см^3 с гидрозатворами в термостате при температуре 30 °С в течение 24–48 часов.

Стерилизация соков, полученных из надземной части борщевика Сосновского в разных фазах вегетации, проводилась при 0,5 ати в течение 30 минут.

При сбраживании стерильных соков посевным материалом служила 16–20-часовая культура дрожжей, выращенная на сусло-агаре при 30 °С и смытая физиологическим раствором. Посевная доза составляла 4%. Брожение осуществляли в пробирках типа Falcon емкостью 50 см^3 с гидрозатворами в термостате при температуре 30 °С в течение 24–48 часов.

На каждом этапе исследования в культуральной жидкости после 24 и 48 часов брожения определяли:

– количество живых микроорганизмов (КОЕ/см^3) чашечным методом Коха [3] на среде № 2 ГРМ (Сабуро);

– концентрацию этанола методом, основанным на его окислении до уксусной кислоты и воды смесью бихромата калия с серной кислотой [4];

– концентрацию остаточных РВИ эбулиостатическим методом [5];

– активную кислотность (pH) с помощью pH-метра Аквилон pH METER-pH410 (Россия).

В качестве окончательных данных по концентрации РВИ и этанола, а также активной кислотности (pH) приведены средние значения двух параллельных определений.

При определении количества живых микроорганизмов производили 2–3 параллельных высева из двух разведений (обычно из 10^{-5} и 10^{-6}). Для при-

готовления агаризованной питательной среды использовали готовую сухую среду «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск. Чашки Петри с посевами выращивали 2–3 суток в термостате при температуре 30 °С. После инкубирования производили подсчет колоний на каждой чашке Петри. Расчет и обработку результатов по определению концентрации жизнеспособных клеток микроорганизмов проводили по ГОСТ ISO 7218-2015 [3] с использованием программы MS Excel, приняв доверительную вероятность равной 0,95.

Концентрация дрожжей в начале культивирования была рассчитана по концентрации дрожжей в посевном материале, определенной чашечным методом Коха [3], с учетом вносимой посевной дозы.

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам микробиологического анализа бражки, полученной при сбраживании нестерильных соков (табл. 1), бактерии, попавшие в сок с кустов борщевика и из воды, подавляют рост дрожжей, что приводит к подавлению брожения (табл. 3). На стерильном бульоне Сабуро дрожжи развивались довольно активно (табл. 1–3): ассимилировали за 2 суток 98% глюкозы и выделили этиловый спирт в количестве 16,7 мг/см^3 (2% об.).

Таблица 1

Изменение концентрации живых микроорганизмов при сбраживании нестерильных соков из массы борщевика Сосновского в фазе бутонизации (сбор 22.06.19) и стерильного бульона Сабуро

Субстрат	Время брожения, ч				
	0	24		48	
	Концентрация живых микроорганизмов, КОЕ/см^3				
	дрожжей	дрожжей	бактерий	дрожжей	бактерий
Нестерильный сок № 1	$(2,2\pm0,2)\cdot10^6$	$(2,0\pm0,3)\cdot10^4$	$(2,2\pm0,2)\cdot10^6$	$(1,5\pm0,2)\cdot10^3$	$(1,5\pm0,2)\cdot10^4$
Нестерильный сок № 2	$(2,2\pm0,2)\cdot10^6$	$(1,5\pm0,1)\cdot10^4$	$(1,5\pm0,1)\cdot10^4$	Менее $0,5\cdot10^5$	$(8,9\pm0,2)\cdot10^7$
Нестерильный сок № 3	$(2,2\pm0,2)\cdot10^6$	$(5,5\pm0,5)\cdot10^7$	$(1,2\pm0,2)\cdot10^7$	Менее $0,5\cdot10^5$	$(1,0\pm0,1)\cdot10^8$
Бульон Сабуро	$(2,2\pm0,2)\cdot10^6$	$(1,8\pm0,2)\cdot10^7$	0	$(1,9\pm0,1)\cdot10^7$	0

Таблица 2

Изменение концентрации РВИ и степени биоконверсии РВИ при сбраживании нестерильных соков из массы борщевика Сосновского в фазе бутонизации (сбор 22.06.19) и стерильного бульона Сабуро

Субстрат	Концентрация РВИ, мг/см^3			Степень биоконверсии РВИ,%	
	Время брожения, ч			Время брожения, ч	
	0	24	48	24	48
Нестерильный сок № 1	11,5	11,3	9,2	1,0	19,7
Нестерильный сок № 2	9,6	9,3	4,6	2,9	51,6
Нестерильный сок № 3	5,8	3,3	2,6	43,7	56,3
Бульон Сабуро	38,7	19,1	0,7	50,7	98,2

Таблица 3

Изменение значения pH и содержания этилового спирта при сбраживании нестерильных соков из массы борщевика Сосновского в фазе бутонизации (сбор 22.06.19) и стерильного бульона Сабуро

Субстрат	Активная кислотность pH, ед. pH			Концентрация этанола, мг/см^3	
	Время брожения, ч			Время брожения, ч	
	0	24	48	24	48
Нестерильный сок № 1	6,8	5,7	4,8	0,2	1,2
Нестерильный сок № 2	5,9	5,8	4,3	0,2	0,7
Нестерильный сок № 3	6,0	5,7	5,8	1,4	1,6
Бульон Сабуро	6,0	4,4	3,6	6,2	15,7

Микробиологический анализ культуральной жидкости после сбраживания стерильных соков борщевика показал отсутствие контаминации. В большинстве случаев за 24 ч количество дрожжей увеличилось (табл. 4), только в двух образцах концентрация дрожжей снизилась по сравнению с их начальным содержанием. С 24 ч до 48 ч брожения концентрация дрожжей либо немного уменьшилась, либо практически не изменилась (табл. 4).

По полученным результатам видно, что штамм дрожжей *S. cerevisiae* (*diastaticus*) ВКПМ Y-1218 довольно хорошо сбраживает сок борщевика в течение 24 часов: степень биоконверсии РВИ сока за это время составила 62–97% (табл. 5). Концентрация этанола в культуральной жидкости составила 2,0–18,8 мг/см^3 (табл. 6) или 0,3–2,4% об. Такой большой диапазон значений

связан с разной начальной концентрацией РВИ в соках, которая составляла от 5,8 до 41,2 мг/см^3 (табл. 5). За время брожения значение pH культуральной жидкости незначительно снизилось (табл. 6).

Таблица 4

Изменение концентрации живых микроорганизмов при сбраживании стерильных соков

Фаза вегетации кустов борщевика Сосновского, из которых получен сок	Номер варианта получения сока	Время брожения, ч		
		0	24	48
Кусты до цветения (сбор 22.06.19)	1	$(2,1\pm0,2)\cdot10^7$	$(1,1\pm0,1)\cdot10^7$	$(2,1\pm0,2)\cdot10^6$
	2	$(2,1\pm0,2)\cdot10^7$	$(5,6\pm0,1)\cdot10^6$	$(3,1\pm0,3)\cdot10^5$
	3	$(2,1\pm0,2)\cdot10^7$	$(4,0\pm0,4)\cdot10^7$	$(2,3\pm0,1)\cdot10^7$
Кусты во время цветения (сбор 18.07.19)	1	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(7,7\pm0,5)\cdot10^7$	$(5,2\pm0,4)\cdot10^7$
	2	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(7,0\pm0,5)\cdot10^7$	$(4,3\pm0,4)\cdot10^7$
	3	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(6,0\pm0,5)\cdot10^7$	$(6,1\pm0,2)\cdot10^7$
Молодые не цветущие кусты (сбор 18.07.19)	1	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(6,8\pm0,5)\cdot10^7$	$(5,2\pm0,4)\cdot10^7$
	2	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(4,5\pm0,4)\cdot10^7$	$(3,5\pm0,4)\cdot10^7$
	3	$(2,7\pm0,2)\cdot10^7$	$(5,1\pm0,4)\cdot10^7$	$(4,9\pm0,4)\cdot10^7$

Таблица 5

Изменение концентрации РВИ и степени биоконверсии РВИ при сбраживании стерильных соков

Фаза вегетации кустов борщевика Сосновского, из которых получен сок	Номер варианта получения сока	Концентрация РВИ, мг/см^3			Степень биоконверсии РВИ, %	
		Время брожения, ч			Время брожения, ч	
		0	24	48	24	48
Кусты до цветения (сбор 22.06.19)	1	11,5	1,9	1,9	83,5	83,5
	2	9,6	2,0	2,0	79,2	79,2
	3	5,8	2,2	1,8	62,1	69,0
Кусты во время цветения (сбор 18.07.19)	1	33,9	2,4	1,8	92,9	94,7
	2	24,4	1,3	1,2	94,7	95,1
	3	16,1	0,6	0,6	96,3	96,3
Молодые не цветущие кусты (сбор 18.07.19)	1	41,2	2,5	1,7	93,9	95,9
	2	27,1	0,9	0,9	96,7	96,7
	3	16,8	0,5	0,5	97,0	97,0

Таблица 6

Изменение значения pH и содержания этилового спирта при сбраживании стерильных соков

Фаза вегетации кустов борщевика Сосновского, из которых получен сок	Номер варианта получения сока	Активная кислотность pH, ед. pH			Концентрация этанола, мг/см^3	
		Время брожения, ч			Время брожения, ч	
		0	24	48	24	48
Кусты до цветения (сбор 22.06.19)	1	5,8	5,4	5,4	4,8	4,8
	2	6,2	5,5	5,5	3,2	3,2
	3	5,9	5,8	5,7	2,0	2,1

Кусты во время цветения (сбор 18.07.19)	1	4,9	4,7	4,7	16,4	16,5
	2	5,1	4,8	4,8	11,0	11,0
	3	5,3	4,8	4,9	6,8	6,9
Молодые не цветущие кусты (сбор 18.07.19)	1	5,0	4,7	4,7	18,8	19,1
	2	5,2	4,8	4,8	10,0	10,1
	3	5,3	4,9	4,9	6,0	6,0

Дальнейшее культивирование (с 24 до 48 ч) не привело к снижению концентрации РВИ и увеличению концентрации этанола (табл. 5–6), что, скорее всего, свидетельствует о том, что в культуральной жидкости остались в основном несбраживаемые моно- и олигосахариды.

В процессах брожения для получения высоких концентраций этилового спирта (9–11% об.) в культуральной жидкости используют растворы мелассы с концентрацией сахаров около 15–20% масс. [6]. В исследованных соках борщевика содержание сахаров (по РВИ) составляло от 0,6 до 4,1% масс. (табл. 2 и 5), а содержание этанола не превышало 2,4% об. (табл. 3 и 6).

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие основные выводы:

1. Нестерильный сок борщевика Сосновского не рекомендуется использовать в качестве субстрата в биотехнологических процессах, в том числе в процессах брожения, из-за наличия контаминирующей микрофлоры, подавляющей рост дрожжей.

2. Дрожжи штамма *S. cerevisiae* (*diastaticus*) ВКПМ Y-1218 довольно хорошо сбраживали стерильный сок борщевика: за 24 ч брожения степень биоконверсии РВИ достигала 97%, а концентрация этанола – 2,4% об.

3. Концентрация этанола по окончанию брожения зависит от начальной концентрации РВИ в субстрате и от степени их биоконверсии, поэтому в данном случае концентрация получаемого этанола лимитирована невысоким содержанием РВИ в соке борщевика: максимальная концентрация в полученных образцах сока составила 41,2 мг/см^3 (табл. 5) – это около 4,1% масс.

4. Сок, полученный из борщевика Сосновского, после стерилизации можно использовать для получения этанола, но его концентрация после брожения

будет недостаточно высокая. Поэтому нужно рассмотреть различные варианты увеличения концентрации сбраживаемых сахаров (РВИ) в субстрате на основе сока борщевика.

Библиографический список

1. Рябкова Н. С. Экономические перспективы развития биотоплива // Экономический научный журнал: оценка инвестиций. 2017. Т. 1. № 2-1(6). С. 32–40.
2. Патент РФ № 2458106, 21.09.2010. URL: https://findpatent.ru/patent/245/ 2458106.html (дата обращения 09.03.2020).
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 09.03.2020).
4. Ляпустин А. В., Шуплецова О. Н. Теоретические основы биотехнологии: лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы биотехнологии» / Вятский государственный университет. Киров : О-Краткое, 2008. 52 с.
5. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. 367 с.
6. Антология производства спирта: технология производства спирта из мелассы (патоки). URL: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Raw_material/productions_alcohol_from_melases.htm (дата обращения: 01.09.2019).

Селекция высокопродуктивных дрожжей-сахаромицетов для производства биоэтанола

Л. В. Устюжанинова [a], Е. А. Тиунова [b], И. А. Уржумцева [c], Е. А. Мартинсон [d]
старший преподаватель кафедры микробиологии [a]
студент группы Бб-4101-01-00 00 [b, c]
директор Института биологии и биотехнологии [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru [a], ujilucy9i@gmail.com [a]

Аннотация. В настоящее время в мировой экономике растет интерес к использованию биотоплива, в частности биоэтанола. Для снижения себестоимости биоэтанола необходимо получать максимальную концентрацию этанола в бражке. Но этанол является ингибитором роста микроорганизмов, поэтому для увеличения выхода этилового спирта необходимо использовать специальные штаммы микроорганизмов, адаптированные к повышенной концентрации этанола в среде. Целью данного исследования является проведение селекции для получения высокопродуктивных штаммов дрожжей-сахаромицетов, которые можно было бы использовать в производстве биоэтанола. Эффективность сбраживания растворов мелассы полученными после селекции культурами дрожжей-сахаромицетов оценивали по содержанию этанола и остаточной концентрации сахаров (РВИ), определяемых экспериментально. Проведенная селекция позволила получить культуры дрожжей, способных сбраживать растворы мелассы до содержания этанола в бражке 9,5–9,6% об. при степени биоконверсии РВИ 92,6–94,7%. Исходный штамм дрожжей сбраживал разбавленную мелассу до концентрации этанола 7,3–8,3% об. Необходимо продолжить работы по селекции дальше, чтобы уменьшить продолжительность брожения и по возможности еще увеличить максимально возможное содержание этанола в бражке.

Ключевые слова: биоэтанол, дрожжи, сахаромицеты, селекция.

Введение. В настоящее время в мировой экономике растет интерес к использованию биотоплива, в частности биоэтанола [1].

В процессах брожения для получения высоких концентраций этилового спирта (9–11% об.) в культуральной жидкости используют растворы мелассы с концентрацией сахаров около 15–20% масс. [2]. Чем выше концентрация этанола в бражке, тем выше продуктивность процесса и ниже себестоимость получаемого биоэтанола при прочих равных условиях. Но этанол является ингибитором роста микроорганизмов [2, 3], поэтому для увеличения выхода этилового спирта необходимо использовать специальные расы дрожжей, адаптированные к повышенной концентрации этанола в среде. Для получения таких штаммов дрожжей можно проводить их селекцию на средах с повышенным содержанием этанола [4].

Поэтому целью данного исследования является проведение селекции высокопродуктивных штаммов дрожжей-сахаромицетов для производства биоэтанола.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

– провести селекцию дрожжей-сахаромицетов на агаризованных средах с содержанием этанола 10–15% об.;

– отобрать несколько десятков колоний дрожжей, выросших на средах с повышенным содержанием этанола;

– сбродить субстрат на основе мелассы отобранными после селекции культурами дрожжей;

– определить концентрацию этанола в полученных образцах бражки;

– определить концентрацию остаточных РВИ в полученных образцах бражки и рассчитать степень биоконверсии РВИ;

– сравнить полученные данные между собой и с имеющимися литературными данными о выходе этанола.

Методы исследования. В качестве исходного продуцента этанола были взяты дрожжи-сахаромицеты штамма *Saccharomyces cerevisiae* (*diastaticus*) ВКПМ Y-1218.

Селекцию дрожжей проводили многократным пересеванием на питательные среды с содержанием этанола от 8 до 15% об. (8, 9, 10, 12 и 15% об.). Количество добавляемого этанола рассчитывали по правилу квадрата смешения в зависимости от объема среды и требуемого содержания этанола в ней. Этанол добавляли в среды асептически перед их розливом в чашки Петри (после стерилизации и охлаждения сред до температуры 45–50 °С). В качестве питательной основы использовали следующие субстраты: агар Сабуро (с содержанием 10 г/л пептона, 40 г/л глюкозы и 15 г/л агар-агара); сброженный сок борщевика с добавлением 40 г/л глюкозы и 15 г/л агар-агара; сброженный субстрат на основе разбавленной мелассы с добавлением 20 г/л глюкозы и 15 г/л агар-агара. Высев дрожжей осуществляли методом истощающего штриха для получения отдельных изолированных колоний.

Отобранные колонии дрожжей со сред с этанолом пересевали на скошенный агар Сабуро в пробирках.

Далее сбраживали субстрат из разбавленной мелассы отобранными после селекции культурами дрожжей. Посевным материалом служила 16-20-часовая культура дрожжей, выращенная на агаре Сабуро при 30 °С и смытая физиологическим раствором. Посевная доза составляла 10% при содержании дрожжей в инокуляте около $5{,}0\times10^8$ КОЕ/мл. Брожение осуществляли в течение 36 часов в пробирках типа Falcon емкостью 15 $см^3$ в термостате при температуре 30 °С и начальном значении pH 5,4±0,2.

После брожения в культуральной жидкости (бражке) определяли:

– концентрацию этанола методом, основанным на его окислении до уксусной кислоты и воды смесью бихромата калия с серной кислотой [5];

– концентрацию остаточных РВИ эбулиостатическим методом [6].

В качестве окончательных данных по концентрации РВИ и этанола приведены средние значения двух параллельных определений.

В исходном субстрате определяли начальное содержание РВИ эбулиостатическим методом [6]. Степень биоконверсии РВИ определяли как отношение количества ассимилированных РВИ к их начальному содержанию.

Результаты исследований, их обсуждение. На среде Сабуро отдельные колонии дрожжей прорастали даже при добавлении в среду 15% об. этанола. На среде, приготовленной на основе сока борщевика и бражки, – только при добавлении максимум 10–12% об. этанола. Это может свидетельствовать о том, что в соке борщевика и бражке, полученной из разбавленной мелассы, содержатся вещества, усиливающие ингибирующее действие повышенных концентраций этанола.

Для дальнейшей работы отбирали со всех чашек Петри отдельные колонии дрожжей, желательно самых больших по диаметру. На данный момент отобрано 34 колонии дрожжей после селекции на средах с содержанием этанола 10, 12 и 15% об. При этом 20 из 34 культур дрожжей (табл. 1) были исследованы на эффективность сбраживания разбавленной мелассы (n=3) с начальным содержанием РВИ 160–165 г/л (табл. 2).

Проведенная селекция позволила получить культуры дрожжей, способных сбраживать растворы мелассы до содержания в бражке 9,5–9,6% об. этанола при степени биоконверсии РВИ 92,6–94,7%. Исходный штамм дрожжей сбраживал разбавленную мелассу до концентрации этанола 7,3–8,3% об.

Не было выявлено однозначного влияния увеличения количества пересевов дрожжей на среды с этанолом до отбора и концентрации этанола на среде, с которой была отобрана культура дрожжей, на эффективность дальнейшего сбраживания разбавленной мелассы (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Список отобранных после селекции колоний дрожжей

Номер селекционной культуры дрожжей	Концентрация этанола в среде, с которой взята культура дрожжей,% об.	Количество пересевов культуры на среды с этанолом до отбора
1	15	4
2	12	4
3	12	4
4	12	4
5	12	4
6	12	4
7	12	1
8	12	4
9	12	3
10	10	4
11	10	2
12	10	3
13	10	3
14	10	3
15	10	2
16	10	3
17	10	3
18	10	3
19	10	2
20	10	2

Таблица 2

Результаты сбраживания разбавленной мелассы дрожжами после селекции

Номер селекционной культуры дрожжей	Концентрация этанола в бражке		Концентрация остаточных РВИ в бражке, г/л	Степень биоконверсии РВИ, %
	% об.	г/л		
1	7,5	59,4	37,0	77,6
2	8,3	65,1	37,5	77,3
3	8,3	65,1	36,5	77,9

4	9,5	74,6	24,7	85,1
5	7,8	61,7	37,5	77,3
6	8,8	69,7	28,9	82,5
7	9,1	71,7	20,9	87,4
8	7,7	60,5	11,4	93,1
9	9,5	74,9	11,9	92,6
10	8,6	68,0	12,8	92,1
11	9,6	75,5	9,97	93,8
12	8,2	64,5	15,7	90,3
13	9,1	71,5	10,5	93,5
14	9,3	73,2	8,1	95,0
15	9,3	73,2	8,6	94,7
16	9,2	72,6	7,6	95,3
17	8,4	66,6	8,6	94,7
18	8,9	70,3	9,0	94,4
19	8,6	68,0	8,1	95,0
20	9,6	75,5	8,6	94,7

Выводы. Таким образом, проведенная селекция позволила получить культуры дрожжей, способных бродить до содержания этанола в бражке 9,6% об. (максимальное содержание этанола в бражке при сбраживании исходными дрожжами до селекции было 8,3% об.).

Необходимо продолжить работы по селекции дальше, чтобы уменьшить продолжительность брожения и по возможности еще увеличить максимальное содержание этанола в бражке.

Библиографический список

1. Рябкова Н. С. Экономические перспективы развития биотоплива // Экономический научный журнал: оценка инвестиций. 2017. Т. 1. № 2-1(6). С. 32–40.
2. Антология производства спирта: Технология производства спирта из мелассы (патоки). URL: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Raw_material/productions_alcohol_from_melases.htm (дата обращения: 01.09.2019).
3. Патент РФ № 2458106, 21.09.2010. URL: https://findpatent.ru/patent/245/2458106.html (дата обращения 09.03.2020).
4. Основы биотехнологии : учеб. пособие для высш. пед. учеб. завед. / Т. А. Егорова, С. М. Клунова, Е. А. Живухина. М. : Издательский центр «Академия», 2003. 208 с.
5. Ляпустин А. В., Шуплецова О. Н. Теоретические основы биотехнологии : лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы биотехнологии» / Вятский государственный университет. Киров : О-Краткое, 2008. 52 с.
6. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. 367 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Определение витамина B_2 методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии

Т. П. Береснева [a], М. А. Загоскин [b], А. И. Фокина [c]
студент группы ХМм-2501-51-00 [a]
студент группы ХМб-2501-53-00 [b]
доцент кафедры ФХМО [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr21419@vyatsu.ru [a], zagoskin.19.99@gmail.ru [b], usr08614@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Рибофлавин (витамин B_2) – один из наиболее важных водорастворимых витаминов, участник окислительно-восстановительных процессов в организме. Витамин B_2 необходим не только человеку, но и обитателям почвы, деятельность которых определяет нормальное функционирование почвенной экосистемы в целом, в том числе при антропогенном воздействии на последнюю. Источником витамина могут быть почвенные цианобактерии. При всем многообразии методов определения витамина B_2, благодаря своей чувствительности и селективности, выделяется метод спектрофлуориметрии. Методики определения витамина B_2 в культуральной жидкости ЦБ данным методом отсутствуют. Кроме того, самым распространенным и доступным в учебных лабораториях является метод спектрофотометрии, что делает целесообразным исследования возможности его использования. Поэтому **целью** работы было исследование возможности определения витамина B_2 методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии в культуральной жидкости почвенных цианобактерий.

В ходе работы отработана методика определения витамина B_2 в модельных растворах методами спектрофлуориметрии и спекрофотометрии. Установлено, что между величиной аналитического сигнала, получаемого обоими методами, и концентрацией рибофлавина в водном растворе существует тесная взаимосвязь в диапазоне концентраций: для спектрофлуориметрии – 0, 00016–0,08 мкг/см^3, спектрофотометрии – 0,1–20 мкг/см^3. Полученные данные говорят о большей чувствительности метода спектрофлуориметрии, чем спектрофотометрии. Определена концентрация рибофлавина в культуральной жидкости культуры *Ficherella muscicola* методом спектрофлуориметрии. Она составила 1,2 мг/дм^3. В дальнейшем необходимо провести установку метрологических характеристик методики и при положительном результате исследования метрологических характеристик, рекомендовать методику для контроля содержания витамина B_2 в добавках на основе почвенных цианобактерий.

Ключевые слова: витамин B_2, спектрофотометрия, спектрофлуориметрия.

Введение. Рибофлавин (витамин B_2) – один из наиболее важных водорастворимых витаминов, участник окислительно-восстановительных процессов в организме. Он входит в состав активной группы основных окислительно-восстановительных ферментов, участвующих в переносе водорода, очень тесно связан с обменом белковых веществ. Рибофлавин распространен в растительных и животных продуктах [1]. Суточная потребность в витамине для взрослого человека со-

ставляет 2–2,5 мг. Витамин B_2 необходим не только человеку, но и обитателям почвы, деятельность которых определяет нормальное функционирование почвенной экосистемы в целом, в том числе при антропогенном воздействии на последнюю. Источником витамина B_2 могут быть почвенные ЦБ. Кроме того, данные микроорганизмы являются продуцентами многих других полезных веществ [2].

В литературе описаны спектрофотометрический метод анализа рибофлавина в культуральной жидкости штаммов-продуцентов, люмифлавиновый и флюорометрический методы определения рибофлавина в продуктах питания и премиксах, метод капиллярного электрофореза, метод определения витамина B_2 в пищевых продуктах с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, инверсионно-вольтамперометрический метод определения витамина B_2 на стеклоуглеродном электроде при анализе пищевых продуктов, определение рибофлавина в моче, слюне, сыворотке крови флуоресцентным методом титрования рибофлавинсвязывающим апобелком, люмифлавиновый метод определения общего рибофлавина в эритроцитах [3–9].

Однако при всем многообразии методов определения витамина B_2 благодаря своей чувствительности и селективности выделяется метод спектрофлуориметрии. Методики определения витамина B_2 в культуральной жидкости ЦБ данным методом отсутствуют. Кроме того, самым распространенным и доступным в учебных лабораториях является метод спектрофотометрии, поэтому есть необходимость исследовать его аналитические возможности в области определения B_2 в средах цианобактерий.

Поэтому **целью** работы было исследование возможности определения витамина B_2 методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии в культуральной жидкости почвенных цианобактерий. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1) отработать методики определения витамина B_2 в модельных растворах. Построить графики зависимости величин аналитического сигнала, получаемых на спектрофлуориметре и спектрофотометре, от концентраций рибофлавина в водном растворе;

2) определить концентрацию рибофлавина в культуральной жидкости культуры *Ficherella muscicola* методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии.

Методы исследования. Для построения калибровочных графиков использовали стандартный раствор витамина B_2 с концентрацией 10000 мкг/см^3. Из данного раствора путем разбавления готовили серию рабочих растворов, содержащих от 0,00016 мкг до 20 мкг рибофлавина в 1 см^3 раствора.

Измерения проводили на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (Россия) и спектрофлуориметре RF-5301 PC (Япония).

Для работы методом спектрофотометрии использовали длину волны 445 нм, измеряли оптические плотности растворов в кювете с толщиной светопоглощающего слоя 1,0 см относительно воды. Для работы методом спектрофлуориметрии использовали длину волны возбуждения 268 нм, измеряли спектры поглощения рибофлавина в кювете с толщиной светопоглощающего слоя 1,0 см.

После установки градуировочной зависимости, пределов обнаружения, аналитических областей определения методики были апробированы при определении концентрации витамина B_2 в КЖ цианобактерии *Ficherella muscicola* (выращенная на среде Громова № 6 без азота). Пробоподготовка была сделана по стандартной методике, применяемой для премиксов [10].

Результаты исследований, их обсуждение. Установлено, что уравнение зависимости интенсивности флуоресценции от концентрации витамина в растворе имеет вид: $y = 75040x + 830,36$ ($R = 0,99$), оптической плотности от концентрации – $y = 22,963x + 0,0022$ ($R = 0,99$). Диапазон определяемых концентраций методом спектрофлуориметрии в растворах без их предварительного разбавления составил 0, 00016–0,08 мкг/см^3, спектрофотометрии – 0,1–20 мкг/см^3.

Установлено, что метод спектрофлуориметрии позволяет определять более низкие концентрации, чем метод спектрофотометрии. С его помощью удалось обнаружить концентрацию B_2 в культуральной жидкости *Ficherella muscicola*, которая оказалась равной 1,2 мг/дм^3. В данных условиях не удалось обнаружить витамин методом спектрофотометрии.

Выводы:

1. Отработана методика определения витамина B_2 в модельных растворах методами спектрофлуориметрии и спекрофотометрии. Установлено, что между величиной аналитического сигнала, получаемого обоими методами, и концентрацией рибофлавина в водном растворе существует тесная взаимосвязь в диапазоне концентраций: для спектрофлуориметрии – 0, 00016–0,08 мкг/см^3, спектрофотометрии – 0,1–20 мкг/см^3. Полученные данные говорят о большей чувствительности метода спектрофлуориметрии, чем спектрофотометрии.

2. Определена концентрация рибофлавина в культуральной жидкости культуры *Ficherella muscicola* методом спектрофлуорометрии. Она составила 1,2 мг/дм^3.

Библиографический список

1. Шапиро Д. К. Практикум по биологической химии. 2-е изд. Минск: Вышэйш. шк., 1976. 288 с.
2. Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) / С. В. Дидович, С. В. Москаленко, А. Д. Темралеева, С. А. Хапчаева // Вопросы современной альгологии. 2017. № 2 (14). URL: http://algology.ru/1170.
3. Шпичка А. И., Семенова Е. Ф., Кузнецова А. В. К вопросу определения рибофлавина в биотехнологическом сырье // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 1. С. 30–32.
4. ГОСТ EN 14152-2013. Продукты пищевые. Определение витамина В(2) с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии : принят 5.11.2013 ; действ. с 1.07.2015. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200109207.
5. ГОСТ 30627.6-98. Продукты молочные для детского питания. Методы измерений массовой доли витамина В(2) (рибофлавина): принят 12.11.1998 ; действ. с 05.2000. М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200021713.
6. ГОСТ 29139-91. Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина В(2) (рибофлавина) : принят 29.11.91; действ. с 01.01.1993. М. : Стандартинформ, 2007. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200022413/
7. ГОСТ 31483-2012. Премиксы. Определение содержания витаминов: В(1) (тиамин-хлорида), В(2) (рибофлавина), В(3) (пантотеновой кислоты), В(5) (никотиновой кислоты и никотинамида), В(6) (пиридоксина), В(с) (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза : принят 24.05.2012; действ. с 1.07.2013. М. : Стандартинформ, 2012. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200095471.
8. Слепченко Г. Б., Мартынюк О. А., Шелеметьева О. В. Разработка методик определения в грудном молоке витаминов группы В // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. 2008. № 3. С. 58–61.
9. Чиркин А. А., Горовая М. В. Рибофлавин: биологические, медицинские и экологические аспекты // Ученые записки ОУ «ВГУ им. П. М. Машерова». Естественные науки. Химия. 2004. Т. 3. С. 244–258.
10. ГОСТ 32042-2012. Премиксы. Методы определения витаминов группы В : принят 3.12.2012; действ. с 1.07.2014. М. : Стандартинформ, 2014. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200104846.

Сравнительный анализ состава и свойств лекарственных препаратов и лекарственных форм, содержащих иод

С. Э. Большакова [a], Е. В. Береснева [b]
студент группы ХМб-4501-53-00 [a]
кандидат педагогических наук, профессор кафедры ФХМО [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: bs563368@gmail.com [a], usr11511@vyatsu.ru [b]

Аннотация. *Актуальность:* в связи с ростом проблемы иододефицита возрастает и число потребителей лекарственных препаратов, применяемых для коррекции дефицита иода и лечения заболеваний щитовидной железы. Простому потребителю становится сложно разобраться в том, какой препарат лучше использовать и покупать на фармацевтическом рынке. *Цель статьи* – освещение проблемы выбора качественного лекарственного препарата, содержащего в своем составе иод, среди импортных и отечественных медикаментов. *Методы исследования:* метод аргентометрического титрования с применением адсорбционного индикатора – для определения количественного содержания иодида калия; метод «Введено-найдено» – для доказательства правильности полученных результатов для импортных препаратов, на которые нет методики, регламентированной фармакопейной статьей. *Результаты исследования:* полученные результаты на импортные препараты свидетельствуют о том, что оригиналы препаратов вполне можно заменить продукцией отечественных фармацевтических заводов, так как они имеют одинаковый состав и фармакологические свойства. *Выводы и область применения результатов:* ассортимент лекарственных препаратов возрос, причем во многом за счет введения в ассортиментный перечень препаратов-синонимов различных фирм производителей. Полученные результаты по импортным и аналоговым лекарственным препаратам, содержащим в своем составе иод, будут интересны и полезны для населения, здравоохранения и фармацевтического рынка в целом.

Ключевые слова: иодид калия, количественное определение иода, аргентометрическое титрование, метод «Введено-найдено», стабильность лекарственных препаратов.

Введение. По Кировской области иоддефицитные заболевания являются одними из наиболее распространенных неинфекционных заболеваний человека. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации (МЗ РФ), показатель заболеваемости патологиями щитовидной железы вырос на 12,1%. В связи с ростом проблемы иододефицита возрастает и число потребителей лекарственных препаратов (ЛП), применяемых для коррекции дефицита иода и лечения заболеваний щитовидной железы [1].

На современном фармацевтическом рынке наблюдается повышенный спрос на иодсодержащие ЛП. По данным маркетинговых исследований, наиболее популярными среди населения являются такие препараты, как «Йодомарин®100», «Йодомарин®200», «Йодбаланс®100», «Йодбаланс®200», «Йодид ка-

лия 200» и биологически активные добавки, содержащие иод. Простому потребителю сложно разобраться в том, какой препарат лучше использовать, и часто он берет дорогое лекарственное средство, считая, что «чем дороже, тем лучше».

Среди актуальных проблем в фармакологической индустрии является исследование стабильности лекарственных средств в зависимости от различных факторов и установление оптимальных условий хранения. Нужно помнить, что эффективность медикаментов напрямую зависит от того, где и как они хранились.

Фармакологический рынок предлагает огромный ассортимент препаратов иода, как импортных, так и их аналогов отечественного производства. В табл. 1 представлена сравнительная стоимость препаратов, которые мы выборочно взяли для исследования.

Таблица 1

Сравнительная стоимость оригинального лекарственного средства и его аналога

Категория препарата	Название	Состав	Цена (руб.)
Оригинал (Германия)	Йодомарин®100	Калия йодид + вспомогательные вещества	100 шт. – 130
	Йодомарин®200		100 шт. – 245
	Йодбаланс®100		100 шт. – 120
	Йодбаланс®200		100 шт. – 170
Аналог Оболенское фармацевтическое предприятие ЗАО (Россия)	Калия йодид 100	Калия йодид	100 шт. – 76
	Калия йодид 200		100 шт. – 118

По приведенным результатам видно, что «Йодомарин®100, 200» и «Йодбаланс®100, 200» по стоимости превышают отечественные аналоги почти в два раза.

Чтобы проверить, всегда ли дорогой препарат содержит больше активного компонента и является более ценным, мы поставили *цель*: исследовать количественное содержание иодида калия и влияние условий хранения на стабильность лекарственных препаратов, содержащих калия иодид в качестве активного вещества.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие *задачи*:

1. Проанализировать имеющуюся литературу по исследуемой проблеме.

2. Отобрать методики, по которым будет сделано определение иодида калия в лекарственных препаратах, и провести эксперимент по определению содержания иода в различных препаратах.

3. Подтвердить правильность методики на препараты «Йодбаланс®200» и «Йодомарин®200» методом «Введено-найдено».

4. Выявить оптимальные условия хранения лекарственных препаратов без потери действующего вещества и фармакологического эффекта.

Методы исследования. Определение содержания иода выполняют разнообразными методами: титриметрическим, фотометрическим, потенциометрическим, хроматографическим, амперометрическим, но МЗ РФ рекомендует титриметрический метод [2, 3].

Одним из наиболее распространенных способов количественного определения иодида калия в ЛП, регламентированного фармакопейной статьей, является Метод Фаянса – аргентометрическое титрование с применением адсорбционного индикатора (эозината натрия). Иодид серебра адсорбирует на себе одноименные ионы, появляется ярко-розовая окраска [4, 5].

Объектами исследования служили две формы (жидкие и твердые) ЛП: «Калия йодид 200», «Йодбаланс®200», «Йодомарин®200», йода спиртовой раствор 5%, люголя раствор с глицерином.

Эксперимент по количественному содержанию иода в ЛП проводился на разных препаратах в нескольких повторностях, были исключены промахи и недостоверные результаты в выборках. Такой экспериментальный план повышает точность оценки интересующего нас параметра, а именно содержание иодид-иона.

На начало эксперимента были зафиксированы результаты количественного анализа данных ЛП. Анализы проводились каждые два-три месяца с целью выявить влияние внешних факторов, таких как температура, свет, влажность, на стабильность данных ЛП.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе определения иода в ЛП получились результаты, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание иода в лекарственных препаратах

Параметры	Йодид калия 200	Йодомарин®200	Йодбаланс®200
m(KI) – в одной таблетке по результатам эксперимента, мг	0,262±0,011	0,262±0,014	0,262±0,012
m(I⁻) – в одной таблетке в пересчете по результатам эксперимента, мг	0,200±0,001	0,200±0,002	0,202±0,004
Номинальное значение, мкг	m(KI) = 262 m(I⁻) = 200	m(KI) = 262 m(I⁻) = 200	m(KI) = 261,6 m(I⁻) = 200

По полученным результатам можно сделать вывод, что экспериментально найденное содержание действующего вещества иодида калия в ЛП незначительно отличается от указанного на упаковке. Это свидетельствует о том, что на упаковке ЛП содержание действующего вещества указано верно.

Известно, что на импортные препараты нет методики по определению количественного содержания иода, регламентированной фармакопейной статьей, поэтому мы доказываем правильность полученных результатов для препаратов «Йодомарин®200» и «Йодбаланс®200» методом «Введено-найдено» [6].

Метод основан на анализе образца с известным содержанием определяемого компонента. В нашем случае +20% от количества действующего вещества. Полученный результат («найдено») сравнивают с заданным содержанием («введено»).

В ходе проведения анализа с известной добавкой получились результаты, которые представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Препарат «Йодомарин®200»

Введено, мкг	Найдено, мкг	$X_{ср.}$ найдено, мкг	σ	$t_{экспр.}$	$t_{табл.}$ (p = 0,9; n = 3)	Вывод
78,9	66,4	70,0	3,76	1,37	4,3	1
	69,7					
	73,9					

Таблица 4

Препарат «Йодбаланс®200»

Введено, мкг	Найдено, мкг	$X_{ср.}$ найдено, мкг	σ	$t_{экспр.}$	$t_{табл.}$ (p = 0,95; n = 3)	Вывод
78,9	69,8	71,8	1,76	2,33	4,3	1
	72,5					
	73,1					

По результатам таблиц делаем вывод, что метод Фаянса для обоих препаратов пригоден, так как экспериментальное количество («найдено») входит в область с допустимой погрешностью к заданной добавке («введено»), удовлетворяя всем требованиям.

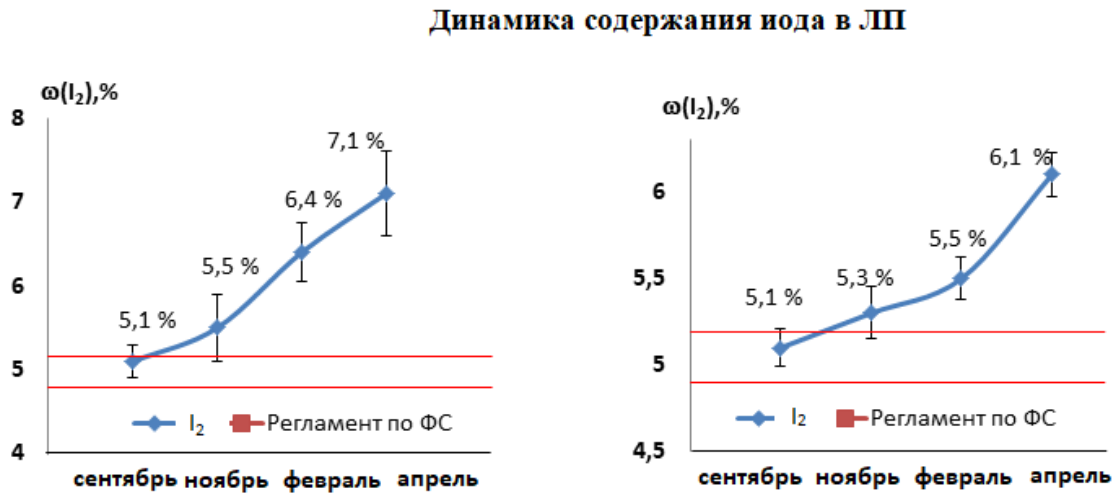
Следующим этапом было выяснение стабильности лекарственных препаратов при хранении их в разных условиях (табл. 5). По полученным результатам можно сделать вывод, что содержание действующего вещества иодида калия при пересчете на иодид-ион в целом остается неизменным с изменением условий хранения и соответствует количеству, заявленному на упаковке лекарственного препарата.

Для сравнения были взяты жидкие лекарственные формы – *Solutio lodi spirituosa 5%* и *Solutio Lugoli cum glycerine.* При их хранении в месте с повышенной температурой наблюдали увеличение массовой доли иода в спиртовом растворе (рис. 1). Можно предположить, что это связано с испарением спирта.

Таблица 5

Содержание иода в лекарственных препаратах

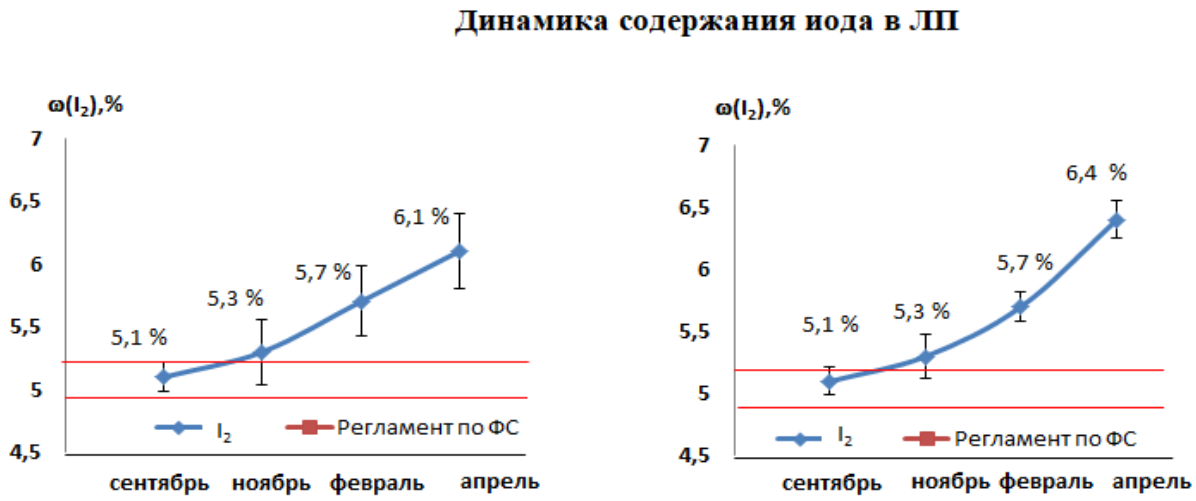
Экспериментальный показатель		Темное сухое место	Влажность	Повышенная температура	Свет
Калия йодид 200	m(KI) – в 1 табл., мг	0,262±0,006	0,262±0,015	0,263±0,017	0,262±0,013
	m(I⁻) – в 1 табл., мг	0,200±0,002	0,200±0,005	0,201±0,005	0,200±0,005
Йодбаланс®200	m(KI) – в 1 табл., мг	0,262±0,008	0,262±0,014	0,263±0,013	0,262±0,015
	m(I⁻) – в 1 табл., мг	0,200±0,003	0,200±0,007	0,201±0,004	0,200±0,003
Йодомарин®200	m(KI) – в 1 табл., мг	0,262±0,009	0,262±0,018	0,263±0,013	0,262±0,015
	m(I⁻) – в 1 табл., мг	0,200±0,005	0,200±0,004	0,201±0,004	0,200±0,006
Номинальное значение, мкг				m(KI) = 262 m(I⁻) = 200	



Solutio lodi spirituosa 5% *Solutio Lugoli cum glycerine*

Рис. 1. Динамика содержания иода в ЛП

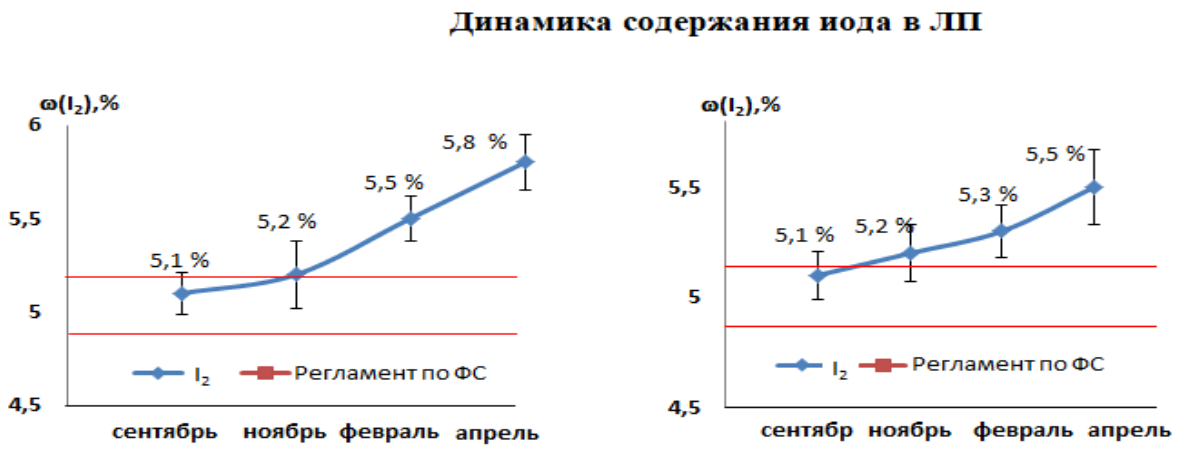
При хранении данных ЛП в месте с повышенной влажностью происходит постепенное увеличение массовой доли иода в связи с тем, что в состав обоих препаратов входит гигроскопичная жидкость – глицерин и этанол (рис. 2).



Solutio lodi spirituosa 5% *Solutio Lugoli cum glycerine*

Рис. 2. Динамика содержания иода в ЛП

Влияние прямых солнечных лучей ведет к распаду химических веществ, уменьшая их содержание в ЛП, что укорачивает срок хранения. Иодид калия не стабилен на свету, он окисляется, образуя свободный иод. По этой причине его концентрация может падать, а иода – увеличиваться (рис. 3).



Solutio lodi spirituosa 5% *Solutio Lugoli cum glycerine*

Рис. 3. Динамика содержания иода в ЛП

При хранении в темном сухом месте и в месте с пониженной температурой содержание действующих веществ в ЛП практически не изменялось. Таким образом, исходя из результатов эксперимента, можно выявить оптимальные условия хранения для данных ЛП: ЛП, в которых иод содержится в виде иодид-иона, хранить в сухом месте в той упаковке, которая заявлена производителем, а ЛП, в которых иод является активным веществом, хранить в закрытой упаковке и в защищенном от попадания прямых солнечных лучей месте.

Выводы:

1. Проанализировав имеющуюся литературу по исследуемой проблеме, выяснили, что иод – один из важнейших микронутриентов, без которых наш организм не может полноценно функционировать, поэтому запасы его нужно постоянно пополнять.

2. По выбранным методикам экспериментально доказали количественное содержание иода в ЛП, как отечественных, так и импортных «Йодбаланс®200» и «Йодомарин®200».

3. Проверка методом «Введено-найдено» показала, что примененная методика может быть использована на импортные иодсодержащие препараты. Оригиналы препаратов вполне можно заменить продукцией отечественных фармацевтических заводов, так как у них одинаковый состав и одинаковые фармакологические свойства.

4. Выявили физико-химические процессы, происходящие при ненадлежащем условии хранения ЛП, влияющие на их стабильность. *Solutio lodi spirituosa 5%* и *Solutio Lugoli cum glycerine* следует хранить в закрытой упаковке и защищенном от света месте для сохранения фармакологического эффекта без потери действующего вещества [7].

Библиографический список

1. Герасимов Г. А., Фадеев В. В. Йоддефицитные заболевания в России. Простое решение сложной проблемы. М : Адамантъ, 2002. 168 с.
2. Золотов Ю. А. Основы аналитической химии. 6-е изд. М. : Изд. центр «Академия», 2014. 416 с.
3. ГОСТ 4232-74 Реактивы. Калий йодистый. Технические условия : принят 01.03.2006, дата последнего изменения 12.09.2018. М : Стандартформ, 2006. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/3492/ (дата обращения 02.03.2020).
4. ФС.2.2.0008.15 Калия йодид. Технические условия : принят 03.12.2010, дата последнего изменения 29.10.2015 URL: https://pharmacopoeia.ru/fs-2-2-0008-15-kaliya-jodid/ (дата обращения 02.03.2020).
5. Фокина А. И., Лялина Е. И. Курс лекций по аналитической химии (химические методы анализа). Киров : ВятГУ, 2017. 308 с.
6. Жебентяев А. И. Аналитическая химия. Химические методы анализа. Минск : Новое знание ; М. : Инфра-М, 2011. 542 с.
7. Физико-химические и биологические методы оценки качества лекарственных средств : учеб. пособие / А. И. Сливкин, В. Ф. Телеменев, Е. А. Суховерхова. М. : Воронеж : Изд-во ВГУ, 2000. 368 с.

Биоразлагаемые композиты на основе ПЛА и крахмала

А. А. Бурков [a], М. Ф. Хозяинова [b]
кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП [a]
студент группы ХТм-2501-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: aa_burkov@vyatsu.ru [a], stud105245@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Замена небиоразлагаемого полимерного материала на более экологичный материал, без сомнения, является одной из самых обсуждаемых тем на сегодняшний день.

Идея заключается в том, что синтетические пластмассы должны быть заменены на биополимерные или биодеградируемые материалы. Биополимер или биопластик – это пластичный материал, который получен из природных источников, таких как, например, растительные.

Сочетание такого биоразлагаемого пластика полилактида (ПЛА, достаточно дорогого полимера) с крахмалом (более дешевым материалом) используется для улучшения механических свойства композита и снижения себестоимости продукции. Поэтому в данной работе было предложено исследование режимов смешения и свойств таких композитов. Смешение осуществлялось в микросмесителе при 170 °С при 60 об/мин в течение 30 минут. Для того чтобы улучшить совместимость смеси ПЛА/крахмал, использовались компатибилизаторы, а именно малеиновый ангидрид и пероксимон F40.

Композит ПЛА/крахмал является биоразлагаемым полимерным материалом, который можно использовать в производстве в обрабатывающей промышленности, например в пищевой упаковке.

Ключевые слова: крахмал, PLA, композиты, биоразлагаемость.

Введение. Синтетические пластмассы сделаны из полимерного материала на основе нефти и являются наиболее распространенным используемым пластиком на сегодня. Наиболее практичным решением для утилизации пластмассовых отходов является переход на биоразлагаемые материалы для производства продукта. Если нынешний пластик изготавливается из ископаемых материалов, то пластик будущего может быть изготовлен из биоразлагаемых материалов, таких как крахмал и полимолочная кислота (ПЛА). Биопластик в основном состоит из возобновляемых материалов. Тем не менее каждый из материалов имеет несколько слабых мест. Крахмал дешевый и легкодоступный по сравнению с ПЛА. Полимер на основе крахмала обладает низкими механическими и барьерными свойствами. Между тем ПЛА проявляет высокие механические и барьерные свойства, несмотря на свою дороговизну.

Синтетический пластик обладает свойствами, превосходящими оба материала. Для того чтобы догнать синтетический пластик, была разработана смесь

крахмал/ПЛА, чтобы уменьшить недостатки друг друга. Смесь крахмал/ПЛА – это перспективный продукт, который безопасен, биоразлагаем и относительно устойчив. Отличные свойства обоих материалов сохраняются, а худшие свойства компенсируются друг другом. Это безопасно для человека и окружающей среды. Поскольку оба материала происходят из растений, которые являются биоразлагаемыми, утилизация пластиковых отходов легко выполнима. Процесс разложения, который занимал столетия, сокращается до нескольких месяцев. Из предыдущих исследований видим, что смесь ПЛА/крахмал в основном используется в производстве биоразлагаемых полимеров и упаковки пищевых продуктов. Крахмалы модифицировали добавлением пластификатора или компатибилизатора перед смешиванием с ПЛА. Таким образом, взаимодействие между крахмалом и матрицей ПЛА может быть усилено.

Методы исследования. В работе использовали экструзионный ПЛА марки “Ingeo 4043D” производства “NatureWorks” плотностью 1,24 г/см^3 и картофельный крахмал с содержанием амилозы 20–30% и амелопектина 70–80%.

Крахмал и ПЛА сушили в сушильном шкафу порядка 8 часов при температуре 70 °С. Композиты были приготовлены в соответствии с соотношениями таблицы (см. ниже) в двухроторном смесителе закрытого типа при температуре 160 °С и скорости вращения роторов 60 об/мин. После ввода каждого ингредиента выдерживалось 5 минут смешения, после добавления последнего компонента время увеличивалось до 20 минут.

Составы смесей ПЛА/крахмала

Номер	Соотношение ПЛА/крахмал	Тип компатибилизатора
1	60% ПЛА / 40% крахмала	Перекись дикумила, малеиновый ангидрид
2	40% ПЛА / 60% крахмала	Пероксимон F40, малеиновый ангидрид
3	40% ПЛА / 60% крахмала	Пероксимон F40 малеиновый ангидрид, более высокие дозировки
4	40% ПЛА / 60% крахмала	–
5	30% ПЛА / 70% крахмала	Пероксимон F40, малеиновый ангидрид

Результаты исследований

На начальном этапе были приготовлены смеси № 1, 2, 3. Все три смеси сильно не отличались друг от друга по внешним и технологическим свойствам. Поэтому было решено приготовить смеси с меньшим содержанием ПЛА, что удешевляет композицию, и с меньшим содержанием компатибилизаторов. Также для сравнения был приготовлен состав без добавок.

При смешении 2, 3, 5-й смесей был резкий неприятный запах из-за добавления малеинового ангидрида. В результате получился гладкий, но хрупкий пластик (см. рис. 1).

При получении первой смеси также наблюдался резкий неприятный запах. После добавления к ПЛА перекиси объем смеси увеличился в два раза, что усложнило смешение. В результате получился пластик с шероховатой поверхность, с резанными краями и по-прежнему хрупкий (рис. 2).

Все образцы имеют хорошие технологические свойства, не крошатся, хорошо вальцуются.

Рис. 1. Внешний вид образца № 2

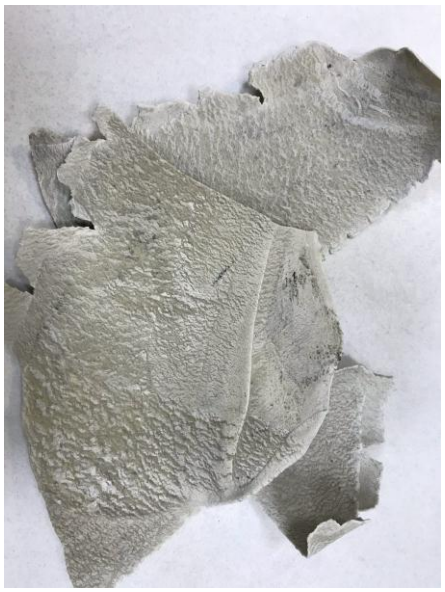


Рис. 2. Внешний вид образца № 1

Выводы. Смесь ПЛА/крахмал является перспективным материалом, который может конкурировать с обычным пластиком по своим механическим свойствам. Из предыдущих исследований видно, что каждый автор использовал

различную смесь, соотношение и процесс смешивания для создания биокомпозитного материала. Такой композит главным образом нужен для того, чтобы заменить синтетические полимеры.

Исходя из результатов исследований, можно сказать, что самый хороший состав на данный момент – это смесь № 5, так как в ней содержится меньше ПЛА (30 масс. ч.) и компатибилизаторов, что удешевляет композит, а по своим свойствам он не уступает другим смесям.

Библиографический список

1. Ilyas R. A., Sapuan S. M., Sanyang M. L. Nanocrystalline cellulose reinforced starch-based nanocomposite: A review // 5th Postgraduate Seminar on Natural Fiber Composites. 2016. P. 82–87. Serdang, Selangor: Universiti Putra Malaysia.
2. Nazrin A., Sapuan S. M., Ilyas R. A. Thermoplastic starch blended poly(lactic) acid for Food packaging application : Mechanical properties // 6th Postgraduate Seminar on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. 2018. P. 79–84. Serdang.
3. Rachel Katz // Biodegradable Polymers: Blends of Starch and Poly(lactic) Acid. 2009.
4. Sanyang M. L., Ilyas R. A., Sapuan S. M. Sugar palm starch-based composites for packaging applications // Bionanocomposites for Packaging Applications. 2018. P. 125–147. Cham: Springer International Publishing.
5. Sanyang M. L., Sapuan S. M., Jawaid. Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films. 2016. Carbohydrate Polymers, 146, 36–45.
6. Xiong Z., Li C., Ma S. The properties of poly(lactic acid)/starch blends with a functionalized plant oil: Tung oil anhydride. 2013. Carbohydrate Polymers.
7. Xiong Z., Ma S., Fan L. Surface hydrophobic modification of starch with bio-based epoxy resins to fabricate high-performance polylactide composite materials. 2014. Composites Science and Technology, 94, 16–22.
8. Xiong Z., Zhang L., Ma S. Effect of castor oil enrichment layer produced by reaction on the properties of PLA/HDI-g-starch blends. 2013. Carbohydrate Polymers, 94(1), 235–243.

Получение сополимеров (винилиденфторид-гексафторпропилен) с высоким содержанием ГФП в своем составе

А. Н. Бушуев [a], И. В. Толстобров [b], О. В. Елькин [c], В. А. Кряжевских [d]
м. н. с. центра компетенций «Экологические технологии и системы» [a, b]
кандидат химических наук, в. н. с. центра компетенций
«Экологические технологии и системы» [c]
аспирант кафедры химии и технологии переработки полимеров [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr08083@vyatsu.ru [a], usr08669@vyatsu.ru [b], ov_elkin@vyatsu.ru[c], usr21806@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Сополимеры на основе винилиденфторида (ВДФ) и гексафторпропилена (ГФП) являются перспективными материалами, обладающими рядом уникальных свойств [1, с. 12, 2, с. 107], однако получение сополимеров ВДФ-ГФП с высоким содержанием ГФП в их составе затруднено в силу высокой инертности последнего. Таким образом, в работе подобраны условия синтеза сополимеров ВДФ-ГФП с повышенным содержанием ГФП, полученные образцы изучены методами гель-проникающей хроматографии (ГПХ), дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и ИК-спектрометрии. Подтвержден химический состав полученных полимеров, соответствующий виду $–(CH_2\text{-}CF_2)_n\text{-}(CF_2\text{-}CF(CF_3))_m\text{-}$. Измерены молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение полученных образцов и показано, что синтезированные сополимеры пригодны для переработки экструзией.

Ключевые слова: сополимер, винилиденфторид, гексафторпропилен.

Введение. В настоящее время функциональные полимеры, обладающие новыми уникальными свойствами, нашли широкое применение и их производство только растет. Фторированные полимеры являются особенно интересными и привлекательными соединениями из-за их универсальности и их уникального сочетания свойств [2, с. 107, 3, с. 16], главным образом, связанных с низкой поляризуемостью и сильной электроотрицательностью атома фтора. Фторопласты с высоким содержанием фтора обладают высокой термической, химической устойчивостью к старению и погодным условиям, отличной инертностью по отношению к растворителям, углеводородам, кислотам и щелочам, обладают низкой воспламеняемостью, низким показателем преломления, низкой поверхностной энергией (высокоэффективные масла и водоотталкивающие свойства) и слабым водопоглощением. Наличие сильной связи C-F [2, с. 108, 3, с. 18] оказывает решающее влияние на высокую устойчивость к окислению и гидролизу, благодаря чему эти полимеры используются во многих областях: строительной промышленности (краски и покрытия, стойкие к ультрафиолетовому излучению), нефтехимической и автомобильной промышленности, аэрокосмической и

авиационной промышленности (использование эластомеров в качестве уплотнений, прокладок, уплотнительных колец, используемых в экстремальных условиях), в химическом машиностроении (изготовление высокопроизводительных мембран), оптике (сердцевина и оболочка из оптических волокон), обработке текстиля, камня (особенно для старых памятников), микроэлектронике.

Несмотря на их высокую цену (в основном связанную с трудностями процесса полимеризации, стоимостью очистки газообразных мономеров и с небольшими масштабами производства), эти полимеры широко применяются в современных технологиях [2, с. 110, 4, с. 6633]. Однако фторполимеры имеют различные недостатки: гомополимеры часто являются кристаллическими, проявляют плохую растворимость в обычных органических растворителях и их трудно отверждать или сшивать. Вот почему получение фторированных сополимеров [2, с. 108, 4, с. 6635, 5, с. 102] (с участием смеси сомономеров, которая вызывает нарушение макромолекулы и, следовательно, снижает или устраняет высокую кристалличность гомополимера) значительно выросло, при этом сополимеры, как правило, не обладают недостатками упомянутых гомополимеров.

Одним из наиболее перспективных материалов, свойства которого возможно изменять в широких пределах, является сополимер винилиденфторида и гексафторпропилена (ВДФ-ГФП) [2, с. 108, 6, с. 4, 7, с. 8122]. Однако известны трудности при получении данного сополимера с высоким содержанием ГФП в его составе [2, с. 108, 4, с. 6636], связанные в первую очередь с достаточно высокой инертностью гексафторпропилена.

Таким образом, данная работа посвящена синтезу сополимеров ВДФ-ГФП различного состава с повышенным содержанием ГФП в составе сополимера и изучению влияния условий синтеза на характеристики полученных материалов.

Методы исследования [2, с. 112, 4, с. 6637, 5, с. 128]. Синтез сополимера проводился в реакторе закрытого типа объемом 0,5 л с возможностью поддержания давления до 100 атмосфер и температуры 300 °С (производства фирмы AMAR EQUIPMENTS PVT. LTD, Индия). Температуру процесса поддерживали

в диапазоне от 70 до 85 °С, давление варьировалось от 45 до 75 атмосфер с шагом 5 атмосфер, продолжительность синтеза составила 3 часа. Соотношение мономеров ВДФ и ГФП в питающей смеси реактора поддерживалось в диапазоне от 1:1 до 1: 10 соответственно. В качестве реакционной среды использовалась дистиллированная вода. Инициатором служил персульфат аммония. Образцы сополимера получали путем коагулирования латекса вымораживанием при минус 10 °С с последующей фильтрацией и сушкой при 80 °С в течение часа.

Полученные образцы анализировались методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), ИК-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии (ГПХ).

Результаты и обсуждение. Анализ полученных сополимеров методом гель-проникающей хроматографии показал весьма значительную разницу в молекулярных весах образцов, синтезированных при различных давлениях мономера. На рисунках ниже представлены результаты исследования методом ГПХ двух образцов, полученных при наибольшем (75 атм., рис. 1) и наименьшем (45 атм., рис. 2) давлении из серии опытов. Величина среднемассовой молекулярной массы сополимеров для указанных образцов составила 708000 и 178000 соответственно, что указывает на значительное влияние давления смеси мономеров в процессе синтеза на молекулярный вес сополимера.

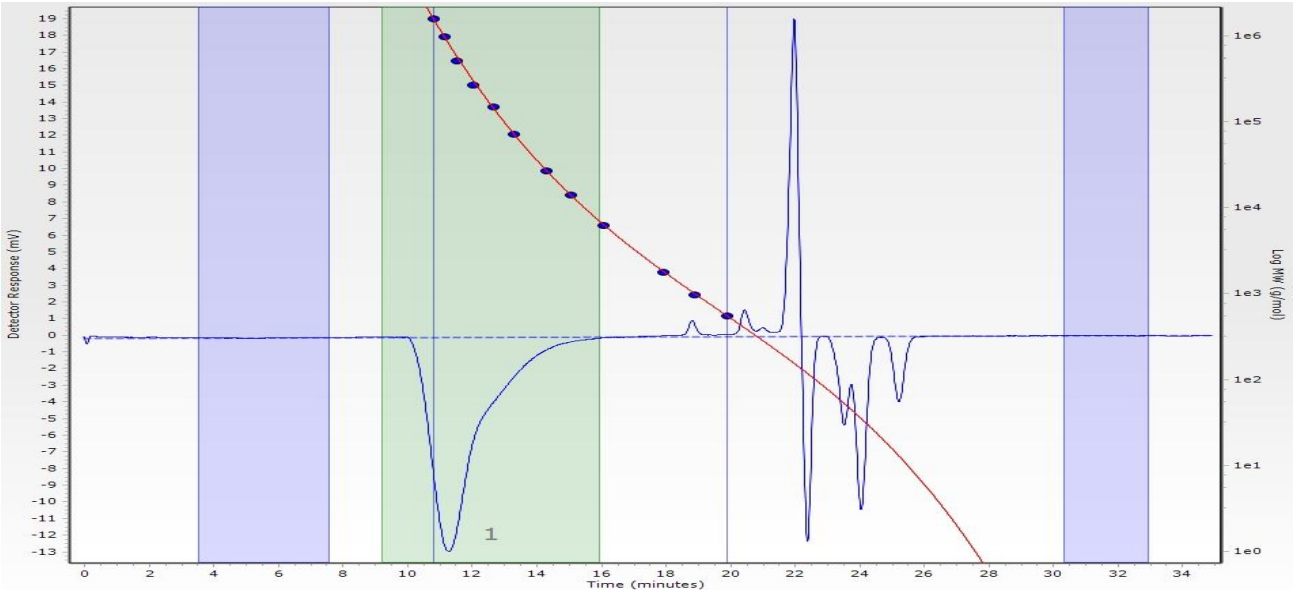


Рис. 1. Хроматограмма образца сополимера ВДФ-ГФП (Р = 75 атм., Т = 80 °С)

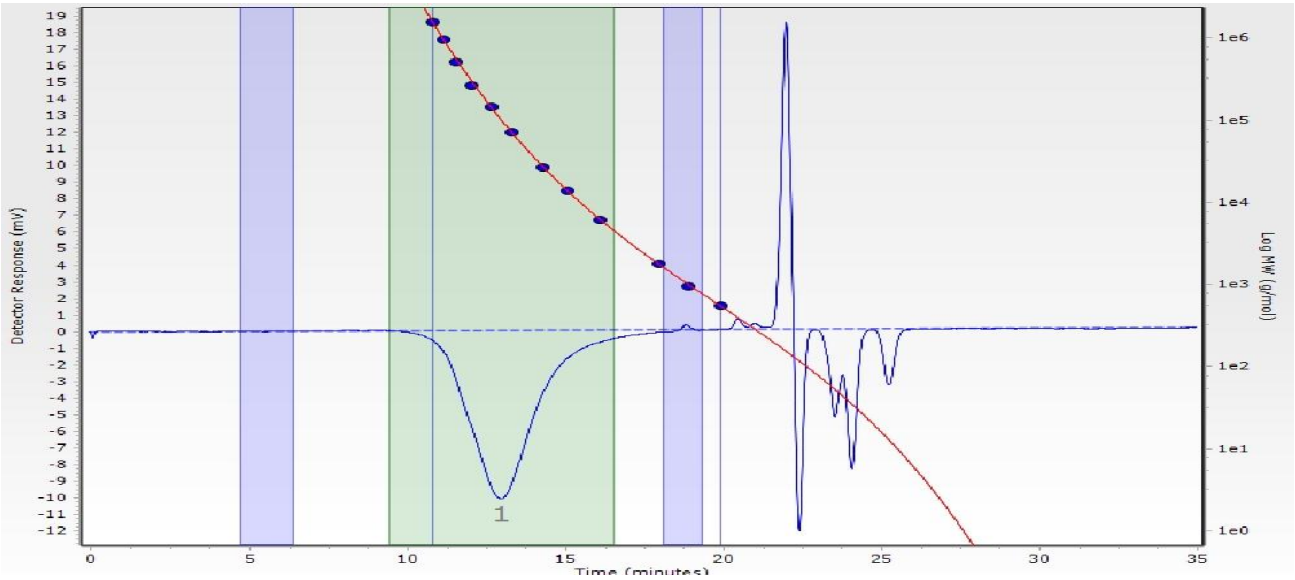


Рис. 2. Хроматограмма образца сополимера ВДФ-ГФП (P = 45 атм., T = 80 °C)

Как видно из рис. 1 и 2, молекулярно-массовое распределение для представленных образцов достаточно узкое, что является важным условием для дальнейшей переработки сополимеров в готовые изделия, например, с помощью экструзии [2, с. 114, 5, с. 134–140].

Результаты исследования полученных образцов методом ИК-спектрометрии представлены на рис. 3.

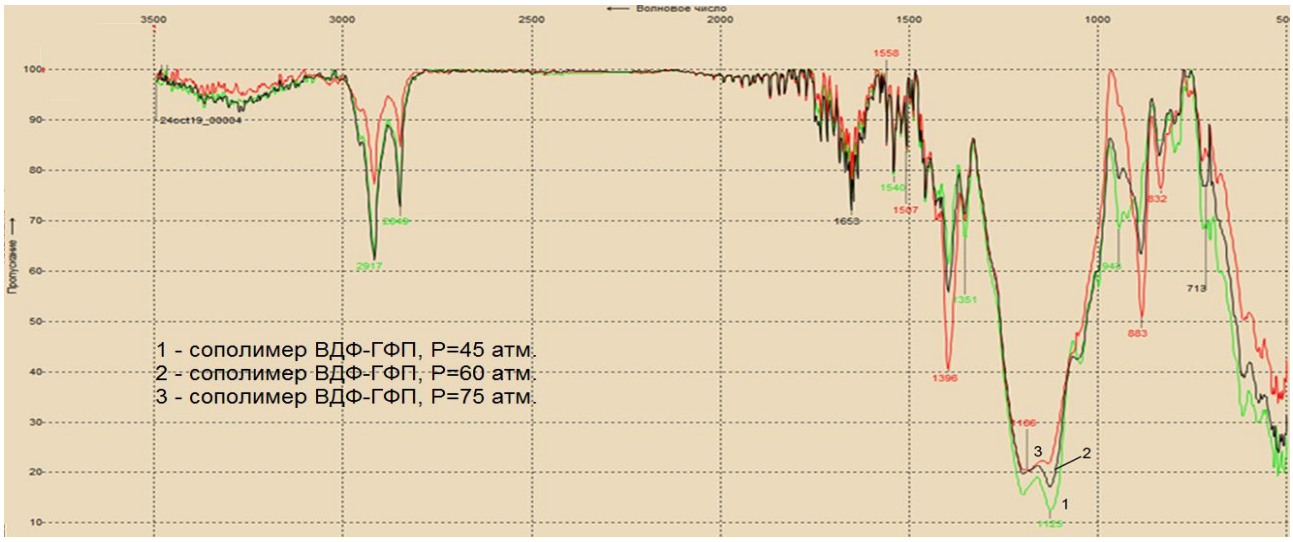


Рис. 3. ИК-спектр образцов сополимера ВДФ-ГФП, 1 – P = 45 атм., 2 – P = 60 атм., 3 – P = 75 атм. (T = 80 °C)

ИК-спектры представленных образцов содержат основные линии с волновыми числами 883, 1125, 1166, 1396, 2850 и 2917 см$^{-1}$, что соответствует

наличию в цепях макромолекул групп $–CF_2$-, -C-F, $-CF_3$, -C-C-, $-CH_2$- [8–11] и подтверждает химическую структуру полимера вида: $–(CH_2-CF_2)_n-(CF_2-CF(CF_3))_m-$. Содержание ГФП в полученных сополимерах составило от 41 до 50% (масс.).

Типичная кривая ДСК образца сополимера ВДФ-ГФП представлена на рис. 4.

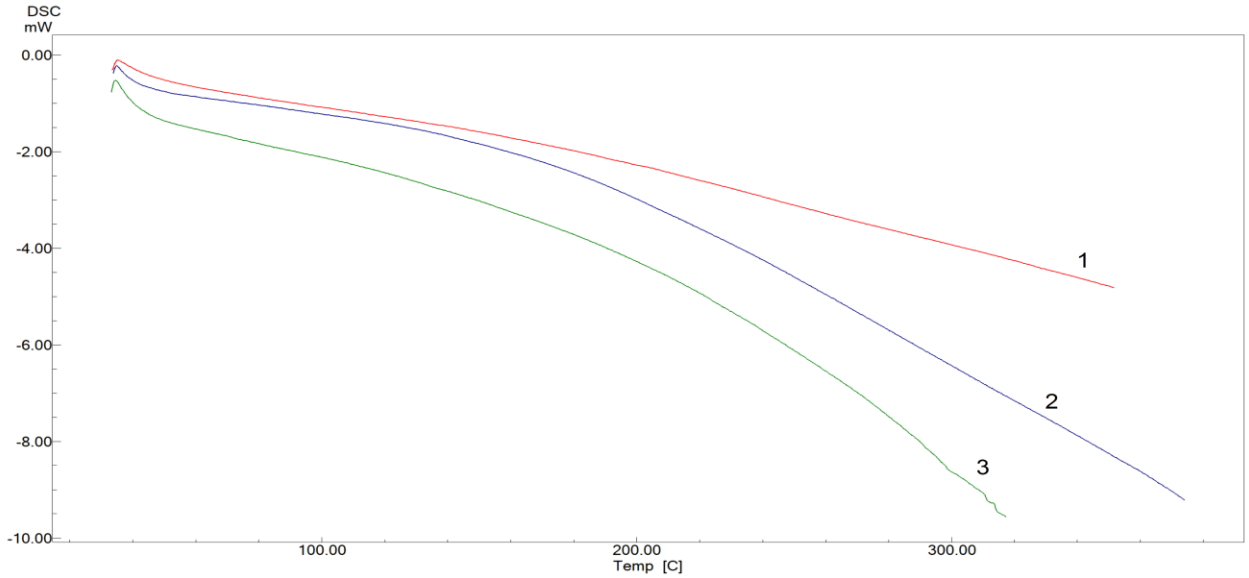


Рис. 4. Результат анализа ДСК образцов сополимера ВДФ-ГФП, 1 – P = 45 атм., 2 – P = 60 атм., 3 – P = 75 атм. (T = 80 °C)

Анализ образцов синтезированных полимеров методом ДСК показал отсутствие эндотермических пиков плавления фаз, что свидетельствует об отсутствии кристаллических структур в полимерном материале и о том, что полученные сополимеры полностью аморфизованы [2, с. 116, 11, с. 212]. Это согласуется с литературными данными о склонности к потере способности сополимеров ВДФ-ГФП образовывать кристаллические фазы при содержании ГФП выше 15% [2, с. 109, 4, с. 6637, 7, с. 8126].

Выводы. Таким образом, в ходе работы синтезирован ряд сополимеров ВДФ-ГФП переменного состава с высоким содержанием ГФП в своем составе, что подтверждено данными анализов. Методом ДСК установлена аморфная структура полученных сополимеров, что согласуется с химическим составом образцов и литературными данными. Методом ГПХ измерены величины сред-

немассовых молекулярных масс синтезированных сополимеров, которые составили от 178000 до 708000 а. е. м. Также с помощью ГПХ показано достаточно узкое молекулярно-массовое распределение полученных сополимеров, что улучшает их реологические свойства и обеспечивает, наряду с высокими молекулярными массами, хорошую пригодность данных материалов к переработке экструзией.

Библиографический список

1. Smart BE. In: Patai S., Rapporport Z., editors. The chemistry of functional groups (suppl. D). New York : Wiley, 1983 (Chapter 14).

2. Ameduri B., Boutevin B., Kostov G. Fluoroelastomers: synthesis, properties and applications // Prog. Polym. Sci. 2001. 26. P. 105.

3. Van Cleeff A. Fluoroelastomers. In: Scheirs J, editor. Modern fluoropolymers. New York : Wiley. 1997. P. 597–614.

4. Ameduri B. From vinylidene fluoride (VDF) to the applications of VDF-containing polymers and copolymers: Recent developments and future trends // Chem. Rev. 2009. 109. P. 6632–6686.

5. Matyjaszewski K., Davis, T. P. Handbook of Radical Polymerization. Wiley-Interscience: New York, 2002.

6. Cho K. Y., Jung H. Y., Sung K. A., Kim W. K., Sung S. J., Park J. K., Choi J. H., Sung Y. E. J. Preparation and charateristics of Nafion membrane coated with a PVDF copolymer/recast Nafion blend for direct methanol fuel cell // Power Sources. 2006. 159. P. 524.

7. Lu Y., Claude J., Neese B., Zhang Q. M., Wang Q. A modular approach to ferroelectric polymers with chemically tunable curie temperatures and dielectric constants // J. Am. Chem. Soc. 2006. 128. P. 8120.

8. Колесник И. В., Саполетова Н. А. Инфракрасная спектроскопия. М., 2002.

9. Васильев А. В., Гриненко Е. В., Щукин А. О., Федулина Т. Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений. СПб., 2007.

10. Шеппард У., Шартс К., Органическая химия фтора / пер. с англ. А. В. Фокин. М., 1972.

11. Травень В. Ф. Органическая химия : учеб. для вузов : в 2 т. М. : ИКЦ «Академкнига», 2004.

Влияние фторида натрия на процесс катодного восстановления трёхвалентного железа

А. В. Захаров [a], Ю. П. Хранилов [b], Т. В. Еремеева [c], А. А. Новосёлова [d]
аспирант кафедры ТЭП [a]
кандидат технических наук, профессор кафедры ТЭП [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭП [c]
магистрант кафедры ТЭП [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: zwaw@ya.ru [a], usr00451@vyatsu.ru [b], usr04759@vyatsu.ru [c],
missis.gerasimova2009@yandex.ru [d]

Аннотация. Методом поляризационных кривых изучено влияние фторида натрия на процесс катодного восстановления трёхвалентного железа в нескольких электролитах (раствор сульфата железа; раствор серной кислоты с добавкой сульфата железа). Выяснено, что введение ионов фторида в электролит значительно увеличивает катодную поляризацию при восстановлении трёхвалентного железа. Данные по катодной поляризации сопоставлены с результатами ранее выполненного расчёта ионных равновесий в системе Fe^{3+} - F^- и объяснены тем, что в присутствии фторида в электролите основная часть ионов железа связывается в анионные комплексы, доставка которых к отрицательно заряженной поверхности катода затруднена. Полученные результаты могут служить теоретическим обоснованием технологических решений, рекомендованных для осуществления процесса электрохимического рафинирования медного порошка, загрязнённого железом.

Ключевые слова: фторидные комплексы трёхвалентного железа, катодная поляризация, расчёты ионных равновесий.

Введение. Ранее [1] было выяснено, что введение NaF в электролит для электрорафинирования медного порошка позволяет депассивировать титановый анодный токоподвод и тем самым стабилизировать напряжение при электролизе. В [2] было показано, что на техпроцесс рафинирования негативно влияет наличие ионов Fe^{3+}. В [3] на основе расчётов ионных равновесий в системе Fe^{3+} - F^- было предсказано и экспериментально подтверждено, что наличие NaF в электролите позволяет в значительной степени подавить негативное влияние ионов Fe^{3+}.

В данной работе предполагалось дополнить результаты расчётов снятием поляризационных кривых (ПК) в растворах, содержащих ионы фтора и трёхвалентного железа.

Цель исследования – изучить методом ПК влияние фторид-ионов на процесс катодного восстановления трёхвалентного железа и сопоставить полученные результаты с расчётами ионных равновесий.

Задачи исследования. В соответствии с обозначенной целью исследования были поставлены следующие задачи:

– снять катодные ПК в модельных растворах, содержащих ионы фтора и трёхвалентного железа;

– провести сопоставление ПК с результатами расчётов ионных равновесий в системе Fe^{3+} - F^-.

Методы исследования. ПК снимали с помощью потенциостата Р-30 в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 1 мВ/с. Снятие ПК проводилось одновременно с их фиксацией в программе PC-Pack, установленной на персональном компьютере. Перед записью ПК измерялся бестоковый потенциал платинового электрода и задавался диапазон изменения потенциала.

Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод (ХСЭ, E = +0,2 В по НВЭ). Рабочим электродом служил платиновый электрод (S=1 $см^2$). В качестве вспомогательного электрода использовали также платину.

Модельные растворы готовили на основе химикатов ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; NaF; H_2SO_4) реактивной чистоты.

Результаты исследований и обсуждение. Известно [4, с. 319], что F^- - ион образует с ионом Fe^{3+} катионные, нейтральные и анионные комплексы. Если часть железа связана в анионные комплексы, то должны быть затруднены их доставка к отрицательно заряженной поверхности катода, адсорбция на катоде и последующее восстановление, что должно повлиять на характер ПК.

Рассмотрим катодную ПК, снятую в растворе сульфата железа без добавки NaF (рис. 1, кривая 1). В данном растворе присутствуют два окислителя: растворённый кислород воздуха и ионы Fe(III). Поэтому бестоковый потенциал (550 мВ по ХСЭ) является компромиссным между равновесными потенциалами реакций $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2\ H_2O$ (1) и $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ (2). Стандартные электродные потенциалы для реакций (1) и (2) равны соответственно 1,229 В и 0,771 В по НВЭ [4] (в нейтральной среде потенциал для реакции (1) будет равен 0,815 В). Таким образом, при снятии ПК последовательно протекают реакции

(1) и (2). Для реакции (1) имеем площадку предельного тока ($i_{пр}$ около 200 мА/см^2), после чего ПК отражает процесс катодного восстановления различных форм трёхвалентного железа (с тремя площадками предельного тока). В растворе сульфата железа, помимо гидратированных ионов Fe^{3+}, содержатся, согласно [4, с. 316], комплексные ионы [$Fe(SO_4)^+$] и [$Fe(SO_4)^-$] с константами устойчивости, равными соответственно !$10^{4,04}$ и $10^{5,38}$.

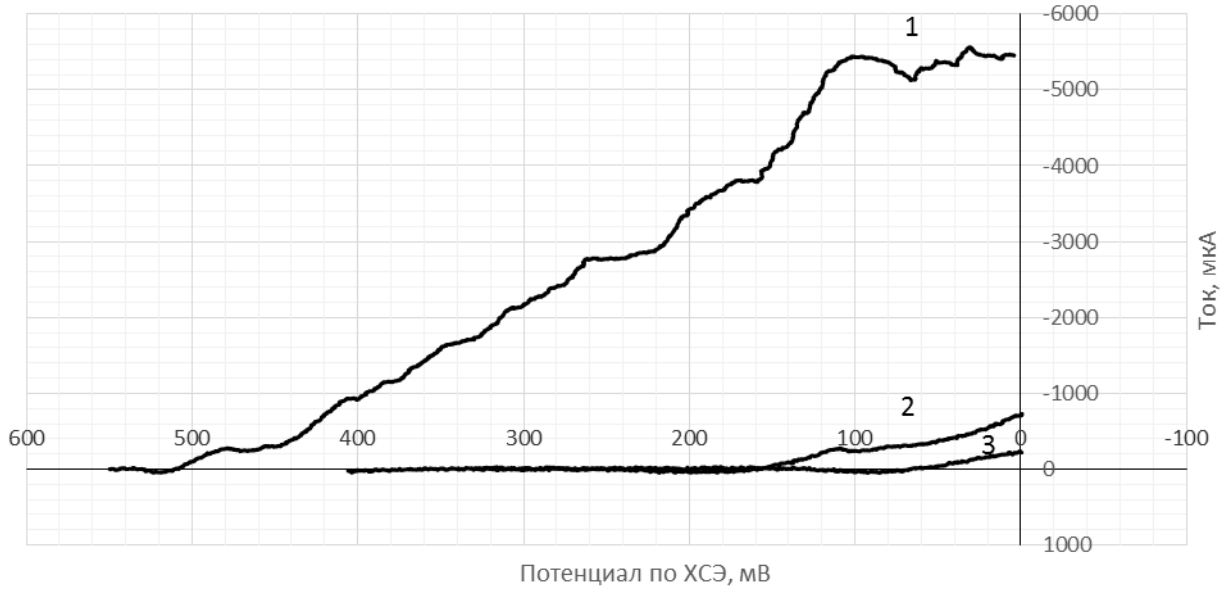


Рис. 1. Катодные ПК, снятые в растворах состава, г/л:
1 – Fe^{3+} - 3,82; 2 – Fe^{3+} - 3,82, NaF – 20; Fe^{3+} - 3,82, NaF – 30/

Предположительно три площадки предельного тока отражают последовательное восстановление вышеуказанных трёх форм трёхвалентного железа.

Введение в электролит 20 и 30 г/л NaF (кривые 2 и 3, рис. 1) приводит к смещению компромиссного потенциала до 400 и 330 мВ по ХСЭ соответственно и к резкому снижению суммарной скорости катодного восстановления – с 5400 мкА/см^2 до 700 и 200 мкА/см^2 при E = 0 В по ХСЭ. Причина этого – в связывании ионов Fe^{3+} в гораздо более прочные, по сравнению с сульфатными, фторидные комплексы. Согласно [4, с. 219], существуют следующие фторидные комплексы Fe^{3+} : [FeF^{2+}] (K_y = $10^{6,04}$), [FeF_2^+] (K_y = $10^{10,74}$), [FeF_3]

($K_y = 10^{13,74}$), $[FeF_4^-]$ ($K_y = 10^{15,74}$), $[FeF_5^{2-}]$ ($K_y = 10^{16,1}$), $[FeF_6^{3-}]$ ($K_y = 10^{16,1}$). Согласно [3], в растворе с содержанием NaF 20 г/л 65 % железа связано в комплекс $[FeF_4^-]$, а в растворе с 30 г/л в комплексы $[FeF_4^-]$ и $[FeF_5^{2-}]$ связано 85% железа.

Рис. 2. Катодные ПК, снятые в растворах серной кислоты (200 г/л) с содержанием Fe^{3+} - 3,82 г/л: Концентрация NaF, г/л: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30

Поскольку растворы для электрорафинирования порошка содержат серную кислоту (около 200 г/л), часть ПК была снята в сернокислотных растворах (рис. 2). На ПК имеются площадки предельного тока (около 250 мкА) восстановления кислорода по реакции (1). Последующий рост тока на ПК обусловлен восстановлением фторидных комплексов железа. При увеличении концентрации NaF ПК сдвигаются в область более отрицательных потенциалов; одновременно снижается скорость восстановления трёхвалентного железа. Такое торможение катодного процесса находится в соответствии с результатами расчёта ионных равновесий, согласно которым с ростом концентрации фтор-ионов снижается доля катионных комплексов железа и увеличивается доля анионных комплексов, разряд которых на катоде затруднён. Таким образом, можно ожидать, что введение фторида натрия в электролит для электрорафинирования медного порошка приведёт к увеличению выхода по току целевого продукта (меди).

Выводы. Выяснено, что введение фторида натрия как в нейтральные, так и в кислые растворы, содержащие трёхвалентное железо, приводит к торможе-

нию катодного восстановления Fe(III). Это проявляется в смещении поляризационных кривых в область более отрицательных потенциалов.

Полученные закономерности объясняются увеличением содержания анионных железофторидных комплексов с ростом концентрации NaF. Эти результаты могут служить теоретическим обоснованием технологических решений при осуществлении процесса электрохимического рафинирования медного порошка, загрязнённого железом.

Библиографический список

1. Хранилов Ю. П., Деветьярова А. Д., Ашихмина А. В. Изучение влияния примеси железа на электрорафинирование медного порошка // Общество, наука, инновации (НПК-2015) : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов, 13–24 апреля 2015 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2015. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 267–270.
2. Хранилов Ю. П., Ракитина Т. А., Захаров А. В. Влияние трёхвалентного железа на химические и электрохимические процессы с участием меди // Общество, наука, инновации. (НПК-2017) : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. ст., 1–29 апреля 2017 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 376–381.
3. Хранилов Ю. П., Еремеева Т. В., Захаров А. В. Учёт ионных равновесий в системе Fe^{3+} - F^{-} при электрорафинировании медного порошка, загрязнённого железом // Общество, наука, инновации (НПК-2019) : сб. ст. : XIX Всерос. науч.-практ. конф., 1–26 апреля 2019 г. : в 3 т. Т. 1. Биологические и химические науки. Киров : [Изд-во ВятГУ], 2019. 210с. 1 эл. опт. диск (CD-ROM). С. 180–186.
4. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1989. 448 с.

Исследование процесса переработки цинксодержащих сточных вод производства теофиллина

К. О. Камалов [a], Ф. И. Ахмаров [b], А. В. Мочалов [c]
старший преподаватель кафедры технологии неорганических веществ
и электрохимических производств [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии [b]
магистрант кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a, b, c]
E-mail: usr00705@vyatsu.ru [a], fahmarov@inbox.ru [b], av_mochalov@vyatsu.ru [c]

Аннотация. В восстановительных процессах в качестве катализатора широко используется металлический цинк. В процессе реакции металлический цинк превращается в соли, являющиеся побочным продуктом производства, не находящим применения. В связи с этим возникает проблема утилизации производственных сточных вод, содержащих растворенные соли цинка и органические соединения сложного состава. Целью данной работы явилось исследование процесса выделения цинка из производственных сточных вод и получения пигментного оксида цинка. Для выполнения поставленной цели были проведены исследования процесса осаждения основного карбоната цинка из маточных растворов производства теофиллина раствором гидрокарбоната аммония в зависимости от температуры, количества осадителя и количества промывок. Установлено, что для осаждения основного карбоната цинка следует использовать 20–25%-ный избыток гидрокарбоната аммония от стехиометрически необходимого. Процесс осаждения целесообразно проводить периодически при температуре 20 °С. Основной карбонат цинка после осаждения и отделения от маточного раствора необходимо промыть путем трехкратной репульпации при температуре свыше 60 °С. После прокалки осадка получается продукт, который можно использовать в качестве пигмента для лакокрасочной промышленности, с содержанием водорастворимых веществ не более 0,4% и основного вещества не менее 99,0% в пересчете на оксид цинка.

Ключевые слова: основной карбонат цинка, прокалка, цинковые белила.

Введение. В процессе синтеза в производстве синтетического теофиллина (1,3-диметилксанта) по методу Траубе образуются цинксодержащие отходы [1, 2]. Металлический цинк используется на стадии восстановления 1,3-диметил-4-амино-5-нитрозоурацила. Восстановление проводится при температуре 30±2 °С в сернокислой и муравьинокислой средах. Образующееся формильное производное выпадает в осадок и отделяется центрифугированием и далее подвергается двукратной промывке. Маточный раствор объединяется с промывными водами и направляется на станцию нейтрализации, где из раствора осаждается цинк водным раствором аммиака. Образующийся шлам вывозится на шламовые поля.

По существующей технологии на станции нейтрализации происходит объединение сточных вод. Среднее содержание солей в сточных водах следу-

ющее: сульфата цинка – 6,01%, формиата цинка – 1,18%, сульфата натрия – 2,31%. Концентрация цинка в смеси равна 2,98%.

Цель и задачи исследования – определить оптимальные параметры процесса осаждения основного карбоната цинка с целью получения пигментного оксида цинка из производственных сточных вод.

Материалы и методы. Ранее было показано [3], что при осаждении основного карбоната цинка из раствора сульфата гидрокарбонатом аммония в интервале температур 40–60 °С происходит упорядочение кристаллической структуры осадка. В интервале температур 20–40 °С нет существенных изменений в технологических свойствах осадка, таких как скорость отстаивания, объем конечного отстоя осадков, коэффициент фильтрации, pH среды при осаждении и т. д. Поэтому исследование процесса осаждения основного карбоната цинка из отходов производства теофиллина было решено провести при температурах 20 °С и 60 °С. Ранее также было установлено [3], что на качество основного карбоната цинка, а также оксида, получаемого прокалкой основного карбоната, главным образом, оказывают влияние два параметра: количество осадителя и количество промывок осадка. Вследствие этого исследования проводились в направлении поиска оптимального режима осаждения в зависимости от количества осадителя и режима промывок осадка.

Для осаждения был использован маточный раствор, содержащий 50 г/л цинка в виде сульфата и формиата, а также сульфат натрия, муравьиную кислоту и окрашенные органические соединения. На данном этапе работы идентификация индивидуальных органических примесей не производилась, поскольку было достаточно определения суммарного влияния примесей красителей, образовавшихся в результате реакции, на качество пигментного оксида цинка. Оксид цинка получали по технологии осаждения основного карбоната с его дальнейшей прокалкой.

Основной карбонат цинка получали осаждением избытком гидрокарбоната аммония при температурах 20 °С и 60 °С. Время перемешивания после смешения исходных растворов – 30 минут. Осадок основного карбоната цинка от-

фильтровывали и промывали три раза при температуре 60 °С путем репульпации. Соотношение Т:Ж = 1:5 (в расчете на сухой карбонат цинка). Осадок высушивали при температуре не более 110 °С и определяли содержание водорастворимых веществ. Для получения оксида цинка карбонат прокаливали при температуре 750 °С. В белилах определяли содержание основного вещества и водорастворимых веществ.

Основным технологическим параметром процесса осаждения является степень осаждения. Вследствие наличия в отходах органических веществ, образующих прочные комплексы с металлами, цинк из раствора не удается осадить нацело. Было установлено, что степень осаждения цинка, в зависимости от условий изменяется в пределах 80–90%. В табл. 1 приведена зависимость степени осаждения цинка от количества осадителя (осадитель – 15%-ный раствор гидрокарбоната аммония).

Максимальная степень осаждения 93,5% достигается при добавлении 20%-го избытка осадителя при температуре 20 °С. Потери цинка с промывными водами уменьшаются при увеличении избытка гидрокарбоната аммония.

Таблица 1

Зависимость степени осаждения цинка (%) от количества осадителя

Наименование показателя	Температура осаждения					
	20 °С			60 °С		
	Количество осадителя, % от стехиометрического					
	100	110	120	100	110	120
Осадок	75,64	86,83	93,58	85,18	92,11	88,02
Фильтрат	21,43	11,98	6,27	14,16	8,28	11,72
Промывные воды	2,93	1,19	0,15	0,66	0,61	0,26

После промывки и фильтрации осадки основного карбоната цинка были высушены при температуре не выше 110 °С. Основной карбонат цинка, полученный из цинксодержащих отходов, в процессе осаждения адсорбирует красители, вследствие чего окрашен в желто-зеленый цвет. По показанию цветности продукт, полученный из отходов производства теофиллина, не соответствует основному карбонату цинка. Содержание водорастворимых веществ в основном карбонате достигает 0,4–0,5% в зависимости от условий осаждения.

Полученные осадки основного карбоната цинка прокаливали при температуре 750 °С. Пигментный оксид цинка имеет белый цвет с желтоватым оттенком. Органические красители, адсорбированные основным карбонатом цинка, при высокой температуре полностью выгорают и поэтому не оказывают влияния на качество конечного продукта.

Результаты и обсуждение. Основными показателями качества цинковых белил, зависящими от способа получения в гидрометаллургии, являются содержание основного вещества в пересчете на ZnO и содержание веществ, растворимых в воде. Поэтому образцы оксида цинка анализировались по указанным показателям. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание основного вещества и водорастворимых веществ в цинковых белилах, полученных из отходов производства теофиллина

Наименование показателя	Количество осадителя, % от стехиометрического			
	100	110	120	125
Температура осаждения 20 °С				
Содержание основного вещества в пересчете на ZnO	96,8	97,84	98,85	99,24
Содержание веществ, растворимых в воде	1,38	0,83	0,83	0,31
Температура осаждения 60 °С				
Содержание основного вещества в пересчете на ZnO	96,2	97,9	98,3	99,06
Содержание веществ, растворимых в воде	0,90	0,92	0,58	0,40

Как видно из табличных данных, с увеличением количества осадителя в процессе осаждения основного карбоната цинка содержание основного вещества в конечном продукте – белилах – возрастает, содержание водорастворимых веществ – уменьшается. Объяснением этому служит тот факт, что в осадках карбоната цинка при осаждении стехиометрическим количеством осадителя присутствует сульфат-ион. Ясно, что при недостатке осадителя происходит захват сульфата цинка первичными кристаллами основного карбоната. Сульфат цинка снижает содержание основного вещества в конечном продукте, а также сульфат-ион, будучи водорастворимым соединением, ухудшает данный показатель.

Оксид цинка, полученный из отходов производства теофиллина, соответствует белилам марки А по ОСТ 6-10-449-83 по следующим показателям (табл. 3).

Таблица 3

Показатели качества белил, полученных из отходов производства теофиллина

Наименование показателя	Норма для марки А			Оксид цинка из отходов производства теофиллина
	Высш. сорт	Перв. сорт	Второй сорт	
1. Массовая доля соединений Zn в пересчете на ZnO, % не менее	98	98	92	99
2. Массовая доля соединений Pb в пересчете на PbO, % не более	0,2	0,2	5,0	отс.
3. Массовая доля металлического цинка, % не более	отс.	0,04	0,10	отс.
4. Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте, % не более	0,05	0,10	0,20	отс.
5. Массовая доля летучих веществ, % не более	0,3	0,3	0,3	0,98
6. Массовая доля веществ растворимых в воде, % не более	0,4	0,4	2,0	0,4
7. Массовая доля соединений As в пересчете на As_2O_3, % не более	отс.	отс.	0,1	отс.
8.Остаток на сите с сеткой, % не более	0,5	1,0	0,8	не пров.
9.Укрывистость, г/$м^2$, не более	125	140	110	125
10. Цвет	В пределах допусков цвета утвержденных образцов			
11. Белизна, усл. ед., не менее	92	90	не норм.	не пров.

Выводы. Таким образом, в результате исследований процесса осаждения основного карбоната цинка из цинксодержащих маточных растворов производства теофиллина установлены оптимальные параметры осаждения, количество осадителя, температура осаждения и режимы промывки. В качестве осадителя использован раствор бикарбоната аммония. Для осаждения основного карбоната цинка следует использовать 20–25%-ный избыток бикарбоната аммония от стехиометрически необходимого. Процесс осаждения целесообразно проводить периодически при температуре 20 °С. При этом повышается степень осаждения цинка из маточного раствора. Основной карбонат цинка после осаждения и отделения от маточного раствора промывается путем трехкратной репульпации при температуре свыше 60 °С. Поскольку в первой промывной воде концентра-

ция цинка незначительно отличается от концентрации цинка фильтрата, то необходима их совместная переработка. Основной карбонат цинка, получаемый из отходов производства теофиллина, не соответствует техническим условиям, поэтому не может быть выпущен как самостоятельный продукт. Однако после прокалки получается оксид цинка, удовлетворяющий требованиям ОСТ 6-10-449-83 «Белила цинковые для лакокрасочной промышленности». Содержание основного вещества в пересчете на оксид цинка в конечном продукте составляет не менее 99,0%, водорастворимых веществ не более 0,4%.

Библиографический список

1. Мелентьева Г. А. Фармацевтическая химия : в 2 т. Т. 1. М. : Медицина, 1976. 480 с.
2. Рубцов М. В., Байчиков А. Г. Синтетические химико-фармацевтические препараты. М. : Медицина, 1971. 328 с.
3. Камалов К. О., Лаптев В. М., Ахмаров Ф. И. Переработка цинксодержащих пылей медеплавильного производства на цинковые пигменты // Цветные металлы, 2015. № 7. С. 29–32.

Исследование влияния нитрат-ионов на питтинговую коррозию нержавеющих сталей в 3%-м растворе Nacl

В. А. Лихачев [a], М. С. Бобро [b]
кандидат химических наук, доцент кафедры ТЭП [a]
магистрант кафедры ТЭП [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: lihachev@vyatsu.ru [a]

Аннотация. Питтинговая коррозия при производстве минеральных удобрений наиболее часто выводит оборудование из строя, поэтому подавление её с помощью ионов ингибиторов является актуальной задачей. Целью настоящей работы и является определение концентрации нитрат-ионов, подавляющей питтинговую коррозию нержавеющих сталей в 3%-м растворе NaCl.

Исследование влияния нитрат-ионов на питтинговую коррозию нержавеющих сталей AISI 321, AISI 201, AISI 430 в растворе 3% NaCl проводилось с помощью снятия анодных поляризационных кривых, на которых фиксировались потенциалы питтингообразования и наличие площадок повышения анодного тока, указывающих на протекание локальных форм коррозии.

Показано, что стали AISI 321 и AISI 201 устойчивы в растворах 3% $NaNO_3$, 3% NH_4N0_3 и подвергаются интенсивной питтинговой коррозии в растворе 3% NaCl. Питтинговая коррозия в этом растворе подавляется при соотношении хлорид и нитрат-ионов 6:1 для стали AISI 321 и 3:2,5 для стали AISI 201. На анодных поляризационных кривых стали AISI 430 в растворах 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3, присутствует площадка повышения анодного тока вблизи потенциала выделения кислорода, что говорит о склонности этой стали к локальным формам коррозии. Питтинговая коррозия, вызываемая хлорид-ионом, подавляется при соотношении хлорид-иона к нитрат-иону 2:1.

Результаты исследования могут быть использованы при оценке возможности применения действующего оборудования при производстве минеральных удобрений при работе с многокомпонентными средами.

Ключевые слова: питтинговая коррозия в растворе 3% NaCl, анодные поляризационные кривые, потенциалы питтингообразования, ингибирование нитрат-ионом, сталь AISI 321, сталь AISI 430, сталь AISI 201.

Введение. Питтинговая коррозия нержавеющих сталей, особенно в растворах хлоридов, часто выводит оборудование из строя. Одним из методов защиты от такой коррозии является введение в коррозионную среду анионов пассиваторов, в частности нитрат-ионов [1, с. 74]. В литературе нет единого мнения о соотношении ионов активаторов и пассиваторов, позволяющего исключить питтинговую коррозию нержавеющих сталей. Целью настоящей работы и является определение соотношения хлорид- и нитрат-ионов, позволяющих подавить питтинговую коррозию на нержавеющих сталях разного типа. Исследования проводились на широко использующихся в практике нержавеющих ста-

лях марок AISI 321 (аналог 08Х18Н10Т), AISI 201 (12Х15Г9НД), AISI 430 (12Х17).

Методы исследования. В качестве основного метода исследования был выбран метод снятия полных поляризационных кривых [2, с. 2–3] с последующим определением наличия или отсутствия потенциалов питтингообразования и площадок на кривых, говорящих о наличии локальных форм коррозии. Анодные поляризационные кривые снимались при комнатной температуре.

Испытанию подвергалась рабочая поверхность электрода 1 см^2. Нерабочая часть электрода изолировалась лаком ХВ84 в несколько слоёв. Рабочая поверхность электрода подвергалась шлифовке наждачной бумагой перед каждым измерением. Шлифовка проводилась с постепенным уменьшением зерна, конечная обработка производилась абразивной бумагой с зерном 10–14 мкм. После шлифования образцы протирались этиловым спиртом и сушились фильтровальной бумагой.

Снятие поляризационных кривых проводилось в трёхэлектродной ячейке из оргстекла. В качестве вспомогательного электрода использовалась никелевая пластина площадью 3 см^2. Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод с потенциалом – +0,2В по НВЭ. Электрод сравнения сообщался с ячейкой через капилляр Габера-Луггина. Измерения проводились на потенциостате Elins P-30S.

Стартовое значение потенциала (потенциал свободной коррозии) для исследуемого образца находили при помощи функции «мониторинг» спустя 7 минут после погружения исследуемого образца в модельный раствор. Далее включали линейную развертку потенциала со скоростью 3 мВ/с в анодном направлении. Подобная скорость развёртки для данного исследования выбрана таковой, поскольку обеспечивает относительно высокую точность при небольших временных затратах.

Анодные поляризационные кривые исследуемых сталей снимались в трех модельных растворах: 3% NaCl, 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3, в каждом растворе не менее 4 раз.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 приведены общие поляризационные кривые стали AISI 321 в трёх растворах. Из хода анодных поляризационных кривых видно, что в среде 3% NaCl сталь AISI 321 подвержена сильной питтинговой коррозии, потенциал питтингообразования составляет 280–300 мВ, в то время как в двух других растворах сталь остаётся пассивной вплоть до достижения потенциала выделения кислорода, причем независимо от вида катиона ход общей анодной поляризационной кривой одинаков.

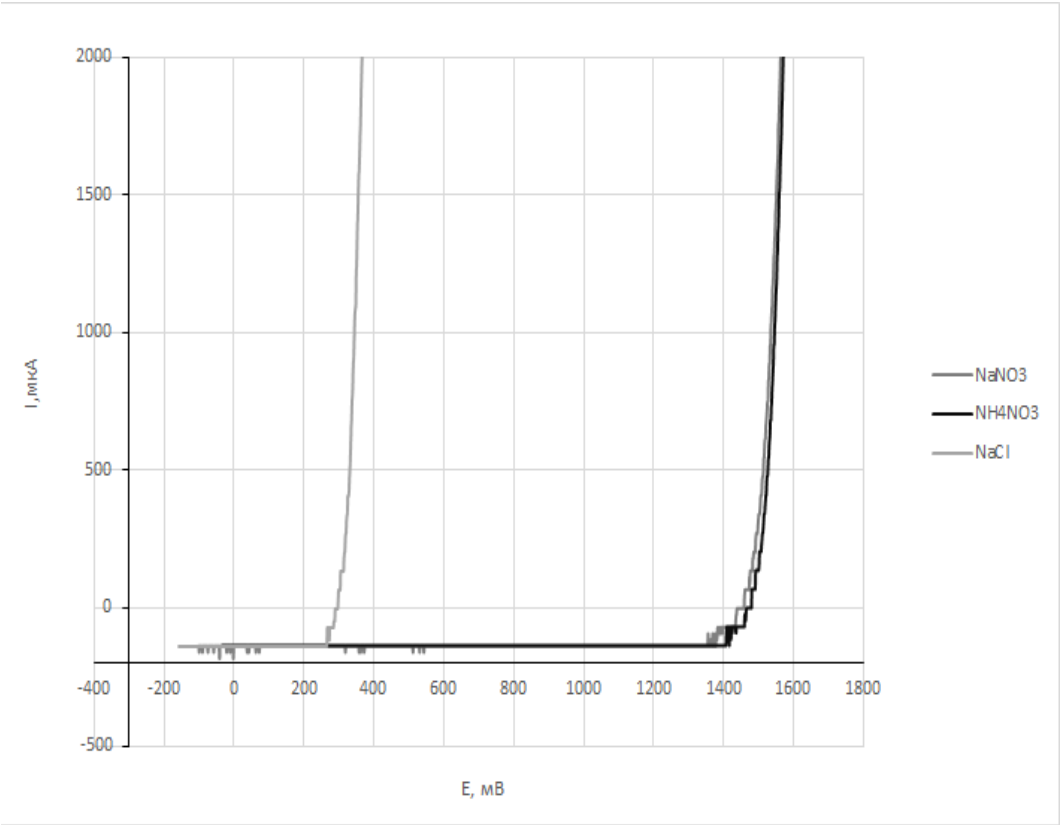


Рис. 1. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 321 в растворах 3% NaCl, 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3

На рис. 2 представлены анодные поляризационные кривые в 3%-м растворе NaCl с добавками NH_4N0_3 в концентрациях, обеспечивающих пассивирующий эффект, меньшие концентрации NH_4N0_3 не влияли на ход анодной кривой.

Как видно из рис. 2, после добавления 0,4г NH_4N0_3 в 100 мл раствора 3% NaCl проявляется ингибирующая способность нитрат-ионов, а при добавлении 0,5 г питтинговая коррозия не проявляется вовсе.

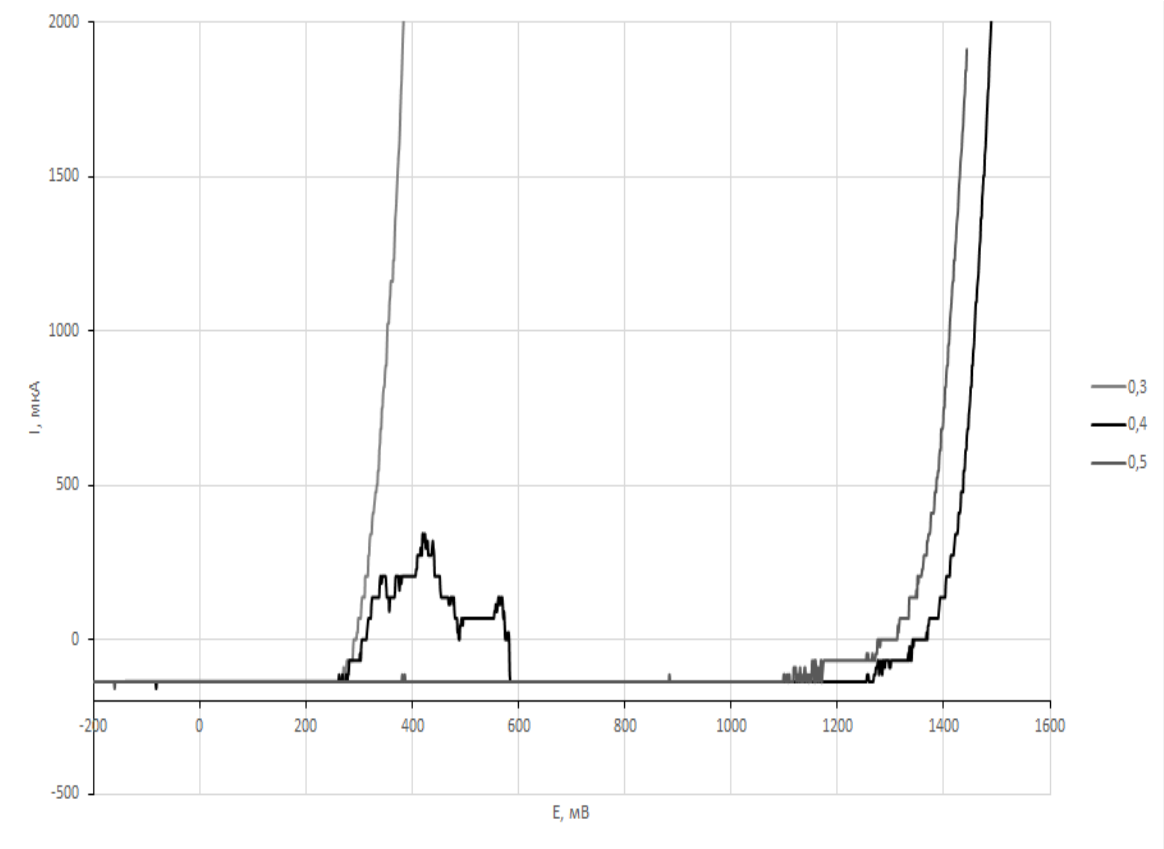


Рис. 2. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 321 в растворе 3% NaCl + 0,3–0,5 г/100мл NH_4N0_3

На рис. 3 приведены общие поляризационные кривые стали AISI 201 в тех же трёх растворах.

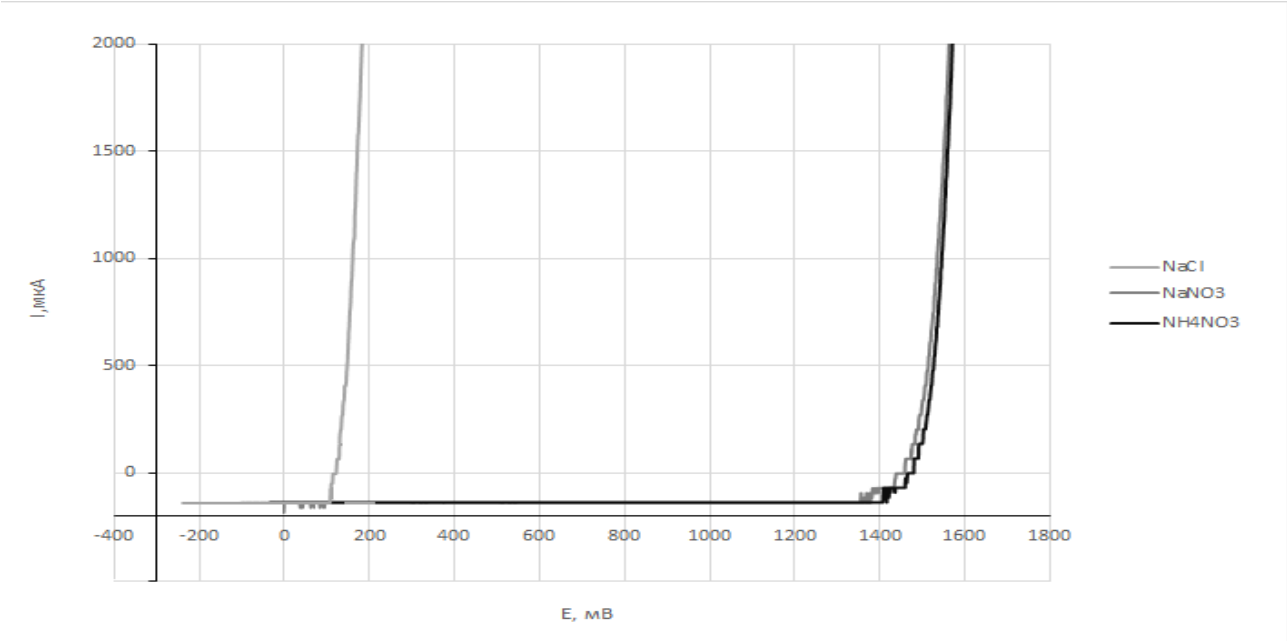


Рис. 3. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 201 в растворах 3% NaCl, 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3

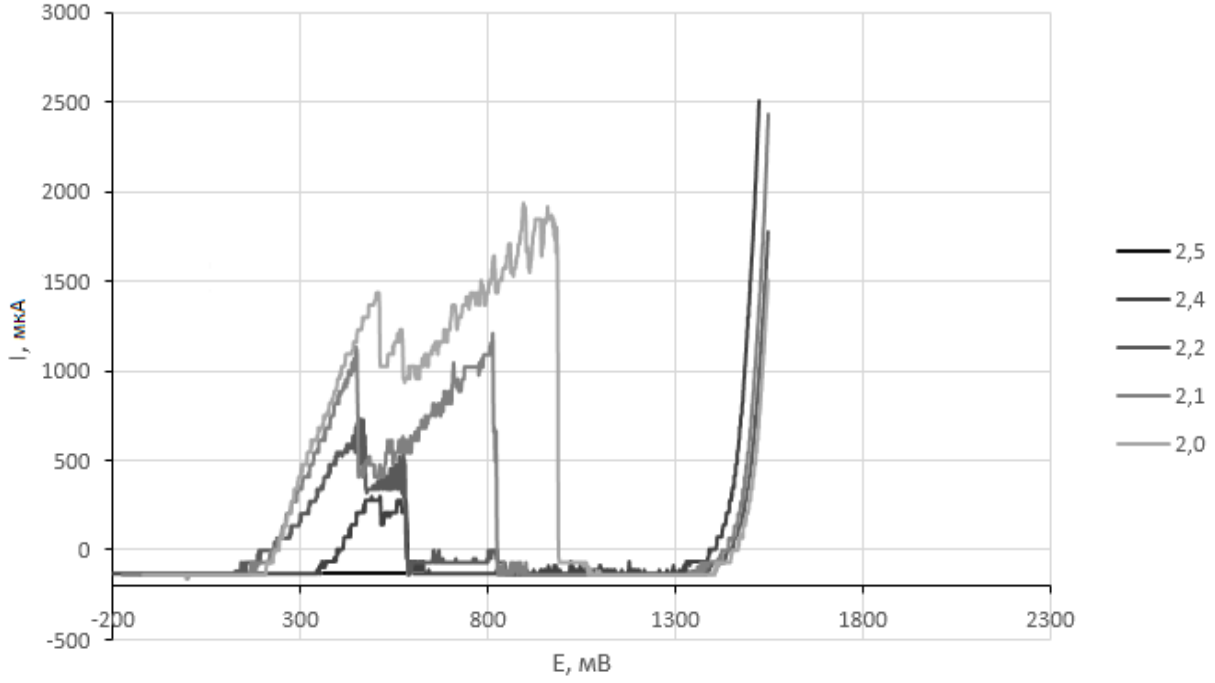


Рис. 4. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 201 в растворе 3% NaCl + 2,0-2,5 г/100мл NH_4N0_3

Как видно из рис. 3, анодные поляризационные кривые стали AISI 201 сходны с аналогичными кривыми стали AISI 321, т. е. сталь AISI 201 устойчива в растворах 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3 и подвергается интенсивной питтинговой коррозии в растворе 3% NaCl. Однако потенциал питтингообразования стали AISI 201 в этом растворе смещается в отрицательном направлении и составляет 110–120 мВ, что говорит о меньшей устойчивости этой стали к питтинговой коррозии по сравнению со сталью AISI 321.

На рис. 4 приведены анодные поляризационные кривые стали AISI 201 в растворе 3% NaCl с различными количествами пассивирующей добавки NH_4N0_3. Как видно из рис. 4, на стали AISI 201 пассивирующий эффект проявляется при значительно больших концентрациях нитрат-иона. Только после добавления 2,5 г NH_4N0_3 в 100 мл раствора 3% NaCl питтинговая коррозия подавляется.

На рис. 5 приведены общие поляризационные кривые стали AISI 430, на которых видно, что в растворах 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3, появляются площадки повышения анодного тока вблизи потенциала выделения кислорода, что указывает на то, что эта сталь не полностью пассивна в этих растворах. В растворе

3% NaCl сталь также очень активна и склонна к питтинговой коррозии. Потенциал начала образования питтингов составляет 210–220 мВ.

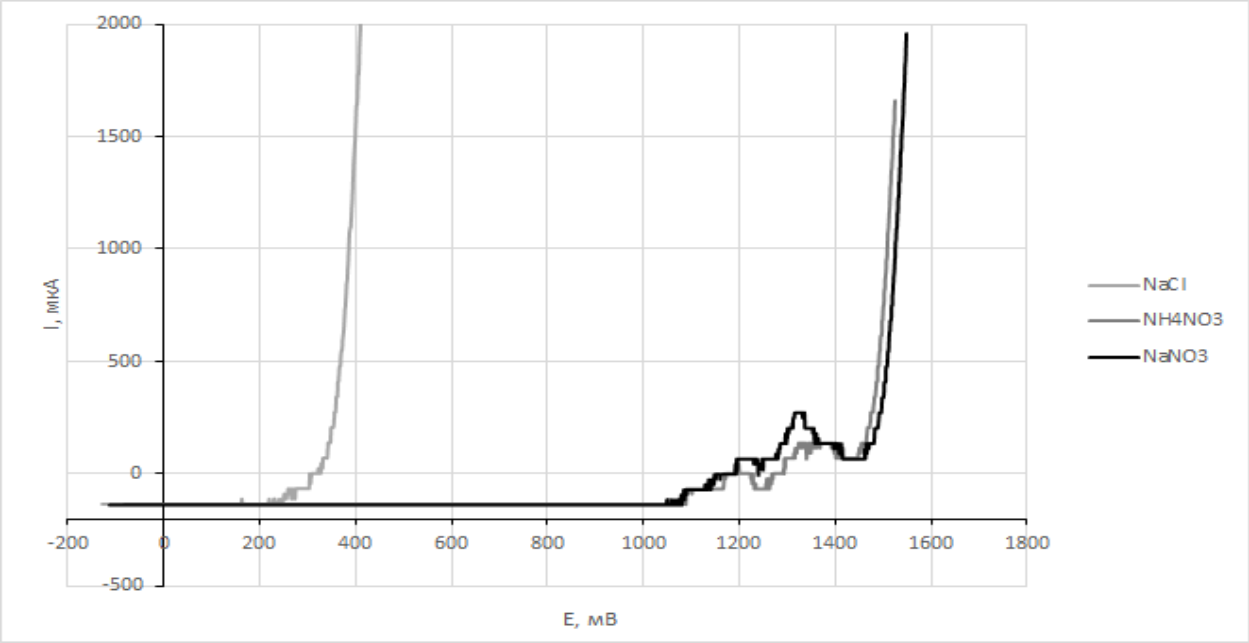


Рис. 5. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 430 в растворах 3% NaCl, 3% $NaNO_3$ и 3% NH_4N0_3

На рис. 6 представлены анодные поляризационные кривые стали AISI 430 в растворе 3% NaCl с различными добавками пассиватора NH_4N0_3.

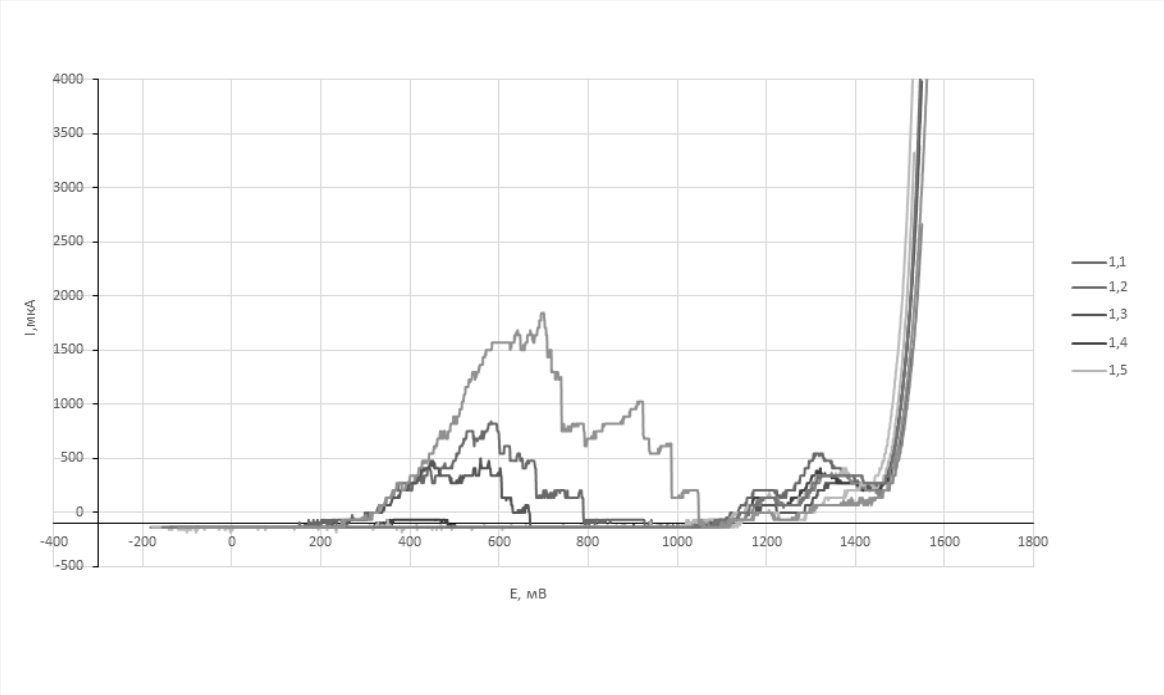


Рис. 6. Общие анодные поляризационные кривые для стали AISI 430 в растворе 3% NaCl + 1,1–1,5 г/100мл NH_4N0_3

Как видно из рис. 6, добавление NH_4N0_3 в раствор 3% NaCl снижает склонность стали к питтинговой коррозии и при концентрации 1,5 г NH_4N0_3 на 100 мл раствора питтинговая коррозия исчезает. Пики тока перед потенциалом выделения кислорода на поляризационных кривых сохраняются.

Аналогичные исследования были проведены при использовании в качестве пассиватора $NaNO_3$, который вводился в раствор 3% NaCl в тех же концентрациях. Ход анодных поляризационных кривых и концентрация пассиватора, обеспечивающего удаление питтинговой коррозии на исследуемых сталях, сохранились.

Результаты исследований с использованием пассиваторов NH_4N0_3 и $NaNO_3$ представлены в таблице.

Влияние добавки нитрат ионов на пассивацию нержавеющих сталей в 3% NaCl

Сталь	Потенциал питтинговой коррозии	Отношение концентраций хлорид-иона : нитрат-иона при полной пассивации сталей	
		NH_4N0_3	$NaNO_3$
AISI 321	280–300 мВ	6:1	6:1
AISI 430	210–220 мВ	2:1	2:1
AISI 201	110–120 мВ	3:2,5	3:2,5

Выводы. Нитрат-ионы способны подавлять питтинговую коррозию в средах, содержащих хлорид-ион, при комнатной температуре на всех исследуемых сталях. Принципиальной разницы между добавлением NH_4N0_3 и $NaNO_3$ не было выявлено. Из исследуемых сталей в растворе 3% NaCl наиболее легко пассивируется сталь AISI 321 при соотношении хлорид-иона к нитрат-иону 6:1, что хорошо согласуется с ее составом. В целом ингибирующие свойства нитрат-ионов могут быть использованы для борьбы с питтинговой коррозией оборудования при получении многокомпонентных NPK-удобрений.

Библиографический список

1. Структура и коррозия металлов и сплавов : атлас-справочник / И. Я. Сокол, Е. А. Ульянин, Э. Г. Фельдгандлер и др. М. : Металлургия, 1989. 400 с.

2. Лихачев В. А., Сметанина М. В., Тупицин М. А. Исследование питтинговой коррозии нержавеющих сталей в растворе NaCl // XIIX Всероссийская научно-практическая конференция «Общество. Наука. Инновации». Киров, 2018. С. 2–3.

Структура и свойства механоактивированного пиролизного углерода

И. А. Мансурова [a], А. С. Сыкчин [b], В. В. Пятина [c], Е. А. Солодянкин [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и технологии полимеров [a]
аспирант кафедры химии и переработки полимеров [b]
студенты кафедры химии и технологии переработки полимеров [c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: i.a.mansurova@yandex.ru [a], alex.kirov@list.ru [b],
verapyatina@gmail.com [c], krotoffleo@yandex.ru [d]

Аннотация. В работе исследованы структура, адсорбционные и электрические свойства образцов исходного и механоактивированного углеродного остатка, продукта пиролиза изношенных автомобильных шин. Установлено, что механоактивация углерода в планетарной мельнице с целью увеличения удельной поверхности/пористости сопровождается разупорядочиванием графитовых плоскостей в поверхностном слое частиц, ростом микропористости, образованием кислородных функциональных групп (ФГ). Электрическая емкость активной массы на основе исходного ПУ в щелочном электролите (6М КОН) увеличивается с ростом плотности тока от 18 до 30 Ф/г (в интервале от 10 до 120 мА/см^2). Электрический заряд накапливается за счет образования ДЭС на границе электрод/электролит. В тоже время электрическая емкость механоактивированного образца снижается от 13 до 8 Ф/г (в интервале плотностей тока от 10 до 120 мА/см^2). При этом форма ЦВА кривой приобретает асимметрию, что указывает на влияние размеров и структуры образующихся пор на взаимодействие ионов электролита с углеродной поверхностью. Исследование электрических свойств образцов ПУ позволило установить характер изменения структуры ПУ в процессе механической активации в планетарной мельнице.

Ключевые слова: пиролизный углерод, механическая активация, удельная электрическая емкость, адсорбция.

Введение. Пиролиз автомобильных покрышек и резинотехнических изделий является эффективным способом снижения количества полимерных отходов в объектах окружающей среды, рационального использования природных ресурсов. В процессе пиролиза образуется несколько видов материальных ресурсов, один из них – твердый углеродный остаток (ПУ). По своим характеристикам ПУ представляет собой гидрофобный материал с относительно высокой зольностью (14%), слабыми адсорбционными свойствами [1]. Для практических приложений (сорбционные материалы, материалы для накопления и преобразования энергии и т. п.) структура ПУ должна быть преобразована в направлении увеличения удельной поверхности, придания микро- и/или мезопористости (в зависимости от области практического использования), поверхностной функциональности. Это достигается в результате физической (парогазовая активация при температу-

рах более 700 °С) или химической активации (в присутствии концентрированных кислот, щелочей, солей при температурах более 800 °С). В результате активации часть материала выгорает с образованием пор различного размера. Менее энергоемким способом активации ПУ представляется механоактивация под действием мелющих тел в планетарной мельнице.

Цель исследования – анализ возможности использования механоактивации ПУ в планетарной мельнице для увеличения удельной поверхности и пористости.

Задача исследования – изучение структуры и свойств (адсорбционных, электрических) механоактивированных образцов ПУ.

Методы исследования. Для активации ПУ, предоставленного центром компетенций ВятГУ «Экологические технологии и системы», используется планетарная мельница (Retsch PM100). Скорость вращения реактора составляла 450 об/мин; соотношение массы образца и мелющих тел 1:30, ускорение 33,3 g, продолжительность активации составляла от 15 до 60 минут (соответственно образцы ПЛМ15, 30, 40 или 60). Структуру исходного и механоактивированных образцов оценивали по данным просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) (JEM 2100), ИК спектроскопии (Инфралюм ФТ 801, техника МНПВО).

Электрические характеристики исходного и активированных образцов ПУ изучали методами циклической вольтамперометрии и гальваностатического заряд/разрядного циклирования с использованием потенциостата Elins P-8. В работе использовали трехэлектродную ячейку, состоящую из рабочего электрода (исследуемый материал), вспомогательного электрода и электрода сравнения (AgCl). Углеродную массу наносили на пеноникелевую матрицу, в качестве электролита использовали 6М КОН. Снимали цикловольтамперометрические кривые (ЦВА кривые), которые дают представление о процессах, протекающих на границе электрод/электролит (5-кратное циклирование в окне потенциалов от – 900 до 0 мВ при скорости сканирования 1 мВ/с), а также заряд/разрядные зависимости, которые позволяют судить о скорости накопления электрического заряда в системе. В последнем случае использовали ряд плот-

ностей тока (10, 20, 40, 80, 120 мА/см^2), снимали по 5 зарядно-разрядных циклов для каждого значения плотности тока.

Результаты и их обсуждение. По данным ПЭМ состоит из сферических частиц (или близких к ним) (рис. 1). Частицы, в свою очередь, состоят из графеновых плоскостей, уложенных в виде кристаллитов, различным образом ориентированных в объеме частицы.

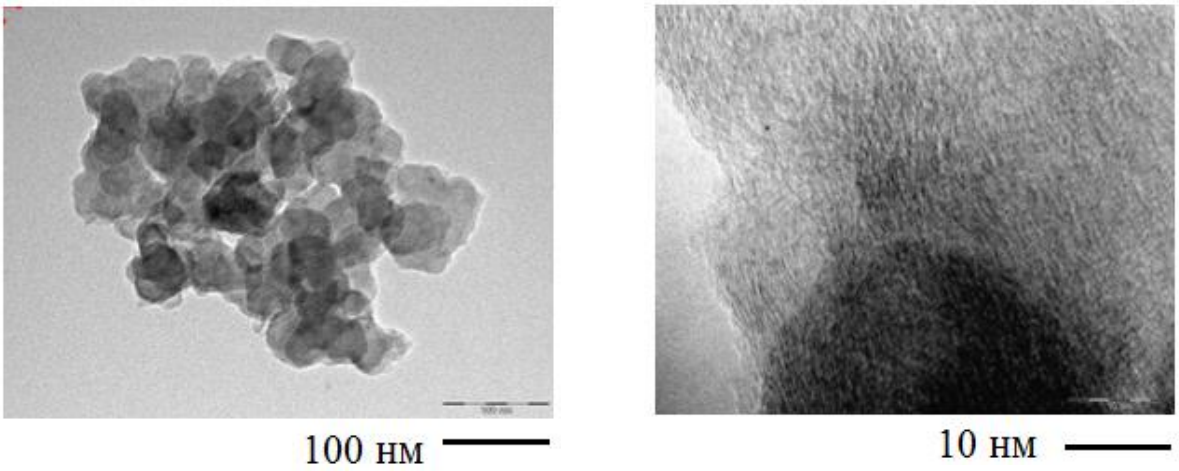


Рис. 1. ПЭМ изображение образца исходного ПУ

По данным ИК-спектроскопии процесс механоактивации сопровождается разрыхлением поверхностного слоя углеродных частиц, его окислением и газификацией. Так, с увеличением длительности обработки на ИК-спектрах увеличивается интенсивность полос поглощения валентных (область 3008 – 3070 см$^{-1}$) и деформационных (полосы 1008, 1085 и 867 см$^{-1}$) колебаний связей C=C$_{ar}$-H, соответствующих гидрированным ароматическим циклам. Усиливается интенсивность дублета 2363 и 2336 см$^{-1}$, соответствующего колебаниям CO_2. Кроме того, на спектрах имеются полосы поглощения в области 3476-3296, 1762, 1715 см$^{-1}$, указывающие на появление кислородных ФГ на углеродной поверхности, соответственно OH, COOH, C=O.

В табл. 1 представлены результаты оценки адсорбционных свойств образцов ПУ в сравнении с активированным углем (мед.).

Таблица 1

Сорбционная активность исходного ПУ, образца сравнения, активированных образцов ПУ

Образцы	Адсорбционная активность по йоду, %	Адсорбция уксусной кислоты, ммоль/г
Активированный уголь (мед)	82,5	1,4
Исходный ПУ	20,7	0,4
ПЛМ 15	27,4	0,9
ПЛМ 30	26,3	1,0
ПЛМ 40	28,1	1,6
ПЛМ 60	28,8	2,0

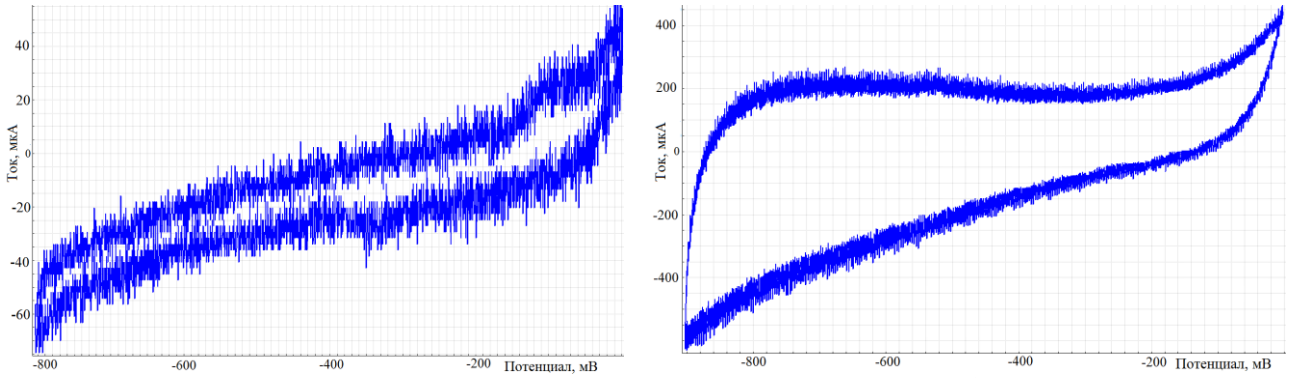
Из табл. 1 видно, что с ростом продолжительности механоактивации в частицах материала формируются микропоры, что способствует росту адсорбции йода, а образование кислородных ФГ способствует адсорбции полярных молекул уксусной кислоты.

Известно, что углеродные материалы широко исследуются в качестве электродного материала, способного накапливать электрический заряд за счет образования двойного электрического слоя (ДЭС) на границе электрод/электролит. Согласно [2], удельная электрическая емкость материала *C*, Ф/г зависит от величины удельной площади поверхности ($S_{уд}$), пористости и распределения пор по размерам, наличия ФГ на поверхности, природы электролита и ряда других факторов. Считается, что с ростом пористости увеличивается $S_{уд}$ материала и, как следствие, удельная емкость материала на единицу площади поверхности. Однако структура пор оказывает существенное влияние на способность формировать ДЭС в пределах поры. Например, поры малого размера, узкие поры останутся недоступными для ионов электролита, сольватированных молекулами растворителя.

Большая часть кислородных ФГ электроактивна [3]. Поэтому удельная емкость углеродного материала может быть увеличена за счет дополнительного протекания окислительно-восстановительных реакций (т. н. псевдоемкость конденсатора). Однако отмечено, что наличие поверхностных ФГ является одной из возможных причин саморазряда суперконденсатора (ток утечки).

На рис. 2 схематически представлена форма ЦВА кривых (2–5-й циклы) исходного (а) и механоактивированного ПУ (б) (ПЛМ60, образец для которого

наиболее существенно изменяются спектральные и адсорбционные характеристики в ходе механоактивации).



а б

Рис. 2. ЦВА кривые исходного ПУ (а) и ПЛМ60 (б)

Из рис. 2 видно, что ЦВА кривые имеют имеют характерную для углеродных материалов форму гистерезиса. В случае исходного ПУ форма ЦВА кривой соответствует прямоугольной, что свидетельствует о накоплении энергии посредством образования ДЭС на границе электрод/электролит. Форма ЦВА кривых в ходе 5-кратного циклирования практически не изменяется. Это указывает на то, что дополнительного окисления углеродной поверхности в процессе пятикратного циклирования не происходит. В случае механоактивированного образца форма ЦВА кривых изменяется, отклоняясь от прямоугольной, при этом наблюдается асимметрия и существенное увеличение площади гистерезиса ЦВА в области -800…-600 мВ, что может указывать как на увеличение удельной поверхности материала [4], так и на изменение механизма накопления электричества на межфазной границе.

Удельную электрическую емкость С, Ф/г (табл. 2) рассчитывали исходя из заряд/разрядных зависимостей согласно формуле

$$C = \frac{I \cdot (t_{кон} - t_{нач})}{(E_{н} - E_{к}) \cdot m},$$

где $t_{кон}$ – время окончания разряда, с; $t_{нач}$ – время начала разряда, с; $E_{н}$ – начальный потенциал, мВ; $E_{к}$ – конечный потенциал, мВ; m – масса углерода на рабочем электроде, г; I – сила тока, мА.

Силу тока I, мА рассчитывали по формуле

$$I = i \ S,$$

где i – плотность тока, А/см^2 (ток, при котором проводится измерение); S – площадь электрода, см^2 (0,5 см^2).

Из табл. 2 видно, что удельная электрическая емкость C, Ф/г исходного ПУ выше в сравнении с механоактивированным образцом. С увеличением плотности тока удельная электроемкость исходного ПУ увеличивается. Это указывает на то, что с увеличением плотности тока увеличивается плотность ионов электролита на углеродной поверхности. Иные электрохимические свойства демонстрирует механоактивированный образец: характеризуется меньшим значением электроемкости в сравнении с необработанным образцом и противоположной тенденцией – снижением емкости с увеличением плотности тока.

Таблица 2

Удельная емкость электродов с ПУ и ПЛМ60

Плотность тока, А/см^2	Удельная электрическая емкость материала, Ф/г	
	ПУ	ПЛМ60
10	18	13
20	22	10
40	25	9
80	25	9
120	30	8

Наблюдаемые результаты изменения адсорбционной и электрической емкости ПЛМ60 обусловлены изменением структуры материала, например появлением узких, протяженных микропор, ФГ, а также особенностями электросорбционного поведения электролита в микропорах [5]. Характер накопления электрической емкости указывает на то, что движение сольватированных ионов электролита в узких порах затруднено, что замедляет процессы зарядки/разрядки. Кроме того, кислородные ФГ, вероятно, способны «закупоривать» микропоры сольватированными ионами электролита, что приводит к снижению удельной электрической емкости материала.

Выводы. Механоактивация ПУ в планетарной мельнице сопровождается разупорядочиванием поверхностного слоя частиц, образованием кислородных

ФГ (OH, COOH, C=O). Механоактивированные образцы увеличивают свои сорбционные свойства по йоду, уксусной кислоте. Механоактивированный образец ПЛМ60 отличается электроадсорбционным поведением в сравнении с неактивированным: механизмом накопления электрической емкости, зависимостью удельной емкости от плотности тока. Вероятно, в отличие от физической или химической активации углеродного материала, образуются узкие, протяженные поры, в которых движение сольватированных ионов электролита затруднено. Дополнительно закупоривание узких пор сольватированными ионами электролита приводит к снижению электрической емкости материала.

Библиографический список

1. Мансурова И. А., Солодянкин Е. А., Пислегина К. С., Земцова Е. А. Полимерный адсорбционный материал на основе пиролизного углерода и вторичных полимеров. Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1 (г. Киров, 4 декабря 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. 290 с.
2. Endo M., Kim Y. J., Maeda T., Koshiba K., Katayam K. Morphological effect on the electrochemical behavior of electric double-layer capacitors // Journal of Materials Research. 2001. Vol. 16. № 12. P. 3402–3410. URL: https://doi.org/10.1557/JMR.2001.0468.
3. Стаханова С. В., Астахов М. В., Климонт А. А., Кречетов И. С., Калашник А. Т., Галимзянов Р. Р., Зайцева О. В., Свириденкова Н. В. Влияние кислородсодержащих поверхностных функциональных групп углеродных электродов на саморазряд суперконденсаторов // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 41. № 1. С. 67–73.
4. Belousov O. V., Borisov R. V., Parfenov V. A., Saltykov Y. V. Palladium Powders Specific Surface Estimation by Method of Cyclic Voltammetry // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2. 2008. № 1. P. 206–211.
5. Табаров Ф. С. Получение и свойства волокнистых углеродных материалов для электродов суперконденсаторов: специальность 05.6.09 – Материаловедение (металлургия) : дис. … канд. техн. наук ; НИТУ «МИСиС». М., 2019. 115 с.

Разработка композиции полимер-оксид циркония, адаптированной для 3D-печати

И. В. Толстобров [a], А. Н. Бушуев [b], Е.С. Широкова [c], В. А. Кряжевских [d]
м. н. с. центра компетенций «Экологические технологии и системы» [a, b]
кандидат химических наук, доцент кафедры химии
и технологии переработки полимеров [c]
аспирант кафедры химии и технологии переработки полимеров [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: usr08669@vyatsu.ru [a], usr08083@vyatsu.ru [b], usr06779@vyatsu.ru [c], usr21806@vyatsu.ru [d]

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы подбора оптимальной рецептуры наполненной полимерной композиции на основе оксида циркония, ее переработки в мононить (филамент) с последующей печатью на 3D-принтере. Методами гравиметрического анализа определена зольность полимерной композиции, а также определен показатель текучести расплава полученной композиции. Методом экструзии расплава полимерной композиции получен филамент, пригодный для печати на 3D-принтере, напечатана серия пробных образцов. Показано, что подобный композиционный материал может быть применен для изготовления пористых керамических изделий сложной формы методами FDM-печати с последующим выжиганием полимерной матрицы.

Ключевые слова: 3D-печать, полимерная композиция, оксид циркония, экструзия.

Введение. Формование изделий из пористой керамики (например, на основе оксида циркония) имеет ряд технологических ограничений, тогда как альтернативным способом получения изделий из керамических материалов является использование аддитивных технологий [1, с. 53].

Наиболее доступным вариантом реализации аддитивных технологий является метод послойного наплавления (FDM-печать).

На сегодняшний день традиционными для FDM-печати материалами являются: АБС-пластики (ABS), полилактид (ПЛА, PLA), ударопрочный полистирол (HIPS), полипропилен (ПП), полиметилметакрилат (ПММА), композиции на основе термоэластопластов (ТЭП) и др.

Для обеспечения требуемой структуры пор керамического изделия, получаемого методом 3D-печати, необходимо обеспечить баланс между степенью наполнения и технологичностью.

Филамент для 3D-печати методом послойного наплавления (FDM-печать) является полимерным изделием. Но печать изделий с функциональными свойствами на основе таких филаментов достаточно сложная задача из-за необхо-

димости одновременного соответствия заданных параметров с точки зрения механических, электрических, тепловых и других свойств конечных продуктов. Обеспечение необходимых высоких степеней наполнения с использованием пластиков, традиционно применяемых для 3D-печати, недостижимо [3, с. 57].

В связи с этим возникает необходимость разработки состава полимерной композиции, обеспечивающей баланс между степенью наполнения и технологичностью 3D-печати.

Целью данной работы является подбор оптимальной рецептуры полимерной композиции с добавлением оксида циркония, пригодной для последующей переработки методом экструзии и 3D-печати.

Для достижения данной цели требовалось решить следующие задачи: подобрать состав композиции с учетом ее минимальной зольности для уменьшения загрязнения конечных изделий продуктами выжигания полимерной матрицы, оптимальных реологических свойств, получить филамент, пригодный для 3D-печати.

Методы исследования. Объектом исследования являлась композиция на основе термоэластопласта (ТЭП) и оксида циркония.

Для оценки возможности выжигания использовали муфельную печь с последующим гравиметрическим анализом. Режим подъема температуры от 250 ^{o}C до 550 ^{o}C (со скоростью 150 ^{o}C в час) и от 550 ^{o}C до 900 ^{o}C (со скоростью 400 ^{o}C в час) с последующей выдержкой при 900 ^{o}C в течение 0,5 часа.

Для определения возможности переработки полученной композиции методом экструзии важной характеристикой является показатель текучести расплава (ПТР). ПТР оценивали на приборе ИИРТ-5 по стандартной методике [2].

Результаты исследований, их обсуждение. Рецептура исследуемой композиции представлена в табл. 1. Выбор компонентов осуществлялся по следующим критериям: возможность высоких степеней наполнения, возможность переработки композиции методом экструзии. В качестве полимера была выбрана смесь стирол-бутадиен-стирол (СБС) с полипропиленом. В качестве пластификатора использовалось вазелиновое масло.

Таблица 1

Рецептура полимерной композиции с оксидом циркония

Наименование ингредиента	Содержание расчетное, масс.%
СБС	26,3
Полипропилен	9,6
Масло вазелиновое	23,2
Оксид циркония	40,9
ИТОГО	100

Смешение компонентов проводили в роторном микросмесителе при температуре 180 ^{o}C со скоростью вращения роторов 50 об/мин.

Данные гравиметрического анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты гравиметрического анализа

№	Масса тигля пустого, г	Масса тигля со смесью, г	Масса тигля прокаленного, г	Масса смеси, г	Масса прокаленного остатка, г	Массовая доля остатка, %	Потеря массы, %
1	25,2068	25,4401	25,3044	0,2333	0,0976	41,8	58,2
2	29,4809	29,8500	29,6340	0,3691	0,1531	41,5	58,5

Как видно из табл. 2, массовая доля оставшейся после термического окисления полимера минеральной составляющей композиции составляет порядка 41 масс. %, таким образом, можно говорить о том, что полимерная составляющая выгорает практически полностью. Определение ПТР проводили при 190 ^{o}C с нагрузкой 2,16 кг. ПТР полученной смеси составил 5,7 г/10 мин, что приемлемо для переработки полученной композиции методом экструзии.

Экструзию композиции проводили на лабораторном экструдере при температуре 170 ^{o}C. В результате был получен филамент диаметром 1,75 мм (рис. 1).

Рис. 1. Экструзия композиции полимер-оксид циркония

Полученный филамент оказался пригодным для 3D-печати, образец печатного изделия представлен на рис. 2.

Рис.2. Образец композиции полимер-оксид циркония,
полученный методом 3D-печати

Выводы. Таким образом, подобран состав композиции на основе ТЭП и оксида циркония с минимальной зольностью и оптимальными реологическими свойствами. Из данной композиции экструдирован филамент, пригодный для 3D-печати, напечатана серия опытных образцов. Данный композит может быть применен для изготовления пористых керамических изделий сложной формы методом FDM-печати с последующим выжиганием полимерного связующего.

Библиографический список

1. Крахматова В. Ю., Захаров А. И. Формовочные массы для аддитивного производства керамических изделий // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. № 7 (176). С. 53–54.

2. 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 19.01.2020).

3. Эворо Э. Б., Перухин Ю. В., Билалов Р. Р., Дебердеев Т. Р. Использование наполненных композиций полипропилена для 3D-печати // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 21. С. 56–59.

Исследование резин на основе бутилкаучука

И. Б. Шилов [a], Н. О. Бакулев [b], Н. Е. Владимиров [c]
кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии переработки полимеров [a]
бакалавр IV курса института химии и экологии [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: shilov@vyatsu.ru [a], nikita.bakulev111@gmail.com [b], Neka1414@icloud.com [c]

Аннотация. Для изделий, работающих в условиях повышенных температур, используют резины на основе бутилкаучука. Изделия должны быть надежными и долговечными. В статье рассмотрены способы улучшения долговечности изделий для работы в условиях высоких температур, рекомендуемые дозировки ингредиентов в резиновой смеси на основе бутилкаучука БК-1675Н. Определены физико-механические и технологические характеристики исследованных резин. Определена теплостойкость резин. Для определения характеристик резин применяли стандартизованные методики, принятые в резиновой промышленности. Улучшена теплостойкость исследуемой резины на основе бутилкаучука. Показано, что при добавлении полиметилсилоксановой жидкости в резиновую смесь на основе бутилкаучука БК-1675Н вязкость резиновой смеси уменьшается без ухудшения упруго-прочностных характеристик резины. Полученные результаты могут быть полезны при разработке рецептур для резиновых технических изделий, работоспособных при высоких температурах.
Ключевые слова: бутилкаучук, вязкость, резиновая смесь, термостойкость.

Введение. Резины на основе бутилкаучука имеют высокую паро- и газонепроницаемость, хорошую тепло- и термостойкость, высокую стойкость к воздействию жидких агрессивных сред и горячего пара, имеют малое набухание в воде. Бутилкаучук используют для изготовления термо- и теплостойких резин [1]. Для изготовления тепло- и термостойких изделий на основе бутилкаучука обычно применяют смоляную вулканизацию. Для обеспечения технологических свойств в рецептуре резин на основе бутилкаучука применяют бутадиен-стирольный и хлоропреновый каучук и масло-мягчитель ПМ. Бутадиен-стирольный и хлоропреновый каучук содержат двойные связи в основной цепи, что ухудшает тепло- и термостойкость [2]. Масло-мягчитель ПМ содержит в своем составе низкомолекулярные соединения, которые легко мигрируют на поверхность вулканизата в процессе хранения или эксплуатации изделия, что снижает его физико-механические характеристики и время гарантированной эксплуатации изделий [3].

В настоящей работе рассмотрено влияние рецептурных факторов на физико-механические и технологические характеристики резин на основе бутил-

каучука. Даны рекомендации по повышению долговечности изделий на основе бутилкаучука, работающих при повышенных температурах. Известно, что бутилкаучук хорошо совмещается с этиленпропиленовым каучуком и хлорбутилкаучуком, что повышает тепло- и термостойкости резин на основе бутилкаучука [4–5]. Известно, что полиметилсилоксановые жидкости (ПМС) обладают широким диапазоном рабочих температур – от –40 °С до +200 °С [6].

Предполагали, что применение этиленпропиленового каучука, хлорбутилкаучука и полиметилсилоксановой жидкости приведет к улучшению теплостойкости конкретных исследуемых резин.

Цель исследования. Целью работы было улучшить теплостойкость резин на основе бутилкаучука для повышения долговечности изделий, работающих в условиях повышенных температур.

Задачи исследования. Задачей исследования было рассмотреть возможность применения в составе резин на основе бутилкаучука БК-1675Н этиленпропиленового каучука, хлорбутилкаучука, полиметилсилоксановой жидкости ПМС-400, тем самым улучшить теплостойкость резин.

Методы исследования. Вязкость резиновых смесей определяли по ГОСТ 10722-76 при температуре 100 °С. Стойкость к подвулканизации резиновых смесей определяли по ГОСТ Р 54552-2011 при температуре 140 °С. Упругопрочностные свойства вулканизатов (условную прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, напряжение при удлинении 100% и напряжение при удлинении 300%) определяли в соответствии с ГОСТ 270-75 при 23 °С и 130 °С. Твердость по Шору А определяли в соответствии с ГОСТ 263-75. Стойкость к термическому старению резин определяли в соответствии с ГОСТ 9.024-74.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследовали резины на основе бутилкаучука БК-1675Н, составы которых приведены в табл. 1. Исследовали резину, содержащую хлорбутилкаучук, этиленпропиленовый каучук, жидкость ПМС-400. Параллельно исследовали известную резиновую смесь на основе бутилкаучука БК-1675Н.

Таблица 1

Рецепты резиновых смесей на основе бутилкаучука

Наименование ингредиентов	Наименование смеси	
	Известная резиновая смесь	Предлагаемая резиновая смесь
	Мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	Мас. ч. на 100 мас. ч. каучука
БК-1675	95,00	95,00
СКМС-30 АРК	5,00	–
Этиленпропиленовый каучук	–	5,00
Полихлоропрен	3,00	–
Хлорбутилкаучук	–	4,00
Смола фенолформальдегидная	6,00	6,00
Ангидрид фталевый	0,50	0,50
Белила цинковые	3,00	3,00
Стеарин технический	3,00	3,00
Масло-мягчитель ПМ	5,50	–
ПМС-400	–	2,50
Технический углерод N330	50,00	50,00
Итого	171,00	169,00

Изготовление резиновых смесей проводили на лабораторных вальцах при температуре валков 60–70 ºС. Вулканизацию проводили в гидравлическом прессе с электрообогревом при температуре 160 ºС в течение 45 минут и при температуре 180 ºС в течение 25 минут. Результаты определения характеристик резин приведены в табл. 2. Согласно приведенным данным, предлагаемая резина имеет лучшую стойкость к тепловому старению, чем известная, при сохранении упруго-прочностных свойств.

Для улучшения технологических свойств в предлагаемой резиновой смеси было решено использовать разные дозировки ПМС-400 в количестве 4 и 5,5 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука. Изготовление резиновых смесей проводили на лабораторных вальцах при температуре валков 60–70 ºС. Вулканизацию проводили в гидравлическом прессе с электрообогревом при температуре 160 ºС в течение 45 минут.

Таблица 2

Результаты определения характеристик резин

Наименование показателей	Значение показателей	
	Известная резиновая смесь	Предлагаемая резиновая смесь
Свойства резиновых смесей		
Вязкость по Муни МБ 1+4, ед. Муни при 100 °С	75,4	86,1

Стойкость к преждевременной вулканизации при 140 °С T_5, мин. T_{35}, мин	11:10 21:30	14:06 27:56
Свойства вулканизатов (вулканизация 160 °С, 45 минут)		
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	6,9	4,9
Условная прочность при растяжении, МПа	16,1	16,2
Относительное удлинение при разрыве, %	640	810
Относительное остаточное удлинение, %	16	4
Свойства вулканизатов (вулканизация 180 °С, 25 минут) до старения		
Условная прочность при растяжении, МПа	14,0	14,5
Относительное удлинение при разрыве, %	690	660
Твёрдость, ед. по Шору А	66	64
Свойства вулканизатов (вулканизация 180 °С, 25 минут) после старения 24 часа при 180 °С		
Условная прочность при растяжении, МПа	3,9	4,5
Относительное удлинение при разрыве, %	220	520
Твёрдость, ед. по Шору А	78	69
Изменение характерного показателя после старения 24 часа при 180 °С, %		
По условной прочности	72	69
По относительному удлинению	67	21
По твёрдости	12	5

Результаты исследования свойств резиновых смесей с разной дозировкой ПМС-400 приведены в табл. 3. Из полученных данных видно, что увеличение дозировки ПМС-400 приводит к уменьшению вязкости без ухудшения упруго-прочностных свойств резины на основе бутилкаучука.

Таблица 3

Результаты свойств резиновых смесей с разной дозировкой ПМС-400

Наименование показателей	Т, °С	Значение показателей	
		Содержание ПМС-400 4 масс. ч.	Содержание ПМС-400 5,5 масс. ч.
Свойства смесей			
Вязкость по Муни МБ 1+4, ед. Муни при 100 °С	100	78,3	71,3
Свойства вулканизатов (160 °С, 45 минут)			
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	23 130	3,8 2,6	3,4 2,4
Условная прочность при растяжении, МПа	23 130	15,5 6,5	16,3 6,8
Относительное удлинение при разрыве, %	23 130	1130 780	1060 700
Относительное остаточное удлинение, %	23 130	20 0	6 0

Выводы. Показано, что применение в рецептуре резин на основе бутилкаучука сочетания хлорбутилкаучука с этиленпропиленовым каучуком и полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-400 целесообразно для повышения теплостойкости резин.

Библиографический список

1. Haworth J. P., Baldwin F. P., Butyl Rubber Properties and Compounding // Ind. Eng. Chem. 1942. 34. 11. P. 1301–1308.

2. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л Морозова. М. : «Издательский центр “Техинформ” МАИ», 2012. 744 с.; ил. ISBN 978-5-89551-023-0

3. Исследование возможности замены в резиновых смесях пластификатора стабилойла-18 и ДБФ на полиорганосилоксаны / Н. М. Шевченко, Н. Я. Кузьменко, Т. А. Шевченко // Полімерний журнал. 2004. Т. 26. № 3. С. –172176.

4. Модификация этиленпропиленовых каучуков и резин на их основе: тематический обзор. М. : ЦНИИТЭнефтехим. 1990. 68 с.

5. Hendrikse K. G., MCgill W. J. Vulcanization of chlorobutyl rubber. III. Reaction mechanisms in compounds containing combinations of zinc dimethyldithiocarbamate, tetramethylthiuram disulfide, sulfur, and ZnO // Journal of applied polymer science. 2001. Volume 79. Issue 7. 14 February. P. 1309–1316.

6. ПМС – полиметилсилоксановые жидкости (масла) различной вязкости – от 5 до 10.000 сст URL: https://www.penta-junior.ru/PMS/ (дата обращения: 18.02.2020).

Исследование состава образцов изделий из вторичного полиэтилентерефталата и его влияние на физико-механические показатели

Е. С. Широкова [a], Д. С. Великоредчанин [b], К. С. Белозеров [c]
кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП [a]
студент группы ХТб-4501-07-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr06779@vyatsu.ru [a], dvelikored4anin@mail.ru [b], kirill.belz@yandex.ru [c]

Аннотация. В России и за рубежом имеется множество предприятий, которые занимаются выпуском разнообразных изделий из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ). Одним из таких изделий являются волокна, которые используются в самых различных отраслях. Часто физико-механические показатели получаемых волокон в значительной степени разнятся в зависимости от производителя. В статье рассматриваются возможные причины этой актуальной проблемы. В работе оценены физико-механические свойства, молекулярная масса и качественный состав образцов изделий на основе вторичного ПЭТ различных производителей. По результатам проведенных исследований установлено, что причиной непостоянства физико-механических характеристик мононитей из вторичного ПЭТ различных производителей является их качественный состав: ряд производителей с целью повысить потребительские свойства материала прибегает к смешению ПЭТ-флекса с полиолефинами.

Ключевые слова: вторичный полиэтилентерефталат, полиолефины, мононить, дифференциально-термический анализ, термогравиметрия, прочность при растяжении.

Введение. В России и за рубежом имеется множество предприятий, которые занимаются выпуском изделий из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ). Одним из таких изделий являются волокна, которые используются в самых различных направлениях: для производства нетканых материалов, ковровых покрытий, штапельных материалов, для производства бытовых щеток, ершей [1]. Очень часто физико-механические показатели получаемых изделий в значительной степени разнятся в зависимости от производителя.

Целью данной работы было установить причину существенных различий физико-механических характеристик мононитей различных производителей. Были сформулированы задачи работы:

1. Оценка физико-механических показателей образцов мононитей на основе вторичного ПЭТ различных производителей.

2. Установление качественного состава образцов из вторичного ПЭТ различных производителей по температурам плавления методами термического анализа.

3. Оценка молекулярной массы исследуемых образцов ПЭТ.

Методы исследования. Объектами исследования в данной работе являлись образцы мононитей из вторичного ПЭТ различных производителей.

Оценка физико-механических показателей проводилась на разрывной машине AGX-5 ф. Shimadzu при скорости движения активного захвата 100 мм/мин. В процессе испытания фиксировали нагрузку, вызывающую разрушение мононити.

Для установления качественного состава образцов мононитей использовался прибор синхронного термического анализа DTG-60 ф. Shimadzu. Скорость нагрева составляла 10 °С/мин.

Сравнение исследуемых образцов по величине молекулярной массы проводилось косвенно, путем оценки времени истечения заданного объема расплава полимера на приборе ИИРТ-5: чем выше молекулярная масса образца, тем больше время истечения заданного объема расплава полимера. Температура испытания составляла 280 °С, груз – 0,325 кг.

Результаты исследований, их обсуждение. Можно выделить две группы факторов, оказывающих влияние на физико-механические свойства мононитей из вторичного ПЭТ: рецептурные и технологические. Влияние технологических факторов в данной работе не рассматривается.

На физико-механические свойства мононитей из вторичного ПЭТ в значительной степени влияет молекулярная масса, которая может варьироваться от партии к партии. Подобные несоответствия связаны чаще всего с нарушениями температурных параметров сушки материала при производстве вторичного ПЭТ. Оставшаяся в полимере влага может приводить к гидролизу и уменьшению молекулярной массы [2].

Результаты оценки физико-механических свойств мононитей, времени истечения для исследуемых образцов вторичного ПЭТ представлены в таблице.

Как видно из представленной таблицы, образец № 1 демонстрирует наиболее низкие показатели прочности в сравнении с двумя другими образцами, что согласуется с данными по времени истечения заданного объема распла-

ва полимера: с понижением средней молекулярной массы полимеров механическая прочность уменьшается [2, 3]. Однако для образцов № 2 и 3 полученные данные о времени истечения заданного объема расплава вторичного ПЭТ не согласуются с полученными физико-механическим показателями.

Результаты анализа качественного состава, времени истечения расплава и прочностных свойств образцов мононитей на основе вторичного ПЭТ

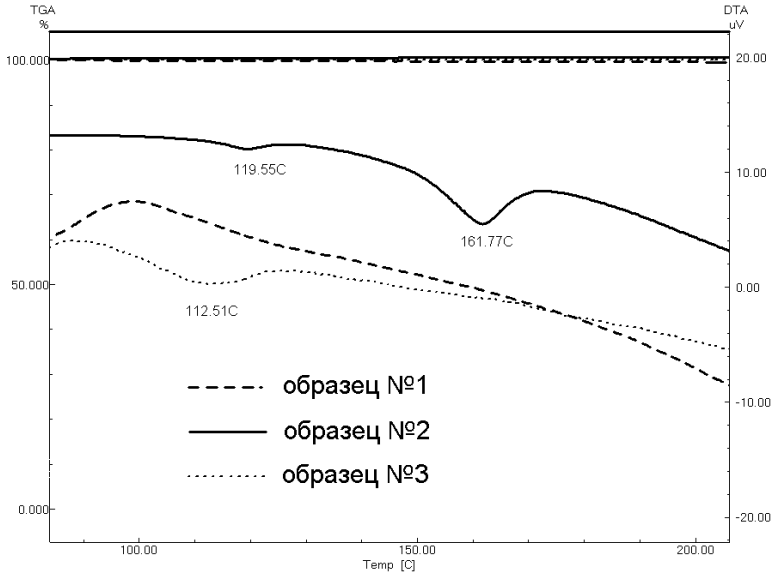
Показатель	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Прочность при растяжении, МПа	195	265	290
Время истечения расплава, с	19,42	48,56	29,89
ДТА пик, соответствующий плавлению ПЭВД (°С)	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует (112,51)
ДТА пик, соответствующий плавлению ПЭНД (°С)	Отсутствует	Присутствует (119,55)	Отсутствует
ДТА пик, соответствующий плавлению ПП (°С)	Отсутствует	Присутствует (161,77)	Отсутствует
ДТА пик, соответствующий плавлению ПЭТ (°С)	Присутствует (244,5)	Присутствует (248)	Присутствует (244,84)

Было сделано предположение, что в состав образцов мононитей, кроме вторичного ПЭТ, входят другие полимерные материалы. Для подтверждения этого предположения были оценены температуры плавления исследуемых образцов методами термического анализа.

Результаты термического анализа исследуемых образцов вторичного ПЭТ представлены на рисунке, а также обобщены в таблице.

Как видно из термограммы, некоторые образцы представляют собой смеси ПЭТ и полиолефинов: образец № 2 – смесь ПЭТ, полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и полипропилена (ПП); образец № 3 – смесь ПЭТ и полиэтилена высокого давления (ПЭВД).

По результатам проведенных исследований можно однозначно заключить, что причиной непостоянства физико-механических характеристик мононитей из вторичного ПЭТ различных производителей является их качественный состав. В образцах с наиболее высокими физико-механическими показателями № 2 и 3 обнаружено присутствие полиолефинов.



Результаты термического анализа исследуемых образцов вторичного ПЭТ

Выводы:

1. В ходе работы оценены физико-механические показатели мононитей, полученных из вторичного ПЭТ, различных производителей.

2. Методами термического анализа по температурам плавления установлено, что отдельные образцы представляют собой смеси ПЭТ и полиолефинов.

3. Оценено время истечения заданного объема расплава полимера для исследуемых образцов. Ввиду установленного различного качественного состава исследуемых образцов полученные данные не могут быть использованы в качестве сравнительной характеристики.

Таким образом, установлено, что причиной непостоянства физико-механических характеристик мононитей из вторичного ПЭТ различных производителей является их качественный состав: ряд производителей с целью повысить потребительские свойства материала прибегает к смешению ПЭТ-флекса с полиолефинами (ПЭВД, ПЭНД, ПП).

Библиографический список

1. Применение вторичного полиэтилентерефталата. URL: https://polymerbranch.com/a0833c8a1817526ac555f8d67727caf6/446152ec89f3afded4e694b072660660/magazineclause.pdf (дата обращения 04.03.2020).

2. Ф. Ла Мантия. Вторичная переработка пластмасс : пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. СПб. : Профессия, 2006. 400 с.

3. Добавки к полимерам : справочник : пер. с англ. / Х. Цвайфель, Р. Д. Маер, М. Шиллер. СПб. : Профессия, 2010. 1144 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Разработка приложения для построения динамической модели прогнозирования числа присасывания клещей в Кировской области

М. Ю. Здоровенко [a], М. В. Торопов [b]
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры прикладной математики и информатики [a]
студент группы ПМИм-2310-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr04012@vyatsu.ru [a], stud2445@vyatsu.ru [b]

Аннотация. В последние десятилетия для Кировской области актуализировалась проблема прогнозирования числа присасывания клещей и клещевых инфекций. В настоящее время в Кировской области прогнозирование ведется преимущественно на основе среднего абсолютного прироста, однако такой подход дает большую погрешность прогнозов.

Целью данной работы является разработка приложения для построения динамической модели прогнозирования числа присасывания клещей в Кировской области. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: программная реализация отбора факторных переменных, формирование набора регрессий, подходящих под задаваемые условия по эмпирическим данным, в том числе за достаточно короткий период наблюдений при большом числе факторов.

Используемые алгоритмы разработаны на основе методов многомерного статистического анализа, регрессионного и дисперсионного анализа.

Полученные результаты могут найти свое применение в сфере страхования или при планировании различных мероприятий в здравоохранении.

Ключевые слова: математическое моделирование, регрессионный анализ, прогнозирование, программная реализация модели.

Введение. В последнее десятилетие отмечается заметное смещение на север ареола обитания иксодовых клещей, что актуализировало проблему прогнозирования распространения иксодовых клещей и переносимых ими заболеваний в Кировской области. Необходимость планирования и проведения противоклещевых мероприятий актуализировала проблему разработки методов прогнозирования числа присасывания клещей.

Значительная часть исследовательских работ посвящена изучению клещевых инфекций и рисков присасывания клещей на территории Сибири и Урала [10–14], в европейских источниках указанная проблема освещается слабо [15–18]. В Кировской области прогнозирование проводится, как правило, на

основе среднего абсолютного прироста либо среднего темпа роста, что дает большую погрешность прогноза.

Цель работы – разработка приложения для построения динамической модели прогнозирования числа присасывания клещей в Кировской области. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: программная реализация отбора факторных переменных; формирование набора регрессий, подходящих под задаваемые условия по эмпирическим данным, в том числе за достаточно короткий период наблюдений при большом числе факторов; выбор технологии для реализации алгоритма и программной реализации алгоритма.

Методы исследования. В качестве метода определения параметров зависимости объясняемой переменной от выделенных факторов использовались методы многомерного статистического анализа, регрессионного анализа, дисперсионного анализа.

Для разрабатываемого приложения были установлены следующие требования: удобство использования; наличие графического интерфейса; возможность запуска без доступа к многопроцессорным ЭВМ и к видеокартам Nvidia.

Исходя из требований к приложению, для его разработки выбраны технологии, ориентированные на системы с общей памятью, использующие для вычислений ресурсы процессора и имеющие возможность создания графического интерфейса.

В качестве языка программирования был выбран язык C++ по следующим причинам: простота в использовании; поддержка высокопроизводительных технологий многопоточного программирования; поддержка NET Framework. В качестве дополнительных технологий использовались технологии .NET Framework и Windows Forms.

NET Framework – программная платформа, выпущенная компанией Microsoft в 2002 году. В частности, данная платформа включает в себя компонент для создания графического интерфейса Windows Forms, поддерживает создание структур типов List и Dictionary, удобных для генерации наборов лагов и наборов независимых переменных.

Windows Forms – интерфейс программирования приложений (API), отвечающий за графический интерфейс пользователя и являющийся частью Microsoft .NET Framework. Данный интерфейс упрощает доступ к элементам интерфейса Microsoft Windows за счет создания обёртки для существующего Win32 API в управляемом коде.

В качестве технологии многопоточного программирования была выбрана технология OpenMP, так как данная технология проста в реализации; с использованием данной технологии просто организовать синхронизацию потоков и обмен данными между ними; для разрабатываемого приложения не требуется возможность передачи каждому потоку своей функции для исполнения и возможность работы с потоками с использованием объектов.

Результаты исследований, их обсуждение. Приведем описание алгоритма работы программы. Для программного определения зависимости объясняемой переменной от независимых переменных необходимы: столбец значений зависимой переменной Y; набор столбцов значений независимых переменных $X_1, \dots, X_n$; максимальное количество независимых переменных, от которых объясняемая переменная может одновременно зависеть (обозначение $MaxReg$); максимальное значение лага объясняющих переменных (обозначение $MaxLag$); минимальное значение скорректированного коэффициента детерминации, начиная с которого определяемые программой регрессии будут признаны значимыми (обозначение $MinCoeffDeterm$).

Далее приведем описание алгоритма:

- генерируются всевозможные сочетания независимых переменных количеством от 1 до $MaxReg$ и всевозможные наборы лагов для количества независимых переменных от 1 до $MaxReg$ и глубины лага от 0 до $MaxLag$;
- для каждого сочетания независимых переменных и для каждого подходящего набора лагов рассчитываются коэффициенты регрессии;
- для каждой рассчитанной линейной регрессии находится скорректированный коэффициент детерминации R^2_{adj}; в зависимости от значения скоррек-

тированного коэффициента детерминации регрессия включается либо не включается в список подходящих регрессий.

Представим описание разработанного приложения.

Для запуска механизма, формирующего набор регрессий, требуется указать следующие параметры: количество столбцов независимых переменных; длина столбцов независимых переменных и столбца зависимых переменных; значение параметра $MaxReg$ (по умолчанию – 1); значение параметра $MaxLag$ (по умолчанию – 0); значение параметра $MinCoeffDeterm$ (по умолчанию – 0,9); количество потоков, которые будут запущены при определении возможных регрессий (обозначение $CountThreads$, по умолчанию – количество потоков процессора в системе).

Столбец зависимой переменной Y и набор столбцов независимых переменных $X_1, \dots, X_n$ хранятся в папке с программой в файлах формата .csv.

При нажатии на кнопки «Рассчитать (по комбинациям)» и «Рассчитать (по умножению матриц)» запускается соответствующий алгоритм определения зависимости объясняемой переменной от независимых переменных с указанными параметрами либо с параметрами по умолчанию.

По окончании работы алгоритма в текстовое поле выводится список обнаруженных линейных регрессий, скорректированный коэффициент детерминации которых не меньше указанного, в соответствующем поле. Для каждой найденной регрессии выводится список параметров и лагов, уравнение регрессии и скорректированный коэффициент детерминации.

Разработанный алгоритм и его программная реализация позволили построить набор регрессий по эмпирическим данным. Использовались следующие данные: $temp^i_{\text{месяц}}$ – температура в указанном месяце с лагом i лет, $wet^i_{\text{месяц}}$ – влажность воздуха в указанном месяце с лагом i лет, $wolf^i_{\text{месяц}}$ – влажность воздуха в указанном месяце с лагом i лет. При построении модели использовались данные за период с 2004 по 2019 год. Значение $MinCoeffDeterm$ было принято равным 0,95.

В процессе построения модели были сформированы инструментальные переменные:

$X_1 = t_1 * temp^0_{\text{март}} + t_2 * temp^0_{\text{апрель}}$;

$X_2 = t_3 * temp^0_{\text{август}} + t_4 * temp^0_{\text{сентябрь}}$;

$X_3 = temp^2_{\text{август}}$;

$X_4 = temp^3_{\text{сентябрь}}$;

$X_5 = t_5 * wet^0_{\text{июнь}} + t_6 * wet^0_{\text{июль}}$;

$X_6 = wet^1_{\text{ноябрь}}$;

$X_7 = wolf^0_{\text{март}} * t_7 + wolf^0_{\text{апрель}} * t_8$.

Значения весовых коэффициентов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения весовых коэффициентов

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
2,413	2,991	–0,817	2,990	1,842	2,530	2,500	3,000

Приложением был сформирован набор линейных регрессий, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Набор сформированных регрессий

Значимые регрессоры	Полученное регрессионное уравнение	Коэффициент R^2_{adj};
X0 с лагом 0: X1 с лагом 0; X2 с лагом 2; X3 с лагом 2; X4 с лагом 0; X5 с лагом 3; X6 с лагом 1	Y= -41775,577+433,463*X0+1027,278*X1+ +1211,848*X2+2309,798*X3-103,317*X4+ +309,314*X5-14,009*X6	0,965
X0 с лагом 0; X1 с лагом 0; X2 с лагом 3; X3 с лагом 3; X4 с лагом 1; X5 с лагом 3; X6 с лагом 1	Y=-68243,724+434,378*X0+1037,993*X1- -1403,123*X2-1320,453*X3+61,525*X4+ +1004,32*X5-18,043*X6	0,964
X0 с лагом 0; X1 с лагом 1; X2 с лагом 2; X3 с лагом 3; X4 с лагом 0; X5 с лагом 0; X6 с лагом 2	Y= -50241,047+205,432*X0-260,13*X1+ +2890,941*X2-2887,752*X3+26,417*X4+ +507,631*X5-7,033*X6	0,961
X0 с лагом 0; X1 с лагом 1; X2 с лагом 2; X3 с лагом 3; X4 с лагом 2; X5 с лагом 0; X6 с лагом 2	Y= -27603,562+239,598*X0-389,355*X1+ +2853,549*X2-3077,746*X3-25,862*X4+ +488,189*X5-7,141*X6	0,976
X0 с лагом 0; X1 с лагом 1; X2 с лагом 2; X3 с лагом 3; X4 с лагом 3; X5 с лагом 0; X6 с лагом 2	Y= -40944,282+244,731*X0-349,714*X1+ +2775,001*X2-2808,883*X3+18,487*X4+ +458,365*X5-6,079*X6	0,953

Выводы. В данной работе было разработано приложение для построения динамической модели прогнозирования числа присасывания клещей в Кировской области. В ходе работы была создана программа, осуществляющая отбор факторных переменных и формирующая набор регрессий, подходящих под задаваемые условия по эмпирическим данным, в том числе за достаточно короткий период наблюдений при большом числе факторов, осуществлен выбор технологии для реализации разработанного алгоритма и программная реализация алгоритма.

В качестве технологий для реализации алгоритма был выбран язык C++ с использованием технологий .NET Framework, Windows Forms и OpenMP.

Библиографический список

1. Эконометрика. Начальный курс : учеб. / Я. Р. Магнус, П. К. Катышев, А. А. Пересецкий. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Дело, 2004. 576 с.

2. Заречнев В. А. Прогнозирование на компьютере. Основы теории. Часть 1 : учеб. 1-е изд. Киров : Издательство ВятГУ, 2005. 95 с.

3. Справочник по языку C++ | Microsoft Docs. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/cpp/cpp/cpp-language-reference (дата обращения: 12.01.2020).

4. Обзор .NET | Microsoft Docs. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/standard/tour (дата обращения: 12.01.2020).

5. Windows Forms | Microsoft Docs. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/framework/winforms/ (дата обращения: 12.01.2020).

6. Home OpenMP. URL: https://www.openmp.org (дата обращения: 12.01.2020).

7. Антонов А. С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP : учеб. М. : Изд-во МГУ, 2009. 77 с.

8. Здоровенко М. Ю. Прогнозирование числа присасывания клещей в кировской области на основе авторегрессионных моделей // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сб. статей / ВятГУ. Киров, 2016. С. 2678–2682.

9. Здоровенко М. Ю., Торопов М. В. Динамическая модель прогнозирования числа присасываний клещей в Кировской области // Математическое моделирование и информационные технологии : сб. ст. Международной научной конференции. Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина. 2017. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=34846742.

10. Разработка подходов к прогнозированию заболеваемости клещевым энцефалитом на основании многофакторного анализа условий реализации эпидемического процесса / Л. Б. Козлов, В. В. Мефодьев, А. А. Огурцов и др. // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2002. Т. 2. № 4. С. 67–69.

11. Козлов Л. Б., Цокова Т. Н. Разработка математической модели прогнозирования заболеваемости клещевым энцефалитом // Успехи современного естествознания. 2008. № 6. С. 12–16.

12. К вопросу прогнозирования численности иксодовых клещей IX. RICINUS в природных биотопах с помощью искусственных нейронных сетей / С. И. Логвинов, В. А. Смольянинова, О. Л. Смольянинова, С. И. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Вып. № 1. Т. XIX. С. 231–234.

13. Любезнова О. Н., Бондаренко А. Л. Влияние климатических факторов на распространение клещевых инфекций на территории Кировской области // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2012. № 2. С. 48–51.

14. Некрасов П. В., Чичкин С. Н. Возможность применения компьютерного моделирования при изучении и дальнейшем прогнозировании динамики заболеваемости населения на территории Пензенской области // Медицина: вызовы сегодняшнего дня: материалы междунар. науч. конф. 2012. С. 92–94.

15. Using Risk Group Profiles as a Lightweight Qualitative Approach for Intervention Development: An Example of Prevention of Tick Bites and Lyme Disease / Desiree Beaujean1, Lex van Velsen, Julia EWC van Gemert Pijnen, Angelique Maat; Jim E van Steenbergen, Rik Crutzen // JMIR Res Protoc 2013. access. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3841373.

16. Red fox and tick-borne encephalitis (TBE) in humans: Can predators influence public health? / Paul D. Haemig, Stefan Lithner, Sara Sjöstedt de luna, Åke Lundkvist, Jonas Waldenström, Lennart Hansson, Malin Arneborn, Björn Olsen // Scandinavian Journal of Infectious Diseases. 2008. Vol. 40. P. 527–532.

17. Roadside ecology and epidemiology of tick-borne diseases. / Paul D. Haemig, Jonas Waldenström, Björn Olsen // Scandinavian Journal of Infectious Diseases. 2008. Vol. 40. P. 853–858.

18. Stjernberg L., Berglund J. Detecting ticks on light versus dark clothing // Scandinavian Journal of Infectious Diseasesю 2005. Vol. 30. P. 432–438.

Методы машинного обучения для прогнозирования заработной платы сотрудников

Т. А. Пескишева [a], Д. Э. Маскин [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики [a]
студент группы ФИб-4301-51-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: peskisheva.t@mail.ru [a], fffatal0@gmail.com [b]

Аннотация. Прогнозирование временных рядов – актуальная в настоящее время область машинного обучения, позволяющая строить прогноз будущих значений временного ряда и принимать эффективные решения. Она представляет интерес, потому что может быть автоматизирована, и с её помощью бизнес может получать дополнительные доходы без вмешательства пользователя. Данная область включает в себя регрессионный анализ и ряд инструментов математико-статистических методов анализа.

Популярность и развитие вычислительной техники, в том числе персональных компьютеров, поспособствовали широкому внедрению и применению методов анализа и прогнозирования данных.

С помощью задачи прогнозирования временных рядов можно определить значение средней заработной платы в будущем по существующим данным за прошлый период времени. Целью данной работы является разработка приложения для прогнозирования номинальной среднемесячной заработной платы в России на три года в будущем.

Ключевые слова: машинное обучение, прогнозирование временных рядов, модель ARIMA, расчет заработной платы сотрудников.

Введение. Актуальной на сегодня проблемой является тема заработной платы в России. Номинальная заработная плата – совокупность всех начислений работнику за какой-либо промежуток времени либо за объём выполненной работы. С помощью задачи прогнозирования временных рядов можно определить значение средней заработной платы в будущем по существующим данным за прошлый период времени.

Целью данной работы является разработка приложения для прогнозирования номинальной среднемесячной заработной платы в России. Созданная модель прогнозирования должна иметь возможность предсказывать показатели заработной платы в России в будущем с приемлемым значением погрешности.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать модель для прогнозирования и анализа временных рядов; выполнить сравнение построенной модели и полученных на её основе данных с реальными показателями заработной платы в России; провести анализ эффективности полученной модели.

Временной ряд – последовательность измеренных значений, изменяющихся (или остающихся равными) в разные промежутки времени.

Анализ временных рядов позволяет найти, объяснить, интерпретировать и использовать некоторые закономерности в данных. Помимо вышеперечисленных функций анализ временных рядов позволяет строить какие-либо прогнозы. *Прогнозирование временных рядов* состоит в анализе, преобразовании данных (предобработке) и построении вычислительной модели для предсказывания значений заданного ряда для будущих событий, основываясь на существующих данных. Примером могут послужить задачи эконометрики, такие как прогнозирование цен на товары, акции, ценные бумаги; прогнозирование объёмов продаж и закупок; прогнозирование различных показателей рынка и т. д. [2]

Модели временных рядов обычно используют прошлые уже известные значения, чтобы узнать возможные в будущем. При анализе произвольного временного ряда выделяют обычно три компонента: *сезонность*, *тренд*, *зашумленность*.

Сезонность – присутствие в данных свойства периодичности. Тренд – общая тенденция возрастания, убывания или стагнации. Наконец, свойство зашумленности – это случайные факторы.

Методы прогнозирования временных рядов чаще всего основываются на снижении фактора зашумленности данных, выявлении тенденции, разглаживании функции и последующем использовании найденных закономерностей для предсказания будущих значений. Чтобы оценить качество разработанной модели прогнозирования, необходимо провести тестирование.

Методы исследования. *Авторегрессионное скользящее среднее (autoregressive moving-average, ARMA, модель Бокса – Дженкинса)* – модель, применяемая для анализа, исследования, прогнозирования временных рядов. Используется в эконометрике, статистическом анализе, обработке сигналов [3].

Модель авторегрессионного скользящего *ARMA (p, q)*, содержащая p компонентов авторегрессии и q скользящих средних, задаётся в следующем виде:

$$V_t = c + \epsilon_t + \sum_{i=1}^{p} \theta_i * \epsilon_{t-i} + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i * V_{t-i},$$

где φ_i – параметры модели; c – константа; ϵ_t – значения ошибки; θ_i – параметры модели.

Обычно значения ошибки ϵ_t полагают независимыми одинаково распределёнными случайными величинами, взятыми из нормального распределения с нулевым средним: $\epsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$, где σ^2 – дисперсия. Предположения можно ослабить, но это может привести к изменению свойств модели.

После подбора параметров *p* и *q* с помощью метода наименьших квадратов (МНК) можно минимизировать ошибку.

Авторегрессионное интегрированное скользящее среднее (autoregressive integrated moving-average, ARIMA) – это расширение модели ARMA. Используется данная модификация для более глубокого анализа данных и позволяет прогнозировать будущие точки ряда. Модель обычно обозначают как *ARIMA (p, d, q)*, в которой *p*, *d* и *q* означают порядок для частей модели: *p* – авторегрессионная, *d* – интегрированная, *q* – скользящего среднего [4]:

$$\left(1 - \sum_{i=1}^{p} \phi_i * L^i\right)(1-L)^d X_t = \left(1 + \sum_{i=1}^{q} \theta_i * L^i\right)\epsilon_t,$$

где L – оператор задержки (лаг); ϕ_i – параметры авторегрессионной части модели; θ_i – параметры скользящего среднего; ϵ_t – значения ошибки; d – положительное целое число, задающее уровень дифференцирования.

Результаты исследований, их обсуждение. В данной статье рассматривается вычислительный эксперимент на основе реальных данных, предоставленных Единым архивом экономических и социологических данных (ЕАЭСД) – организацией, обеспечивающей свободный и открытый доступ к результатам эмпирических исследований в сфере наук об обществе [1].

В качестве данных для анализа и предсказания использована номинальная заработная плата в России в период с января 1993 года по октябрь 2019 года. Требуется построить модель прогнозирования временных рядов, обучить

данную модель на существующих известных данных и составить прогноз уровня номинальных среднемесячных заработных плат в России на три года вперёд, а также оценить качество предсказания построенной модели.

Чтобы привести данные к нормальному виду, воспользуемся методом обратной трансформации Бокса – Кокса. Так как мы получаем прогноз регрессии по трансформированным данным, нам необходимо получить значения в первоначальной переменной.

Анализируем ряд на сезонность и тренд:

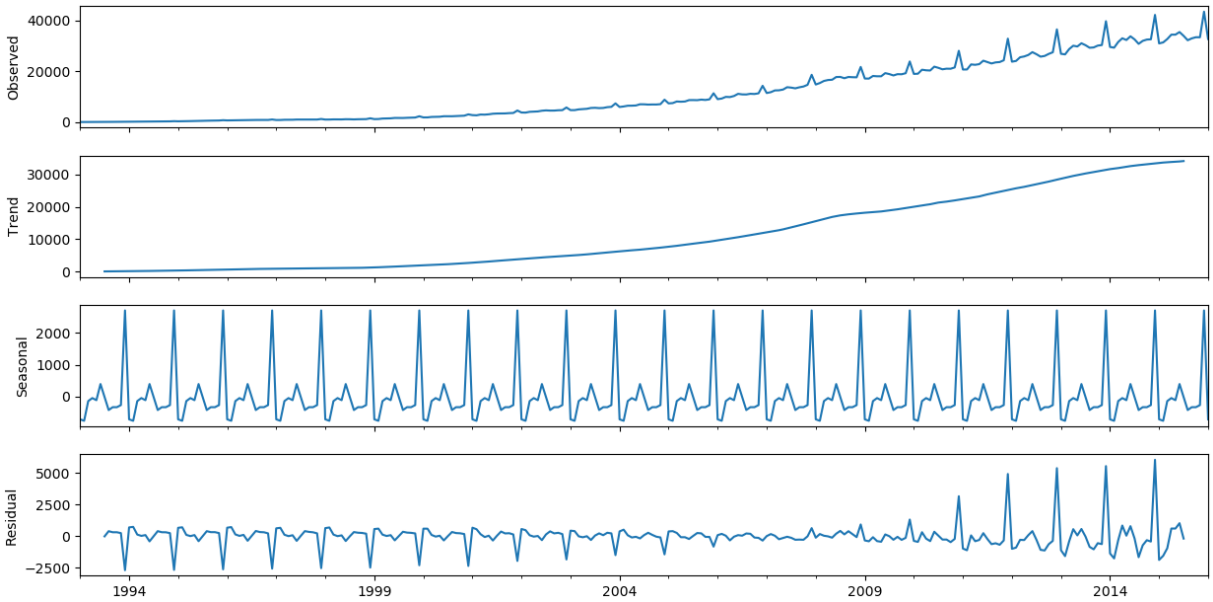


Рис. 1. Свойства ряда

На рис. 1 виден общий тренд – уровень заработной платы растёт в перспективе (trend); сезонность (seasonal) – уровень заработной платы то возрастает, то резко падает с неким периодом; дисперсии значений в начале ряда и в конце существенно отличаются. Мы видим по уровню дисперсии на самом нижнем графике (residual), что данные необходимо привести к стационарности. Для этого воспользуемся методом Бокса – Кокса.

Дисперсия уменьшилась, однако данные ещё не стационарны, что мешает нам сделать прогноз. Дважды дифференцируем ряд по сезону (рис. 2).

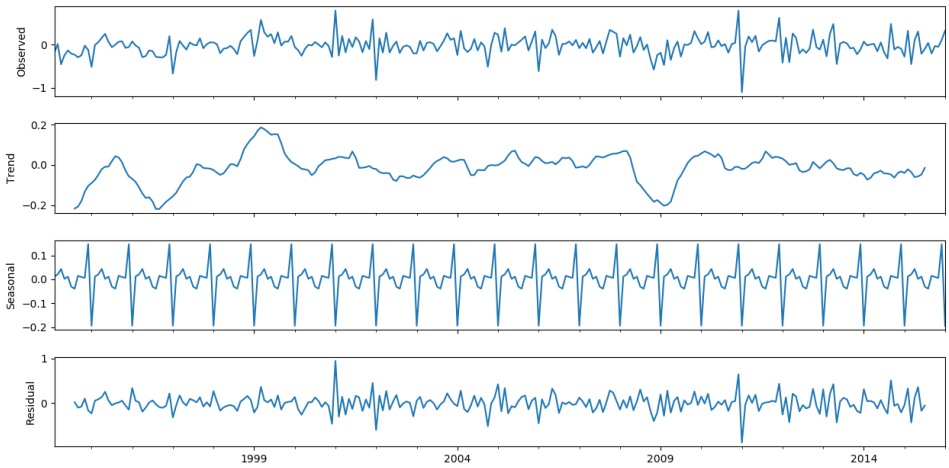


Рис. 2. Второе дифференцирование ряда

Влияние тренда уменьшилось. Теперь можно подобрать начальные параметры и обучить модель. Необходимо выбрать оптимальную комбинацию параметров модели, чтобы тест Акаике выдавал минимальный результат, но при этом не переобучить модель.

При нахождении лучшей модели проанализируем остатки авторегрессии (рис. 3), чтобы проверить их на стационарность.

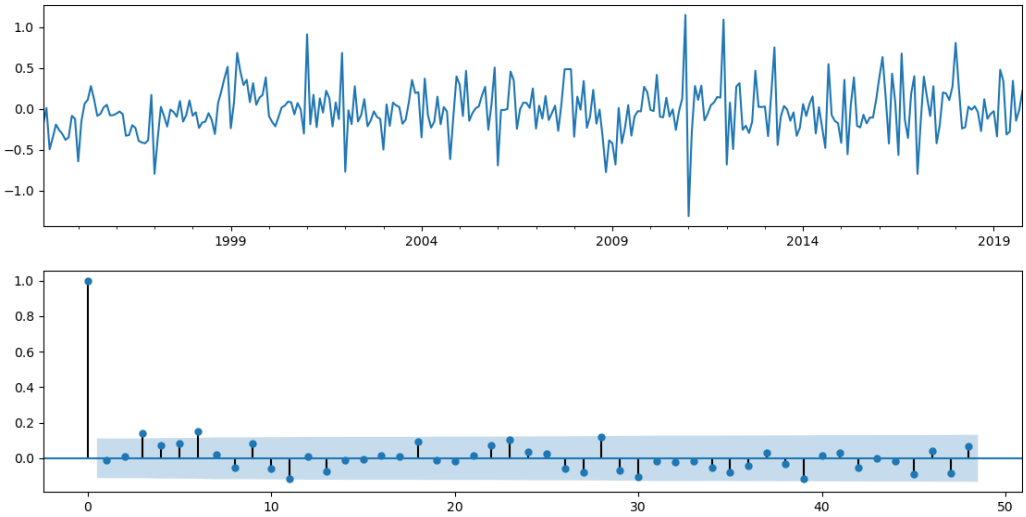


Рис. 3. Остатки авторегрессии

Результат t-критерия Стьюдента показывает, что остатки не смещены. На рис. 3 видно, что данные остатков авторегрессии стационарны. Также тест Дики – Фуллера подтверждает стационарность данных.

Рис. 4. Прогноз модели

На рис. 4 изображён прогноз заработной платы на три года вперёд от октября 2019 года. Чтобы оценивать качество прогноза, необходимо протестировать модель.

Чтобы протестировать модель, обучим модель на выборке не за всё время, а, к примеру, до 2015 года. И составим прогноз на несколько лет вперед. Мы можем нанести на график прогноз модели на прошлый период в истории, чтобы сравнить действительные показатели с предсказанием, так как значения заработной платы нам будут известны.

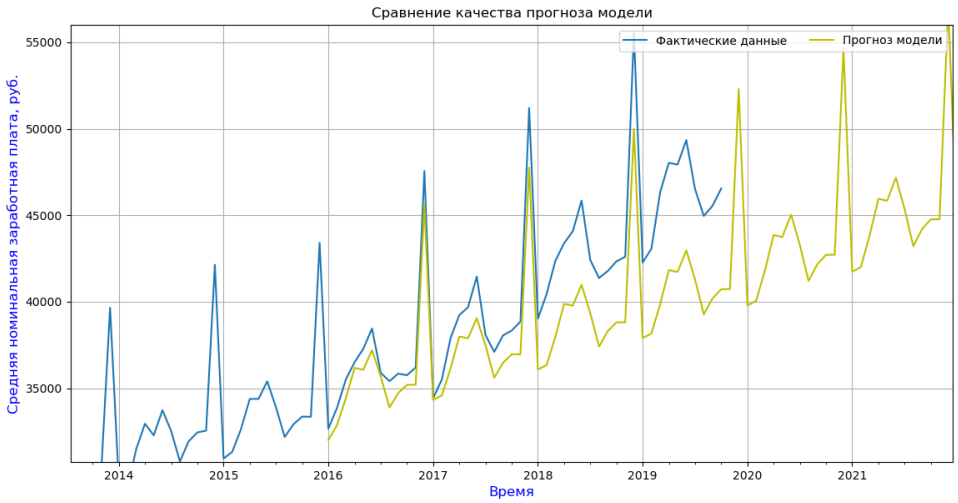


Рис. 5. Сравнение качества прогноза модели

Как видно из рис. 5, чем ближе время прогноза к настоящему, тем точнее получается результат. И наоборот, чем большую дальность прогноза в будущее

мы выбираем, тем менее точным получается результат. Это связано со скрытыми параметрами и шумом. Для примера рассчитаем среднюю абсолютную ошибку для графика.

Средняя абсолютная ошибка прогноза

N (кол-во месяцев)	Средняя абсолютная ошибка
1	0,001715096
3	0,006848288
6	0,012924799
12	0,026682522
18	0,044130458
24	0,064900563
32	0,125975604
38	0,173732784
42	0,217740041
46	0,257756541

Как видно по данным таблицы, чем дальше прогноз в будущее, тем менее точным получается результат. Ошибка растёт в зависимости от того, на сколько месяцев вперёд совершён прогноз. Отобразим рост средней абсолютной ошибки на графике.

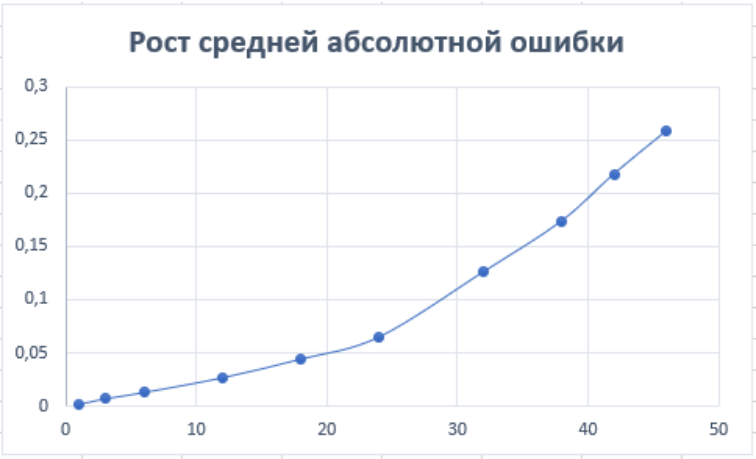


Рис. 6. Рост средней абсолютной ошибки

По рис. 6 видно, как растёт ошибка в зависимости от количества месяцев прогнозирования. График напоминает больше всего экспоненциальный рост.

Выводы. Для достижения поставленной цели разработана модель для прогнозирования и анализа временных рядов; выполнено сравнение построен-

ной модели и полученных на основе её данных с реальными показателями заработной платы в России; проведен анализ эффективности полученной модели.

Анализ результатов полученной модели прогнозирования позволяет сделать вывод, что строить прогноз слишком далеко неэффективно, так как слишком высока вероятность ошибки. Прогноз на ближайшее время также неэффективен. Хотя данные близки к реальности, зачастую этого недостаточно, чтобы сделать какие-либо выводы или извлечь какую-либо экономическую выгоду и получить какую-то пользу. Важную роль играют скрытые параметры и шум в уравнении. Они существенно влияют на качество прогноза. Чем больше известно параметров, влияющих на результат, тем легче составляется прогноз.

Полученная модель может быть использована не только для прогноза заработной платы сотрудников, но и для решения таких задач эконометрики, как прогнозирование цен на товары, акции, ценные бумаги; прогнозирование объёмов продаж и закупок; прогнозирование различных показателей рынка.

Библиографический список

1. Месячные показатели средней заработной платы в России. URL: sophist.hse.ru/hse/1/tables/WAG_M.htm (дата обращения 09.03.2020).

2. Keogh E., Kasetty S. On the Need for Time Series Data Mining Benchmarks: A Survey and Empirical Demonstration // Data Mining and Knowledge Discovery 7, 2003. P. 349–371.

3. Эконометрика / под ред. И. И. Елисеевой. 2-е изд. М. : Финансы и статистика, 2006. 576 с.

4. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. 2018. URL: https://otexts.com/fpp2/ (дата обращения 09.03.2020).

Анализ методов подбора гиперпараметров сверточной нейронной сети

В. С. Ростовцев [a], О. Н. Черемисинова [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ [a]
студент группы ИВТм-1301 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: rostov_kirov@mail.ru [a], cheremisinova8@gmail.com [b]

Аннотация. Повышение качества распознавания образов на основе сверточной нейронной сети при отсутствии общепринятой методики определения оптимальных параметров сверточной нейронной сети остается актуальной задачей. Вариантами повышения качества распознавания изображений является ручная настройка гиперпараметров или использование одного из автоматических методов подбора. Несмотря на существование множества алгоритмов автоматической настройки гиперпараметров, нельзя однозначно рекомендовать один из них. Интуитивный выбор архитектуры и гиперпараметров сверточной нейронной сети с опорой на предыдущий опыт исследователей, предобработка обучающих примеров и использование аугментации в некоторых случаях способны показать лучшие результаты, чем рассмотрение большого количества архитектур с помощью автоматической оптимизации. В статье приводятся рекомендации и результаты применения методики автоматического выбора параметров сверточной нейронной сети для повышения качества распознавания изображений.

Ключевые слова: распознавание изображений, сверточные нейронные сети, оптимизация гиперпараметров, Байесовская оптимизация.

Введение. Неотъемлемый этап разработки модели нейронной сети – подбор ее параметров для улучшения результатов ее работы, который является достаточно трудоемким. Единая общепринятая методика повышения качества распознавания изображения с помощью СНС отсутствует, и в большинстве случаев подбор параметров нейронной сети определяется опытом и интуицией разработчика или автоматической настройкой гиперпараметров с помощью существующих библиотек [1].

Добиться высокого качества распознавания изображений позволяет ручная настройка гиперпараметров сверточной нейронной сети. Использование данного метода [2] способно повысить точность распознавания изображений до 90% при использовании небольшого размера выборки (примерно по 1000 примеров в классе). Однако этот метод трудоемок, требует высокой квалификации специалистов и больших затрат по времени.

Методы исследований. Целью данной статьи является сокращение времени и трудоемкости автоматического подбора оптимизационных параметров СНС для повышения точности распознавания изображений.

Требуется провести анализ подбора гиперпараметров сверточной нейронной сети с максимальным уровнем распознавания изображений методом ручной настройки и автоматическими методами оптимизации.

Сверточная нейронная сеть содержит большое число гиперпараметров, влияющих на результат обучения, которые необходимо выбрать в процессе построения нейросети, например количество слоев, как сверточных, так и полносвязных, их размер, параметры фильтра сверточных слоев и другие.

Существует несколько способов выбора значений данных параметров [3]:

– ручная настройка гиперпараметров;

– поиск по сетке;

– случайный поиск;

– оптимизация гиперпараметров на основе модели (Байесовская оптимизация, эволюционная, Spearmint, TPE, SMAC и другие).

Ручная настройка гиперпараметров требует понимания связи между гиперпараметрами, ошибкой обучения, ошибкой обобщения и вычислительными ресурсами (памятью и временем работы). Ручная настройка гиперпараметров может дать отличный эффект, если у разработчика есть хорошая отправная точка, например эффективные значения параметров НС, определенные другими исследователями для аналогичной архитектуры, или если разработчик имеет большой опыт изучения оптимальных значений гиперпараметров для подобных нейронных сетей.

Часто такие сведения отсутствуют или ограничено время для оптимизации нейронной сети. Тогда прибегают к автоматической настройке гиперпараметров.

Для небольшого количества гиперпараметров (не более трех) часто используют поиск по сетке. Для каждого рассматриваемого гиперпараметра разработчик выбирает множество возможных значений, после чего модель обучается на каждой комбинации значений гиперпараметров. В результате выбирается модель с наилучшими целевыми показателями. Очевидна проблема данного метода: вычислительная стоимость экспоненциально растет с увеличением числа гиперпараметров [1–3].

В качестве альтернативы используется случайный поиск, когда вместо перебора всех комбинаций значений гиперпараметров случайным образом выбираются значения гиперпараметров в соответствии с их заданными распределениями. Доказано, что данный метод снижает ошибку на контрольном наборе гораздо быстрее, чем поиск на сетке, если оценивать по числу раундов [4].

В алгоритмах оптимизации, основанных на модели, строится некоторая модель целевой функции, например ошибки на контрольном наборе, а затем выполняется оптимизация в рамках этой модели. В большинстве подобных алгоритмов поиска гиперпараметров применяется Байесовская модель регрессии для оценки как ожидаемого значения ошибки для каждого гиперпараметра, так и неопределенности этой оценки [3]. Таким образом, Байесовская оптимизация подразумевает поиск компромисса между исследованием (предложением гиперпараметров с высокой неопределенностью, которые могут дать заметное улучшение) и использованием (предложением гиперпараметров, которые, скорее всего, будут работать так же хорошо, как виденные ей ранее, – обычно это значения, очень близкие к наблюдавшимся прежде).

Для сравнения с ручным методом настройки гиперпараметров было рассмотрено использование случайного поиска и Байесовской оптимизации [3, 5] для получения оптимальной архитектуры нейронной сети.

Экспериментально оптимизация случайным поиском и Байесовским методом производилась с помощью библиотеки Keras Tuner. В качестве настраиваемых параметров выбраны: функция активации, количество сверточных слоев, размер фильтра в сверточной слое, количество полносвязных слоев, их размер, значение функции Dropout, а в качестве оптимизируемого параметра – точность на валидационных данных. Обучение и тестирование происходило на кадрированных данных. При этом не производилась аугментация, поскольку ее использование не позволяла библиотека оптимизации Keras Tuner. Поиск оптимальной архитектуры производился в течение 55 итераций, наилучшая достигнутая точность на валидационных данных Байесовским методом – 0,7892; при этом точность распознавания на тестовых данных – 83%. Максимальная точ-

ность на валидационных данных при оптимизации случайным поиском – 0,7909; при этом точность распознавания на тестовых данных – 84%. На подбор наилучшей архитектуры каждым способом было потрачено около 4 часов.

Другой возможный и перспективный метод – эволюционная оптимизация [6], основанная на принципе работы эволюционных алгоритмов и обеспечивающая поиск оптимальных гиперпараметров нейронной сети.

С помощью эволюционного алгоритма проведен подбор гиперпараметров сверточной нейронной сети в среде Matlab с использованием пакетов Deep Learning Toolbox, Optimization Toolbox и Global Optimization Toolbox. Генами в хромосоме выступает комбинация значений настраиваемых гиперпараметров, в качестве которых было выбрано количество нейронов в сверточных и полносвязных слоях (при использовании четырех сверточных и двух полносвязных слоев), а в качестве оптимизируемого параметра – точность на множестве валидационных данных, не участвующих в обучении сети. Оптимизация гиперпараметров проведена путем создания 10 поколений с использованием от 5 до 20 особей. Для обучения и тестирования использовалась та же обучающая выборка, что и в случайном поиске и Байесовской оптимизации.

При использовании данного метода была достигнута точность распознавания на тестовых данных 86%, что сравнимо с точностью при ручной настройке нейронной сети. При этом поиск наилучших параметров алгоритмом происходил в течение 20 часов.

Данный алгоритм прост в реализации, но очевидны его недостатки: при большом времени обучения сверточной нейронной сети в процессе подбора гиперпараметров потребуется много времени и ресурсов. При больших значениях размера популяции эволюционных алгоритмов (более 100) потребуется их реализация с помощью программ и библиотек параллельного программирования.

Результаты исследований. Результаты экспериментальной апробации работы сверточной нейронной сети в процентном соотношении после оптимизации случайным поиском представлены в табл. 1, после Байесовской оптимизации представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты распознавания изображений (в процентах) после оптимизации случайным поиском

Номер класса	Общее количество изображений	Результат	
		Верно распознано, %	Неверно распознано, %
1	100	85	15
2	100	86	14
3	100	83	17
Всего	300	84	16

Таблица 2

Результаты распознавания изображений (в процентах) после Байесовской оптимизации

Номер класса	Общее количество изображений	Результат	
		Верно распознано, %	Неверно распознано, %
1	100	77	23
2	100	79	21
3	100	92	8
Всего	300	83	17

Оптимизация случайным поиском и Байесовской оптимизацией дают примерно одинаковые высокие результаты. Случайным поиском была получена точность распознавания на тестовых данных немного больше, чем Байесовским методом.

Результаты экспериментальной апробации работы сверточной нейронной сети после оптимизации эволюционным методом с использованием 5, 7, 10, 15 и 20 особей в поколении представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты распознавания изображений (в процентах) после эволюционной оптимизации

Количество особей в поколении	5	7	10	15	20
Верно распознано изображений, %	73	78	86	84	85

На рисунке представлен график зависимости точности обучения от количества особей в поколении после оптимизации эволюционным методом.

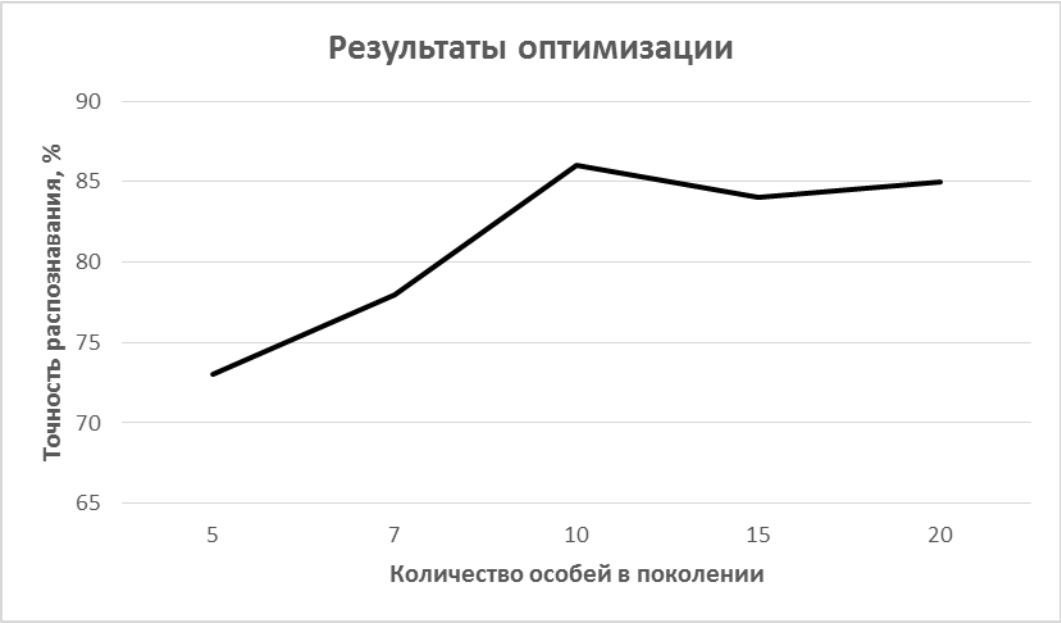


График зависимости точности обучения от количества особей в поколении

Из представленного выше графика можно заметить, что с ростом количества особей в поколении точность распознавания образов повышается, для оптимизации СНС в рассматриваемой задаче достаточно 10 особей в поколении.

Выводы. Результаты экспериментального моделирования оптимизации гиперпараметров СНС показали, что рассмотренные автоматические методы позволяют достаточно качественно настроить сверточную нейронную сеть, давая точность распознавания (до 84%) на тестовых данных, сравнимую с точностью, получаемую при ручной настройке параметров нейронной сети.

Преимуществом автоматических методов подбора гиперпараметров является снижение трудоемкости и сокращение времени настройки СНС без привлечения высококвалифицированных специалистов.

Сравнительный анализ показал, что наилучшие результаты среди рассматриваемых автоматических методов оптимизации гиперпараметров СНС дает эволюционный метод. В течение 10 эпох (поколений эволюционного алгоритма) с 10 особями в поколении удалось достигнуть точности 86%. При этом было потрачено примерно 20 часов на эксперименты в среде MatLab и обучение СНС с подобранными значениями гиперпараметров.

Результаты проведенных экспериментов СНС создают предпосылки для проведения дальнейших работ по автоматическому определению оптимальных

гиперпараметров, используя программы и библиотеки параллельного программирования.

Библиографический список

1. Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество. URL: https://habr.com/ru/post/348000/ (дата обращения 05.05.2017).

2. Ростовцев В. С., Черемисинова О. Н. Повышение качества распознавания изображений подбором параметров сверточной нейронной сети // 52-я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения (июнь 2019). «Евразийское Научное Объединение» 2019. № 6(52). Ч. 2. С. 114–118.

3. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. М. : ДМК Пресс, 2018. 652 с.

4. James Bergstra, Yoshua Bengio. Random Search for Hyper-Parameter Optimization // Journal of Machine Learning Research. 2012. Vol 2(Feb). P. 281−305.

5. Peter I. Frazier. A Tutorial on Bayesian Optimization. URL: https://arxiv.org/pdf/1807.02811.pdf (accessed 01.03.2020).

6. Краткий курс машинного обучения или как создать нейронную сеть для решения скоринг задачи. URL: https://habr.com/ru/post/340792/ (дата обращения 05.05.2017).

Широкополосное детектирование сигналов в коротковолновом диапазоне

П. Г. Чупраков [a], Д. А. Бородавкин [b]
кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики [a]
студент группы ПМИм-2301-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: chuprakov@yandex.ru [a], den-bor@bk.ru [b]

Аннотация. В статье затрагивается задача радиомониторинга коротковолнового (КВ) диапазона. В настоящий момент существует потребность мониторинга КВ диапазона, так как, несмотря на развитие многих других видов связи, КВ радиосвязь остается востребованной. Основной целью статьи является разработка способа детектирования известных сигналов во всей полосе КВ диапазона в режиме реального времени. Приводятся некоторые особенности КВ радиосвязи, а также цели и задачи радиомониторинга. В качестве способов обнаружения сигналов по известной последовательности рассматриваются методы корреляционного анализа. Для решения задачи детектирования сигналов в реальном времени обсуждается использование технологий параллельного программирования, а именно технологии CUDA, которая позволяет использовать графический процессор для неграфических вычислений. В результате проведенных исследований была доказана возможность детектирования сигналов в широкой полосе частот в режиме реального времени. Описанные в статье результаты исследования могут использоваться для разработки программных модулей систем радиомониторинга.

Ключевые слова: радиомониторинг, коротковолновый диапазон, детектирование сигналов, CUDA.

Введение. Коротковолновой (КВ) радиосвязи соответствуют волны длиной от 10 до 100 метров. По международным стандартам КВ радиосвязь называют высокочастотной (ВЧ) связью. Несмотря на развитие высокоэффективных кабельных, радиорелейных и спутниковых систем связи, относительно низкоскоростная и малоканальная коротковолновая радиосвязь продолжает активно использоваться и совершенствоваться [1]. Одним из главных достоинств КВ радиосвязи является возможность установления связи на больших расстояниях при относительно небольшой мощности передатчика. В процессе распространения передаваемый сигнал отражается от ионосферы, которая состоит из нескольких слоев заряженных частиц, расположенных на высоте 50–400 км от поверхности земли. В дневное время суток разогрев нижних слоев атмосферы обусловливает появление нижнего слоя на высоте ниже 120 км, который вызывает поглощение частот ниже 2 МГц. Однако ночью электронная концентрация

частиц в нижних слоях резко снижается, как следствие, мощные радиовещательные сигналы могут распространяться на большие расстояния, отражаясь от ионосферных слоев. Распространение ионосферной волны прекращается на частотах выше 30 МГц, что является границей диапазона ВЧ [2].

Часто возникающая проблема при ионосферном распространении электромагнитной волны в КВ диапазоне – это многопутевость. Она образуется потому, что передаваемый сигнал достигает приемника многими путями с различными задержками. Обычно это приводит к межсимвольной интерференции в системе цифровой связи. Кроме того, сигнальные компоненты, пришедшие по различным путям распространения, могут суммироваться, что приводит к явлению, названному замираниями.

Для борьбы с многопутевостью используется адаптивная фильтрация. Адаптивный фильтр – это фильтр с изменяемыми в процессе работы параметрами, набор которых во многом зависит от критерия работы адаптивного фильтра [3]. Обычно этим критерием является достижение минимума некоторой целевой функции ошибки между требуемым и выходным сигналами адаптивного фильтра. На практике требуемый сигнал на принимающей стороне неизвестен. Он формируется на приемной стороне в течение протокола установления модемом связи, когда известная (тренировочная) последовательность символов передается модемом источника информации. После настройки адаптивного фильтра передаются сами данные, к которым также добавляется тренировочная последовательность. Это необходимо для коррекции весовых коэффициентов адаптивного фильтра в условиях изменения характеристик канала связи. Специальные тренировочные последовательности называются преамбулами или трайнингами.

Актуальной задачей является мониторинг использования радиочастотного ресурса в коротковолновом диапазоне. Основными задачами мониторинга являются постоянный или периодический контроль загрузки эфира в широком диапазоне частот, обнаружение и анализ новых излучений, а также определение местоположения их источников [4].

В настоящее время в задачах мониторинга радиоэфира широкополосные цифровые радиоприемные устройства прямого усиления вытесняют традиционные узкополосные супергетеродинные приемники, так как позволяют принимать сигнал приемлемого качества полосой в десятки МГц [4]. На выходе широкополосного устройства формируются цифровые потоки с высокой частотой дискретизации для последующей обработки. Обработка таких больших потоков информации крайне затруднительна, поэтому их обычно пропускают через несколько каскадов фильтров-дециматоров, а затем при помощи банка фильтров разбивают на параллельные каналы, ширина которых зависит от конкретной задачи. В частности, в процессе каналообразования может быть использован алгоритм WOLA [5].

Целью данной работы является разработка способа детектирования известных сигналов (содержащих периодически повторяемые трайнинги) во всей полосе КВ диапазона в реальном масштабе времени.

Методы исследования. Детектирование сигналов по известным трайнингам сводится к задаче поиска в сигнале некоторой известной реализации сигнала. Данную задачу решают методы корреляционного анализа. Однако есть некоторое ограничение. Совпадающие сигналы, сдвинутые друг относительно друга по частоте, являются ортогональными, следовательно, их корреляция равна нулю. Чтобы добиться инвариантности по частоте, предлагается коррелировать не сигнал и эталон, а первые производные (для дискретного сигнала – разности) мгновенной фазы сигнала и эталона.

Корреляция применяется для поиска некоторой подпоследовательности $x(t)$ длины T в исходном сигнале $s(t)$. Для этого в скользящем по сигналу временном окне длины T вычисляется скалярное произведение $s(t)$и $x(t)$. Степень сходства оценивается по величине скалярного произведения. Сложность корреляции $O(T^2)$.

В некоторых видах сигналов трайнинги не изменяются во времени, поэтому для их детектирования можно использовать автокорреляционную функцию (АКФ). По ее параметрам осуществляется идентификация сигналов.

АКФ – это зависимость между сигналом и его сдвинутой копией от величины временного сдвига. В общем случае сложность такая же, как и у обычной корреляции – $O(T^2)$. Для поиска сигналов с повторяющимися участками сдвиги можно вычислить заранее и рассчитывать автокорреляционную функцию только для определенных значений, что значительно снизит сложность до $O(T)$. Главным недостатком способа является обязательное наличие повторяющихся участков сигнала, что характерно не для всех сигналов, поэтому далее не рассматривается.

Корреляцию также можно рассчитать, используя теорему о корреляции [6], которая формулируется следующим образом:

$$r_{12} = F_D^{-1}\left[F_D(s)\overline{F_D(x)}\right],$$

где F_D – прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ), F_D^{-1} – обратное ДПФ. Результатом будет круговая корреляция двух последовательностей. Для получения линейной корреляции обе последовательности необходимо дополнить нулями. Если последовательность $s(t)$ имеет длину N_1, а $x(t) - N_2$, то $s(t)$ дополняется $(N_2 - 1)$ нулями, а $x(t) - (N_1 - 1)$ нулями. На основе расширенных последовательностей рассчитывается взаимная корреляция. Такой метод расчета называется быстрой корреляцией. Сложность вычисления быстрого преобразования Фурье $O(T\log(\mathrm{T}))$.

Данный метод требует меньше вычислений, чем корреляция, но больше, чем автокорреляционная функция. Тем не менее именно этот способ планируется использовать на практике, так как он не имеет ограничений в сравнении с автокорреляцией. Также процесс вычисления корреляции можно ускорить, если вычислять быстрое преобразование Фурье для трайнингов один раз в момент начальной инициализации, поскольку в процессе обработки данных они не изменяются.

Оценим вычислительную сложность задачи поиска одного вида сигнала в полосе 30 МГц. Введем некоторые обозначения.

$$\Delta F = 30\ \text{МГц}.$$

Ширина полосы наиболее распространенных сигналов составляет примерно 4кГц. Определим шаг по частоте как половину этой ширины полосы сигнала

$$df = 2\text{кГц}.$$

Тогда минимальная полезная полоса одного канала, гарантирующая попадание любого сигнала с полосой 4кГц целиком в один частотный канал

$$\Delta f = 6\ \text{кГц}.$$

Таким образом, количество частотных каналов будет равно

$$K = \frac{\Delta F}{df}.$$

Частота дискретизации комплексного сигнала одного частотного канала

$$R = (\Delta f + df) \cdot C,$$

где коэффициент С определяет запас в полосе частот с учетом неидеальности фильтров каналообразователя. Чем ближе C к 1, тем качественнее фильтры в каналообразователе, но выше вычислительная сложность каналообразования. На практике $C = 1{,}1 \ldots 1{,}5$, для оценки возьмем $C = 1{,}2$.

Обозначим

$$T = 0{,}1\ c.$$

Типовая длина пакета модема КВ диапазона основана на оценке времени стационарности параметров ионосферы [7].

Длина эталона в отсчетах

$$N = T \cdot R.$$

Таким образом, для расчета скалярного произведения необходимо сделать следующее количество операций комплексных умножений и сложений в секунду:

$$2 \cdot K \cdot R \cdot N \approx 276{,}48 * 10^9,$$

или $1935{,}36 * 10^9$ действительных умножений и сложений в секунду для детектирования сигналов одного вида.

Данные в каждом частотном канале независимы и могут обрабатываться параллельно, что обусловливает высокую степень параллелизма задачи.

В настоящее время параллельные вычисления можно производить как на центральном процессоре, так и на графическом. Производительность современных центральных процессоров для настольных персональных компьютеров достигает порядка 896 ГФлопс [8]. А мощность графических процессоров – 130 ТФлопс [9]. Если учитывать потребность в 1,9 ТФлопс, то использования графического процессора среднего класса будет достаточно для обеспечения необходимого объема вычислений, а также уменьшит стоимость вычислительной системы в целом.

Наиболее распространены две технологии использования графических процессоров для неграфических вычислений: OpenCL, поддерживаемая Khronos Group, и CUDA, разрабатываемая компанией NVIDIA. В работе [10] говорится о том, что производительность ядра OpenCL проигрывает CUDA от 13% до 63%. Кроме того, для CUDA разработана библиотека CuFFT, которая содержит алгоритмы эффективного вычисления дискретного преобразования Фурье для комплексных или вещественных наборов данных.

Таким образом, для решения задачи широкополосного детектирования сигналов наиболее целесообразно использовать быструю корреляцию на основе дискретного преобразования Фурье, задействовав для вычислений графический процессор с применением параллельной технологии CUDA.

Результаты исследований, их обсуждение. В таблице приведены результаты работы программного модуля, реализованного в соответствии с вышеизложенным материалом. Эксперимент был проведен с использованием видеокарты NVidia GeForce GTX 1050 Ti.

Зависимость загрузки графического процессора и времени обработки от ширины диапазона

Ширина полосы, МГц	Загрузка графического процессора, %	Время обработки одного блока, мс (не более 48 мс)
10	35	20
15	45	28
29	70	42

Результаты эксперимента подтверждают предположение о том, что предложенный способ позволяет выполнять автоматическое детектирование более 10 типов сигналов во всем КВ диапазоне в режиме реального времени.

Выводы. В результате проведенных исследований доказана возможность детектирования сигналов в широкой полосе частот в режиме реального времени при минимальных затратах на аппаратную часть. Описанные в статье результаты исследования могут использоваться для разработки программных модулей систем радиомониторинга КВ диапазона.

Библиографический список

1. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / под ред. профессора О. В. Головина. М. : Горячая линия – Телеком, 2006. 598 с. ил.
2. Прокис Дж. Цифровая связь : пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. М. : Радио и связь, 2000. 800 с. ил.
3. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М. : Техносфера, 2013. 528 с.
4. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А. М. Рембовского. М. : Горячая линия – Телеком, 2006. 492 с. ил.
5. Алгоритм взвешенного перекрывающегося сложения для обработки векторных сигналов в задачах радиомониторинга / Д. М. Клионский, Д. И. Каплун, А. С. Вознесенский, В. В. Гульванский // Цифровая обработка сигналов. М., 2014. С. 2–8.
6. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. / С. Эммануил Айфичер, У. Барри Джервис ; пер. с англ. М. : Вильямс, 2004. 992 с., ил.
7. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М. : Мир, 1973. 499 с.
8. Процессоры AMD Ryzen Threadripper. URL: https://www.amd.com/ru/products/ryzen-threadripper/ (дата обращения 01.03.2020).
9. NVIDIA TITAN RTX URL: https://www.nvidia.com/ru-ru/deep-learning-ai/products/titan-rtx/ (дата обращения 01.03.2020).
10. Jianbin Fang, Ana Lucia Varbanescu, Henk Sips. A Comprehensive Performance Comparison of CUDA and OpenCL // ICPP 11: Proceedings of the 2011 International Conference on Parallel Processing. 13–16 Sept. 2011. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/6047190/ (acessed 10.01.2020).

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Новый подход к технологическим возможностям СП-формовки изделий из плоских листовых заготовок

Ю. Л. Апатов [a], К. Ю. Апатов [b], В. С. Васенин [c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения [a, b]
магистрант кафедры технологии машиностроения [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: apatovkonstantin@mail.ru [b]

Аннотация. Актуальность рассматриваемого подхода к изучению возможностей практического применения метода сверхпластической формовки (СПФ) связана с появлением нового направления его использования, которое заключается в получении сборных изделий путем неразъемных соединений деталей-компонентов при направленном деформировании основной (базовой) детали, состоящей из материала, обладающего свойствами сверхпластичности. Подтверждением этому послужило признание этого технического решения изобретением и выдача патента РФ на способ.

Целью данной работы послужил анализ результатов проведенных экспериментальных исследований с выходом на особенности конструирования штамповой оснастки как необходимой составляющей средств технологического оснащения, расширяющего возможности СПФ.

Методика исследований заключалась в проведении экспериментов на опытной технологической оснастке с варьированием основных параметров процесса: материала заготовки, температуры нагрева, давления сжатого газа и времени выдержки, а также формы и размеров присоединяемых деталей-компонентов изделия.

Сведения данной статьи предназначаются конструкторам-разработчикам новой техники и технологам в области создания изделий из тонкостенных деталей-оболочек, для которых соединения типа сварки, пайки и т. п. могут быть невозможны либо затруднительны.

Ключевые слова: сверхпластичность, неразъемное соединение, автономный штамповый блок, базовая деталь, беспрессовая СП-формовка, моделирование оснастки.

Вступление. В процессе достаточно длительного изучения вопросов применения в машиностроительном производстве явления сверхпластичности некоторых металлов и сплавов, проводившегося членами кафедры ТМ совместно с учеными МИСиС г. Москвы, удалось убедиться в широких возможностях практического использования самого явления и дополнительно экспериментально подтвердить свойства таких материалов, определяющие чрезвычайно широкие перспективы технологии получения деталей самой разнообразной конфигурации из листовых заготовок, в том числе с выполненным на их поверхности мелким рельефом, например, декоративного назначения.

В то же время можно отметить недостаточную степень изученности явления применительно к его практическому и широкому использованию в промышленных масштабах, малое внимание, уделяемое вопросам проектирования средств технологического оснащения, что могло послужить основанием как для продолжения теоретических и экспериментальных исследований, так и для проведения опытно-конструкторских работ и в настоящее время.

Изучаемое явление обусловлено наличием сверхмелкого зерна, образующего структуру металла заготовки, и межзеренным относительным скольжением без изменения его размера, что является причиной сверхмалых величин потребных усилий при формовке деталей. Если сравнить поведение зерен при обычной горячей штамповке и СП-формовку, то в первом случае имеет место чрезвычайно выраженная деформация самих зерен, особенно в граничных с поверхностями штампа слоях заготовки. Этим обусловливается существенный рост затрат энергии, что выражается в многократном увеличении потребного усилия формообразования. Металл заготовки при СПФ, приобретая особые реологические свойства, становясь аморфным, как было установлено, приобретает свойство жидкотекучести во всех направлениях одновременно.

Эта особенность его поведения подтвердилась в ходе наших экспериментов на латунях марок Л63 (модифицированной 0,13% Si), а также ЛЖМц 59-1-1 (ГОСТ 15527-70) при температурном воздействии на образец в 650 ^{o}C и обеспечении рабочего давления газа в пределах 10…15 МПа. Использовалась печь с электронагревательными элементами, время выдержки в которой варьировалось в диапазоне от 5 до 15 минут на один съем, в зависимости от конфигурации образцов, а также исходной толщины листа заготовки, которая в наших условиях принималась равной 0,4 и 0,6 мм.

Цель работы. Целью данной работы послужило рассмотрение теоретических аспектов реализации предложенного способа получения неразъемных соединений путем СП-формовки с выходом на методику проектирования специальных средств технологического оснащения процесса СПФ в виде автономных штамповых блоков, а также анализ некоторых промежуточных результатов, полученных в экспериментальной части исследований.

Задачи исследования: 1. Проведение экспериментов по предлагаемой схеме с получением образцов соединений на экспериментальной оснастке [1].

2. Конструкторская проработка предлагаемого штампового блока с варьированием его параметров и видов получаемых изделий.

3. Анализ прочностных характеристик элементов предлагаемого оснащения на основе 3D-моделирования и использования современных программных продуктов: характера распределения напряжений и температурных полей.

Примечание: материалы по решению третьей задачи ввиду ограничений по объему статей приводятся в параллельной статье этих же авторов.

Ведущий подход. Указанные выше особенности течения металла заготовки в состоянии сверхпластичности натолкнули на мысль использовать их для фиксации и дальнейшего удержания в полученном положении после остывания основной (базовой) детали неких присоединяемых к ней деталей-компонентов, входящих в изделие, которые могут изготавливаться из обычных материалов.

Такое решение, направленное на расширение технологических возможностей метода, было признано изобретением, и был выдан патент РФ на способ получения изделий из листовых заготовок в состоянии сверхпластичности [2].

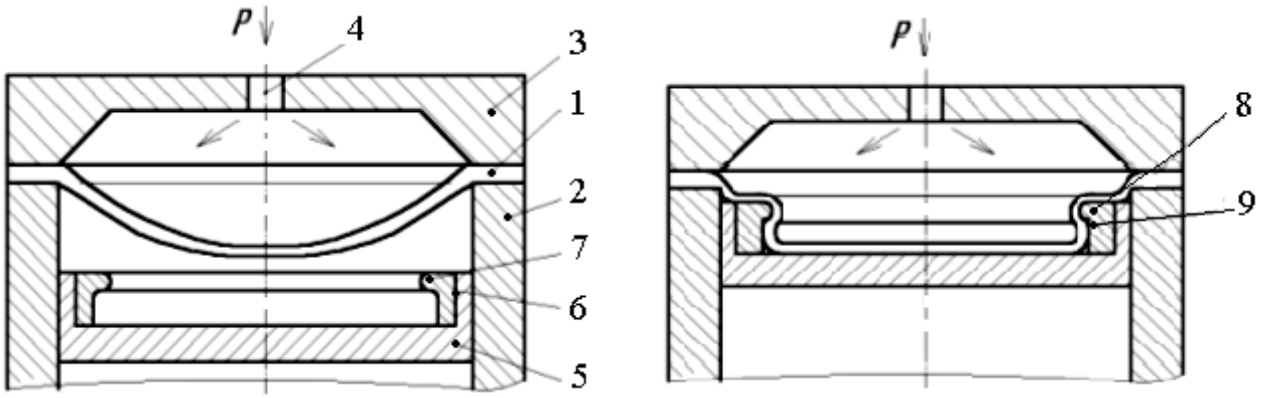
В экспериментальной части исследований нами было получено более 300 образцов с варьированием их объема, линейных размеров по позитивной и негативной схемам формовки, что позволило проследить динамику процесса заполнения полости матрицы металлом заготовки, установить оптимальные режимы для получения крайних значений величин деформирования, после которых наблюдалось разрушение образца вследствие утонения его в наибольшем удалении от плоскости разъема штампа. В их числе были образцы и более сложной структуры: с присоединяемыми на постоянной основе к базовой детали элементами изделия в виде различных его компонентов.

В ходе проведенных исследований подтвердились утверждения о том, что к характерным признакам изучаемого процесса относятся: резкое снижение характеристик сопротивления деформации, весьма значительное возрастание по-

казателя пластичности материала заготовки, металл заготовки по своим физическим свойствам приобретает свойства аморфного материала.

В дальнейшем большое внимание уделялось изучению предложенных средств технологического оснащения для выявления их прочностных характеристик, оптимизации конструктивных параметров, таких как толщина стенок корпуса и матрицы, пределу прочности замковых механизмов, а также самим получаемым образцам, в том числе минимизации размеров рельефа.

Результаты исследований и их обсуждение. Способ получения многокомпонентных сборных изделий с неразъемными соединениями на основе использования явления сверхпластичности иллюстрируется рис. 1.



а б

Рис. 1. Схема способа получения многокомпонентного изделия: а – начальный этап (выпучивание заготовки); б – завершающий этап процесса формовки изделия

Для осуществления способа листовая заготовка 1 укладывается на корпус 2 устройства для формовки, накрывается крышкой 3 с отверстием 4 для подачи сжатого газа и обжимается по периферии для обеспечения герметичности пространства между крышкой и заготовкой. В матрицу 5, а именно в специальные гнезда 6, выполненные в ней, предварительно устанавливают присоединяемую деталь (кольцевую вставку) 7, являющуюся компонентом будущего изделия 8.

После прогрева устройства для формовки и заготовки, находящейся там, до температуры сверхпластичности через отверстие 4 в крышке 3 подают сжатый газ под давлением, в зависимости от характеристик основной детали, в результате чего начинается свободное выпучивание заготовки 1 в направлении матрицы 5. Этим завершается первый этап процесса формообразования.

Второй этап формовки начинается, когда деформация выпучиваемой заготовки 1 достигнет 30…40% величины ее поверхности. Матрицу 5 перемещают навстречу заготовке по направляющим корпуса 2. Благодаря этому происходит дополнительная деформация материала заготовки выступающей частью детали-компонента 7 и заполнение конструктивного элемента – поднутрения 9. Далее следует заполнение материалом заготовки донной и периферийной частей формообразующей полости матрицы 5. Нами получены образцы и без дополнительного движения матрицы, но в определенных границах деформирования.

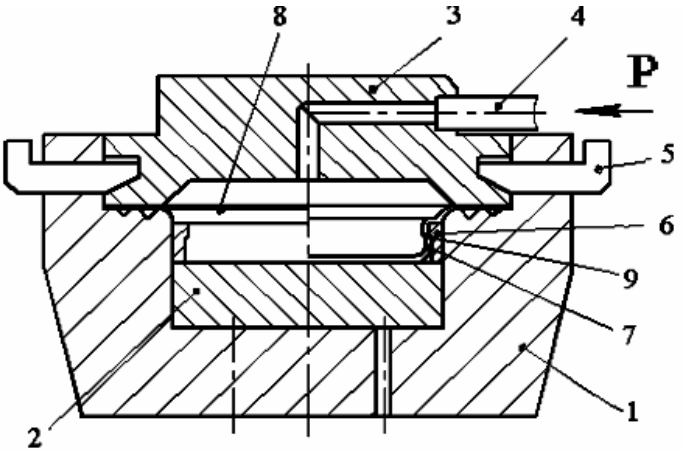


Рис. 2. Разрез общего вида экспериментального штампового блока

Автономный штамповый блок содержит матрицу 1 круглой формы, в которой предусмотрен сменный вкладыш 2, предназначенный, помимо самой формовки, для выполнения различных углублений для базирования в них деталей-компонентов будущего изделия. Они устанавливались свободно, без закрепления. Поверх матрицы расположена крышка 3 с трубопроводом 4 для подачи сжатого газа в герметичную полость над листовой заготовкой. Для запирания крышки использовались специальные клиновые замки 5 с рабочей частью, выполненной под углом меньшим угла самоторможения, которые устанавливались в сквозных пазах матрицы. Такая схема обеспечивала безотказную работу замков на срез и надежное удержание крышки 3 блока.

На вкладыш матрицы устанавливалась деталь-компонент будущего изделия 6. В данном случае это кольцо. Основная базовая деталь 7, получаемая при

СПФ из листовой заготовки 8, скреплена с присоединяемой деталью посредством удерживающего элемента профиля 9 в виде его поднутрения.

Для компонента-шарика выявлены следующие этапы формообразования (рис. 3).

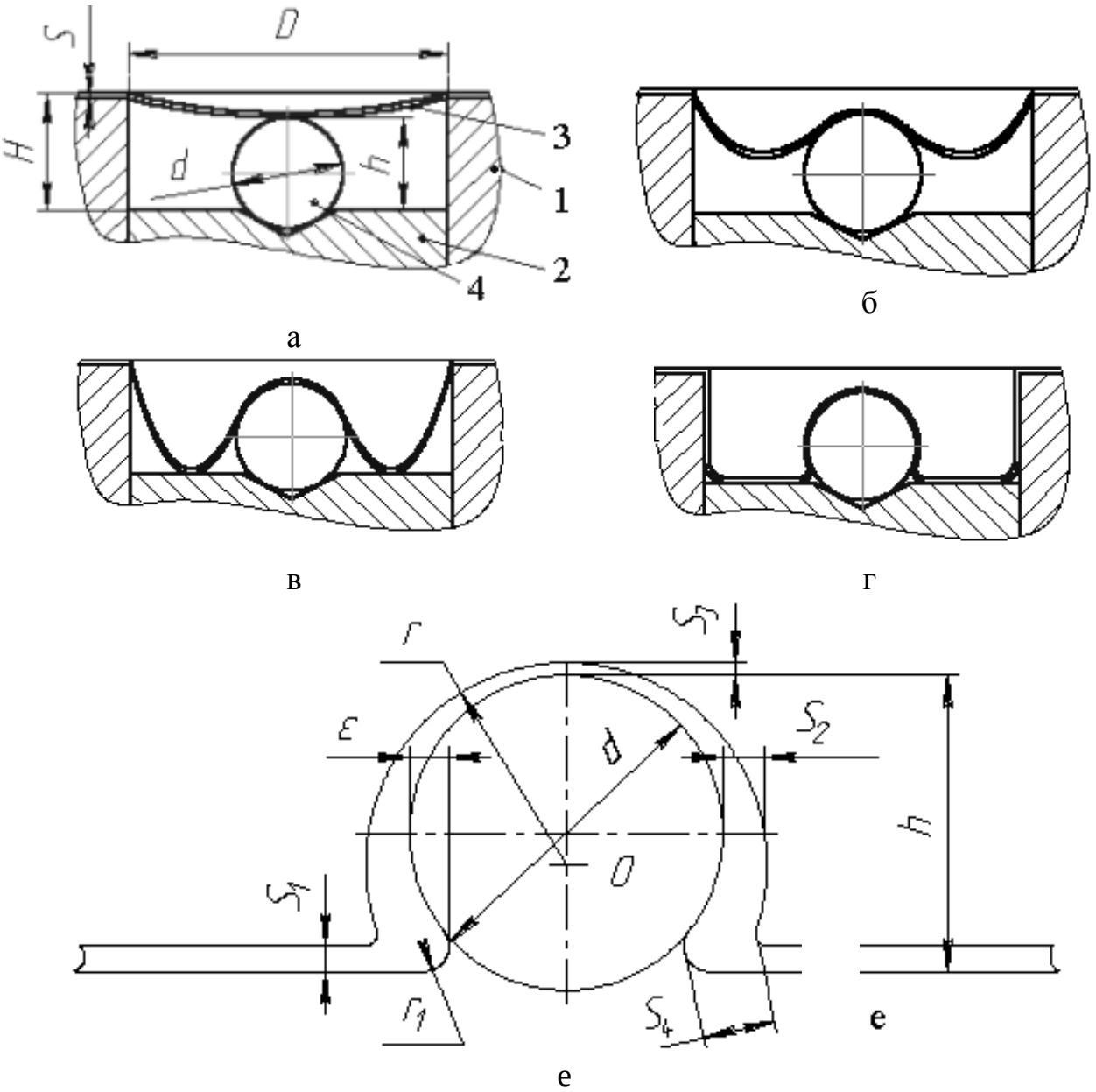


Рис. 3. Последовательность получения соединения с компонентом-шариком:
а – выпучивание заготовки; б – касание металлом заготовки присоединяемой детали;
в – начало контакта заготовки с торцом вкладыша матрицы; г – завершение процесса
с образованием удерживающего профиля; е – схема изменения размеров базовой детали

На рис. 3 обозначено: 1 – матрица, 2 – сменный вкладыш, 3 – заготовка основной детали, 4 – деталь-компонент в виде шарика.

На вышеприведенной схеме приняты следующие обозначения: h – высота выступающей над плоскостью матрицы части шарика (в данном случае – 3,2 мм); d – диаметр шарика, равный 4 мм; S_1 – толщина листа в конце процесса формовки; S_2 , S_3 и S_4 – толщины листа в различных сечениях детали; ε – величина поднутрения, обеспечивающего собственно соединение.

Были проведены эксперименты с закреплением винтов М3-М5 ГОСТ 1491-72 и гаек М3 ГОСТ 5916-70, специальных резьбовых втулок с внутренней резьбой М3-М6. В качестве деталей-компонентов использовались также стальные шарики диаметром 2–8 мм (в том числе при групповой установке до 4 шт.), стальные кольца наружным диаметром 28 мм и высотой 10 мм.

Были получены следующие результаты: минимальные значения толщины листа S_3, которые были отмечены над присоединяемой деталью, составили 20% от исходной толщины листа заготовки. Толщины в донной части основной детали S_1 и в диаметральной плоскости шарика S_2 примерно равны и составляют до 30% исходного размера. Отмечено относительное увеличение толщины материала заготовки в зоне поднутрения: $S_4 \approx (2–2,5)S_3$. В данном случае имело место выступание шарика за плоскость сменного вкладыша. Фактическая же величина поднутрения ε достигала 0,6 мм, что составило 15% от диаметра шарика.

При использовании вышеуказанных режимов и экспериментального штампового блока (см. рис. 2) такие соединения были получены и показали достаточную прочность взаимного крепления деталей.

Как уже отмечалось, такие соединения призваны заменить известные способы крепления деталей типа сварки, склеивания, запрессовки и т. п., что особенно актуально в случае необходимости применения тонкостенных деталей. Дополнительным преимуществом предлагаемого метода является абсолютная герметичность внутренних полостей изделия.

Некоторые из полученных образцов соединений показаны на рис. 4.

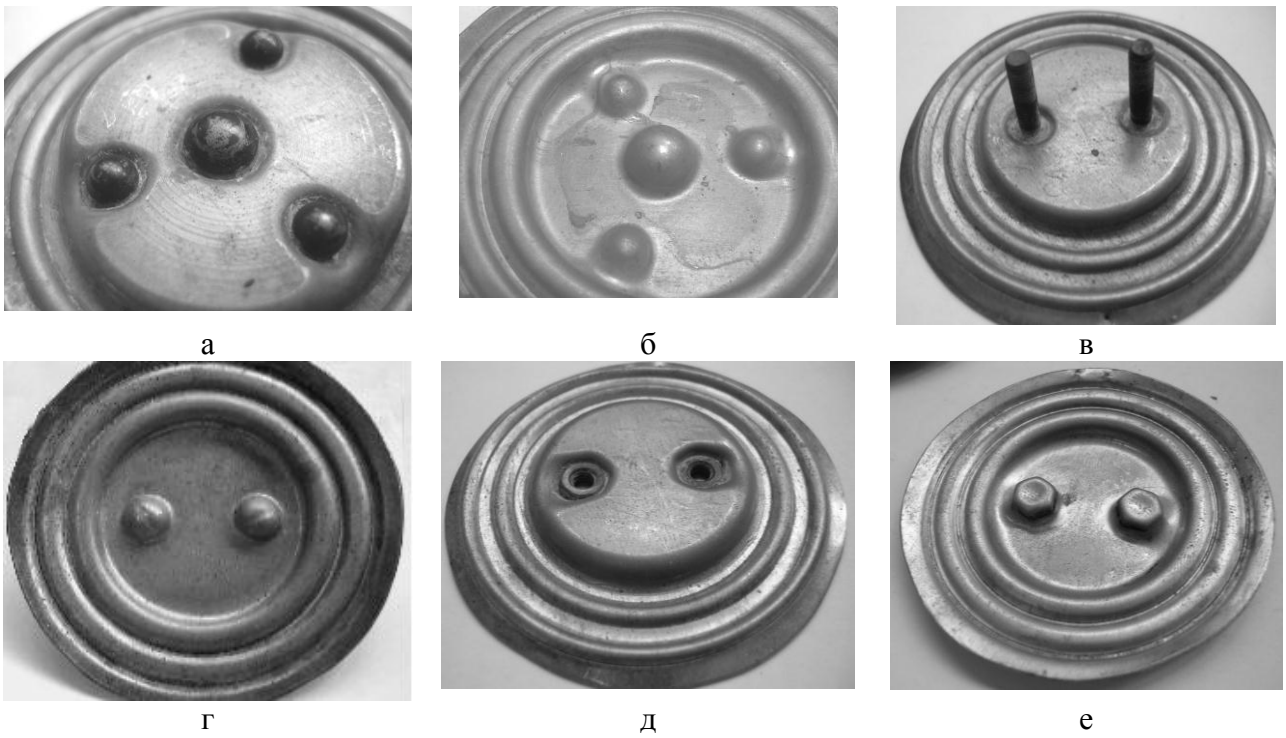


Рис. 4. Образцы, демонстрирующие реализацию предлагаемого способа в виде:
а – детали и 4 шариков разного диаметра; б – тот же образец, вид с противоположной стороны; в – неразъемное соединение детали с двумя винтами; г – обратная сторона образца; д – соединение детали с двумя гайками; е – обратная сторона образца

Выводы. В статье приведены результаты исследований по расширению технологических возможностей СП-формовки, а также некоторые результаты опытно-конструкторских работ по созданию новых конструкций средств технологического оснащения для реализации указанного процесса.

Полученные материалы могут представлять интерес для специалистов машиностроительных предприятий, занятых конструкторской подготовкой к выпуску новых видов продукции.

Библиографический список

1. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Апатов Ю. Л., Поляков С. М. Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на полезную модель № 54541 МКИ B21D26/22, 2006 г.

2. Апатов. К. Ю., Цепин М. А., Африкантов А. А., Апатов Ю. Л. Способ получения изделий из листовых заготовок в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на изобретение № 2306996 МКИ B21D26/02. 2007 г.

Интенсификация процесса СПФ переходом к использованию автономных штамповых блоков

Ю. Л. Апатов [a], В. С. Васенин [b], Д. Э. Макаров [c]
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения [a]
магистрант кафедры технологии машиностроения [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: apatovkonstantin@mail.ru [a]

Аннотация. Актуальность данного направления заключается в необходимости получения теоретических и практических основ разработки новых и перспективных видов средств оснащения процессов сверхпластической формовки (СПФ).

Целью работы послужило теоретическое и экспериментальное изучение и обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить эффективность процесса, а также расширить его технологические возможности.

Значимость исследований состояла в выполнении экспериментов на опытной технологической оснастке с изменением базовых параметров процесса СП-формовки, таких как температура, время выдержки и давление сжатого газа, с последующим теоретическим анализом полученных данных.

Появились практические доказательства возможности ведения указанного процесса по предложенной нами схеме: вне пресса большой мощности на автоматизированных установках с разбиением процесса на отдельные этапы. Попутно предложена формовка изделий с неразъемными соединениями деталей.

Материалы данной статьи предназначаются главным образом конструкторам-разработчикам новой техники в области создания средств технологического оснащения штамповочного автоматизированного производства.

Ключевые слова: сверхпластичность, штамповый блок, формообразование детали, беспрессовая формовка, соединение, моделирование оснастки.

Вступление. Общеизвестным фактом является наличие широких технологических возможностей метода сверхпластической формовки (СПФ) при получении объемных деталей из листовых заготовок. Данный метод позволяет изготавливать самые разнообразные полые детали с нанесенным на их поверхность художественно-декоративным микрорельефом. Однако до настоящего времени он остается недостаточно изученным, прежде всего, в направлении разработки средств технологического оснащения в виде штамповой оснастки. Поэтому нами была предпринята попытка изучения прогрессивной штамповой оснастки с привлечением 3D-моделирования и современных программных средств, предназначенной для изготовления деталей с декоративным рельефом поверхности как объемной, так и плоской конфигурации.

Методика исследований заключалась в определении допустимых значений таких параметров штампа, как толщина его стенок, фактически имеющих место напряжений, характер распределения температурных полей, величин деформаций. Особое внимание было уделено специальным замковым механизмам, посредством которых и обеспечивается работа штампа в автономном режиме. На основании полученных данных появилось практическое доказательство возможности ведения указанного процесса вне пресса большой мощности, на автоматизированных установках. При этом создаются предпосылки для существенного повышения производительности процесса формовки, для которого характерны большие временные затраты.

Материалы данной статьи предназначаются главным образом специалистам-разработчикам новой техники, занятым в области создания средств технологического оснащения современного штамповочного производства.

Цель статьи – теоретические и экспериментальные исследования средств технологического оснащения процесса СП-формовки, направленные на обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить производительность процесса, расширяют его технологические возможности и создают условия для автоматизации производства.

Задачи исследования: 1. Разработка новых путей повышения производительности метода СП-формовки посредством прогрессивных видов штамповой оснастки в виде автономных блоков и анализ предлагаемых конструкций.

2. Проведение прочностных расчетов и определение допустимых параметров автономного штампового блока на основе 3D-моделирования с получением данных при варьировании режимов процесса в широких пределах.

3. Определение основных требований к установкам, автоматизирующим процесс сверхпластической формовки.

Ведущий подход. Специально спроектированная и изготовленная оснастка для проведения в широком диапазоне варьирования технологических параметров [1] позволила получить большой объем данных, которые подтвердили ши-

рокие возможности изучаемого метода и перспективы его практического использования. В то же время проведенный анализ затрат времени для изучаемого процесса показал недостаточную эффективность известных, так называемых традиционных схем выполнения СПФ, базирующихся на применении стационарных прессов большой мощности, что объясняется использованием их в постоянном рабочем режиме в течение всего времени процесса, которое характеризуется большой продолжительностью, достигая 10–15 минут и более (в зависимости от параметров самих получаемых деталей) на получаемую деталь.

Такая ситуация, связанная с большими затратами времени при использовании дорогостоящего прессового оборудования, обусловливает частичное снижение эффективности весьма многообещающего процесса СП-формовки.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведения опытно-конструкторских работ удалось найти новый подход к организации и проведению данного процесса, который базируется на использовании специальной штамповой оснастки [2]. Она выполняется в виде отдельных и независимых от пресса большой мощности блоков (штамповых блоков), которые лишены системы нагрева в виде ТЭНов, что делает их более мобильными и упрощает конструкцию. Получение же заданной температуры обеспечивается в зоне нагрева установки в виде печи с электрическим нагревом до заданной температуры, где одновременно могут находиться несколько штамповых блоков.

Но, как известно, для рассматриваемого процесса характерно наличие достаточно больших потребных усилий смыкания частей штампа, а именно корпуса, вмещающего матрицу, и крышки, через которую подается сжатый газ. Величина этого усилия зависит от размеров в плане получаемой детали при рабочем давлении газа, достигающем 1,5 МПа. Для обеспечения этого заданного по технологии параметра были предложены замковые механизмы (иначе – замки).

Впоследствии они подверглись всесторонним расчетам на прочность, были апробированы в ходе проведения экспериментов и показали свою полную работоспособность и безотказность. Предложено выполнять замки в виде поворотного торцового кулачка, который закреплен эксцентрично на вертикально

расположенном стержне (оси), и, что является важной отличительной особенностью конструкции, он имеет рабочую часть торцовой поверхности, выполненную с подъемом под углом самоторможения (или меньшим его). В нашем варианте этот угол составлял 3 градуса. Следуем отметить, что обычное болтовое соединение частей штампового блока (корпуса и крышки) неприменимо в виду удлинения болтов при их нагреве, что сопровождается разгерметизацией полости над заготовкой и делает процесс формообразования невозможным.

На рис. 1 показан один из вариантов конструктивного исполнения автономного средства оснащения: общий вид и схема сборки, а далее приведены материалы теоретических исследований по определению величин напряжений, деформаций элементов оснастки, показавшие большой запас прочности.

Предлагаемый штамповый блок содержит корпус 1, в котором выполнено посадочное гнездо под матрицу, крышку 2, опорную плиту 3, матрицу 4, ось поворота замкового механизма 5, торцовый кулачок 6, упор 7, ограничивающий угол поворота кулачка, стопорную шайбу 8, грузовые винты 9, служащие для подъема крышки в автоматизированной установке, и штуцер 10 с обратным клапаном для подачи сжатого газа. Как вариант исполнения блока – детали-компоненты 11 сборного изделия (см. материалы параллельной статьи).

Принцип действия такого штампового блока вполне понятен из приведенных схем. Следует упомянуть обоснованность применения пресса малой мощности, который в автоматизированной установке выполняет кратковременное обжатие частей блока, а именно матрицы и крышки, для получения герметизирующих рифтов на заготовке по периметру контура матрицы. Это необходимо для последующей подачи сжатого газа в эту полость над заготовкой.

Крышка 2 поднимается с помощью верхней плиты пресса с использованием грузовых винтов 9, и в образовавшееся пространство на поверхность матрицы 4 укладывается заготовка будущей детали в виде листа из материала, обладающего свойствами сверхпластичности. После плита пресса опускается, сжимая части блока, а специальный механизм, закрепленный на плите, поворачивает замки на требуемый угол с достаточным крутящим моментом. При этом

они плотно запирают крышку относительно матрицы. Далее в блок подается газ под расчетным давлением, которое компенсирует увеличение объема полости матрицы, и блок подается в зону нагрева на время, требуемое по технологическому процессу. Извлечение готовой детали производится в аналогичной последовательности. Рассматриваемый процесс может быть роботизирован.

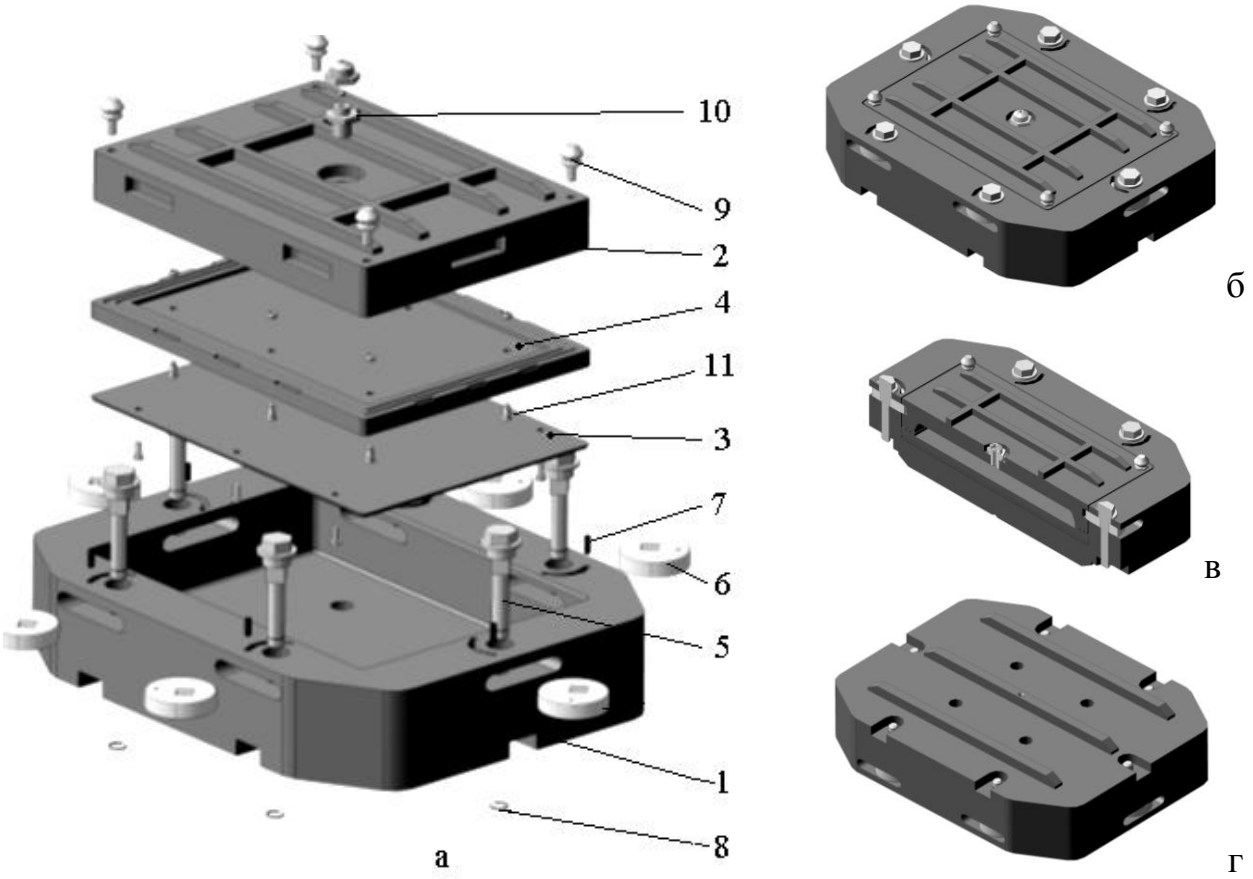


Рис. 1. Общий вид автономного штампового блока: а – схема сборки блока;
б – блок в рабочем положении, вид сверху; в – продольный разрез устройства; г – вид снизу

Некоторые результаты исследований по проверки элементов предлагаемого штампового блока на прочность приведены ниже, на рис. 2 и 3.

Проверка на прочность штампового блока проводилась в CAE-системе Ansys Workbench 10.0. На прочность проверялись как отдельные детали, так и вся сборка. Действующие усилия возникали при давлении сжатого газа равном 1,5 МПа. Далее выбиралась фиксация базовой плоскости детали, устанавливался материал и строилась сетка из полигонов методом конечных элементов.

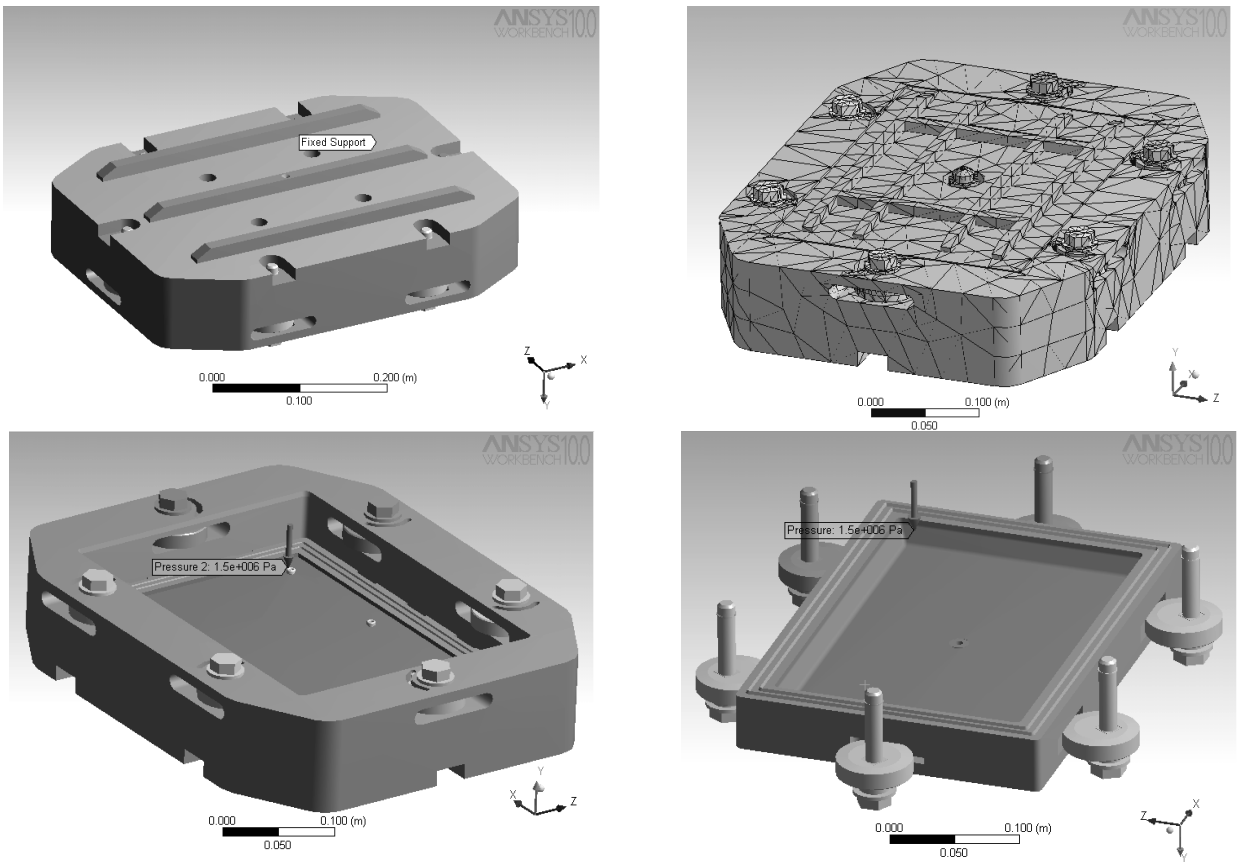


Рис. 2. Ввод необходимых параметров

На рис. 3а приведены поля распределения деформаций крышки. Из рисунка видно, что максимальная деформация крышки наблюдается в ее центральной зоне и составляет 2,846 10^{-5} м, или 0,02846 мкм. Такая деформация крайне незначительна, и её можно не учитывать. На рис. 3б показаны поля распределения деформаций матрицы. Здесь мы видим, что максимальная деформация крышки наблюдается в зоне нижней опорной поверхности по всей площади взаимодействия со сменной матрицей и составляет 2,780 10^{-7} м, или 0,0003 мкм. Деформация крайне незначительна, и её также можно не учитывать. Установлен запас прочности крышки и матрицы в 276% и 120%.

Наличие зон, подсвеченных синим цветом, показывает на возможность уменьшения габаритов детали и толщины ее стенок при продолжении работ.

Наиболее нагруженная деталь в штамповом блоке – это торцовый кулачок замкового механизма. Для проверки его прочности прикладывалось усилие в вертикальном направлении при давлении газа, равном 1,5 МПа, действующем на всю площадь контакта кулачка с крышкой. Результаты показывают, что де-

формация кулачка составила 0,04771 мкм, что обеспечивает 15-кратный запас прочности и не приводит к разгерметизации устройства в целом.

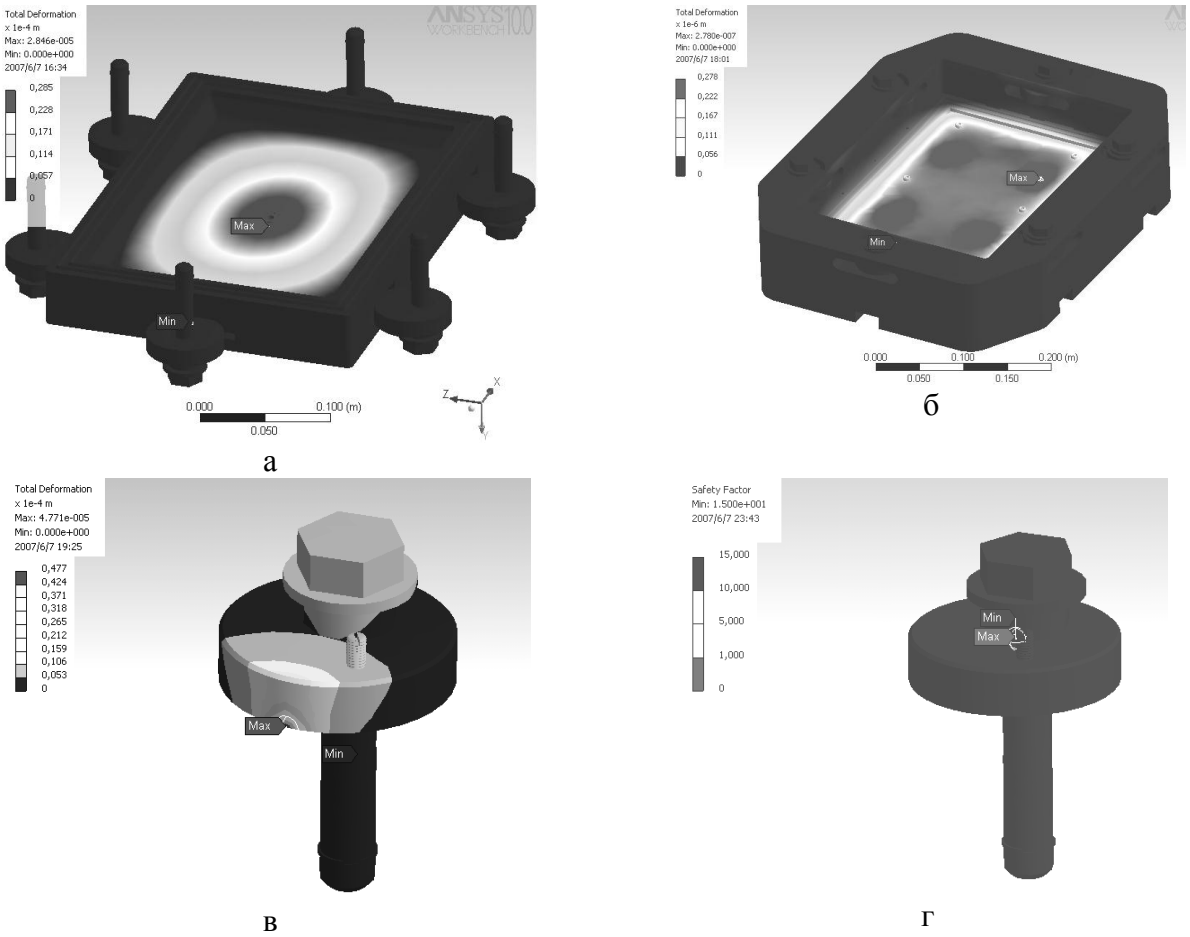


Рис. 3. Проверка элементов конструкции штампового блока; а – крышки на величину деформации стенок; б – то же корпуса матрицы; в – на величину деформации торцового кулачка; г – на запас прочности торцового кулачка

Это лишний раз подчеркнуло верность выбранного нами направления.

Важно отметить, что подтвердилось положение о чрезвычайно малых потребных усилиях для осуществления процесса СП-формовки. При этом появляется необходимость определения минимально допустимых размеров из условия прочности элементов штамповой оснастки (в том числе толщины стенок), учитывая весьма высокую стоимость материала этих деталей. Последние выполняются из нержавеющих коррозионно- и жаростойких сталей.

Выводы. По данным расчёта на прочность максимальные напряжения, действующие в блоке, в 15 раз меньше допускаемых, поэтому можно сделать вывод, что уменьшение толщины стенок деталей возможно и оно обеспечит:

а) снижение металлоёмкости с экономией дорогостоящего материала;

б) уменьшение времени прогрева штампового блока, что связано с повышением производительности процесса и уменьшением расхода электроэнергии;

в) минимизацию габаритов штампового блока и всей установки в целом и, как следствие, уменьшение занимаемой производственной площади.

Полученные в результате работы сведения показали работоспособность предлагаемой разновидности штамповой оснастки, позволили выявить значительные резервы по уменьшению металлоемкости без существенного снижения прочности элементов конструкции, что особенно важно и для ускоренного прогрева блока, а в конечном итоге – для сбережения энергетических ресурсов.

Материалы работы могут быть полезными для конструкторов, занимающихся созданием новой техники в машиностроительном производстве.

Библиографический список

1. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Апатов Ю. Л., Поляков С. М. Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на полезную модель № 54541 МКИ B21D26/22, 2006 г.

2. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Африкантов А. А., Апатов Ю. Л. Способ получения изделий из листовых заготовок в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на изобретение № 2306996 МКИ B21D26/02. 2007 г.

Исследование режимов работы теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1 и разработка мероприятий по повышению эффективности ее эксплуатации

Д. А. Баранов [a], А. Г. Шемпелев [b]
студент группы ТиТм-1801-01-00 [a]
доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики [b]
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: baranovda1997@mail.ru [a], agshem@mail.ru [b]

Аннотация. При эксплуатации основных сетевых подогревателей Кировской ТЭЦ-1 наблюдаются недопустимо большие недогревы сетевой воды, что в условиях соблюдения температурных графиков приводит к необходимости включения пиковых подогревателей при достаточно высокой температуре наружного воздуха. Цель работы – провести исследование сетевых подогревателей с целью нахождения причины больших недогревов и устранить эту проблему путем модернизации существующего оборудования. Основным методом исследования является факторный анализ экспериментальных данных, полученных на основе диагностики теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1.В результате были определены причины недостаточной температуры воды после основных бойлеров, разработаны решения данной проблемы, оценен экономический эффект от внедрения данных мероприятий. В рассматриваемом случае основной причиной повышенных недогревов является подача в них перегретого пара. Для устранения этого, в частности, разработана новая конструкция пароохладителя. Предложенные варианты усовершенствования систем по отпуску теплоты могут применяться на других ТЭЦ и паровых котельных, имеющих схожие проблемы в эксплуатации.

Ключевые слова: сетевой подогреватель, недогрев, перегретый пар, поверхность теплообмена, тепловая мощность.

Введение. Для обеспечения теплоснабжения района г. Кирова на ТЭЦ-1 используется теплофикационная установка, имеющая в своем составе четыре основных подогревателя (три типа БО-200 и один типа ПСВ-200-7-15) и два пиковых сетевых подогревателя БП-200. В основные сетевые подогреватели подается пар из камеры противодавления турбоустановки Р-5,3-3,2/0,3 КТЗ ст. № 3 с параметрами $P_п$=0,3МПа и $t_п$=200 °С, а в пиковые подогреватели подается пар из коллектора турбины турбоагрегат ПР-5-3,4/1,7/1,0 КТЗ с т. № 2 с параметрами $P_п$=0,9 МПа, $t_п$=350 °С [1, с. 8]. По данным Кировской ТЭЦ-1, при эксплуатации основных подогревателей наблюдаются недопустимо большие недогревы сетевой воды в основных подогревателях, что в условиях соблюдения температурных графиков приводит к необходимости включения пиковых подогревателей при достаточно высокой температуре наружного воздуха. Указанное обстоятельство приводит к повышению расхода пара с высокими пара-

метрами из коллектора с давлением 0,9 МПа и пониженной выработке электрической энергии турбоустановкой № 3.

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1 путем снижения недогревов в ее основных сетевых подогревателях.

Задачи исследования:

1) выяснение причин неэффективной работы основных подогревателей сетевой воды на основе экспериментальных данных;

2) проведение расчетных исследований подогревателя сетевой воды с целью выяснения влияния температуры поступающего пара на его характеристики;

3) разработка мероприятий по повышению эффективности теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1;

4) оценка экономического эффекта от внедрения разработанных мероприятий.

Методы исследования. В качестве основного метода был выполнен факторный анализ экспериментальных данных по величинам недогревов в основных подогревателях сетевой воды Кировской ТЭЦ-1. В основу анализа положены результаты периодических испытаний сетевых подогревателей, проведенных на ТЭЦ-1, представляющих собой массив данных из 101 опыта, полученных в период со 02.01.2019 по 16.04.2019 года.

Опыт эксплуатации пароводяных подогревателей показывает, что наибольшее влияние на величину недогрева в них оказывают следующие факторы:

1) загрязнение поверхностей теплообмена;

2) наличие неконденсирующихся газов в паровом пространстве;

3) нерасчетные режимы работы воздухоудаляющих устройств;

4) изменение поверхности теплообмена подогревателей.

На основе имеющейся информации по периодическим испытаниям нами проведен анализ влияния указанных выше факторов на величину недогрева с целью выявления влияния каждого из них в отдельности.

Выявление влияния загрязнений на эффективность работы сетевых подогревателей производилось на основе экспериментальных данных по методике [2, с. 7] с помощью коэффициента чистоты, определяемого по зависимости:

$$\beta = \frac{ln\left(\frac{\Delta t}{\delta t_{ф}}+1\right)}{ln\left(\frac{\Delta t}{\delta t_{р}}+1\right)},$$

где Δt – нагрев сетевой воды в подогревателе, °С;

$\delta t_{р}$и $\delta t_{ф}$– расчетный и фактический температурные напоры, °С.

При обработке экспериментальных данных были введены поправки на отклонение относительного расхода сетевой воды с получением уточненных значений $\beta_{н}$

Следует отметить, что на величину $\beta_{н}$ влияет не только величина загрязнений, но и ряд других факторов, таких как присосы воздуха в паровое пространство, изменение поверхностей теплообмена и ряд других. Поэтому представляется целесообразным оценивать загрязнения трубной системы не по абсолютной величине $\beta_{н}$, а по изменению этой величины в процессе эксплуатации.

Еще одним фактором, влияющим на увеличение недогревов в пароводяных подогревателях, является подача в них перегретого относительно температуры насыщения при давлении в подогревателе пара. В этом случае часть поверхности трубного пучка исключается из зоны конденсации пара и работает на снятие перегрева, т. е. в подогревателе образуется зона охлаждения пара, коэффициент теплоотдачи в которой с паровой стороны существенно ниже, чем в зоне конденсации, и подогреватель работает менее эффективно.

В рассматриваемом случае пар в подогреватели сетевой воды ТЭЦ подается из отбора 3ата турбоустановки ст. № 3 с последующим дросселированием в регулирующем клапане. После дросселирования температура пара, подаваемого в подогреватели, может достигать 200 °С при температуре насыщения в них на уровне от 95 до 101 °С, поэтому рассмотрение вопроса влияния перегрева греющего пара на величину недогрева в подогревателях в данном случае представляется целесообразным. Указанное влияние может быть проверено расчетным путем.

Для выявления влияния подачи перегретого пара в подогреватели на величину недогревов была использована методика позонного расчета регенеративных подогревателей, представленная в [3, с. 328], с ее корректировкой под условия работы рассматриваемых сетевых подогревателей.

Результаты исследований, их обсуждение. На рис. 1 показаны зависимости коэффициента чистоты от времени эксплуатации сетевых подогревателей за отопительный период.

Полученные результаты позволили установить, что за отопительный период коэффициент чистоты снижается на ориентировочно на 10%, что соответствует возрастанию величин недогревов с 11,7 до 21,5 ^{o}C и увеличению слоя накипи на поверхностях теплообмена на 0,19 мм. Исходя из полученных данных, чистку необходимо проводить один раз в год.

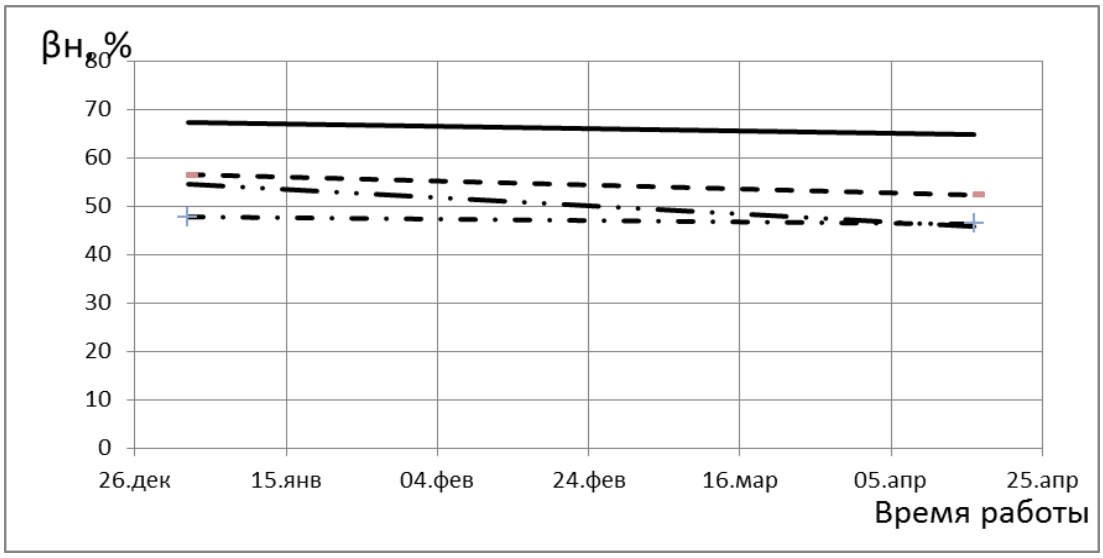


Рис. 1. Зависимость фактического коэффициента чистоты основных сетевых подогревателей Кировской ТЭЦ-1 от времени эксплуатации. —— – подогеватель № 1; – · · – – подогреватель № 2; · – · – – подогреватель № 3; - - - - - среднее значение по трем подогревателям

В то же время абсолютная величина коэффициентов чистоты $\beta_н$ весьма низка, что свидетельствует о наличии других факторов, влияющих на величину фактических недогревов.

Влияние неконденсирующихся газов в паровом пространстве на величину недогрева. Наличие неконденсирующихся газов в паровом простран-

стве определяется в основном присосами воздуха в вакуумную систему. Величина этих присосов определяется глубиной вакуума в аппарате, поэтому целесообразно определять влияние этих присосов в зависимости от давления в подогревателе. Увеличение присосов воздуха вследствие снижения давления должно приводить к увеличению недогревов. Следует отметить, что согласно имеющимся эксплуатационным данным давление в подогревателях может превышать атмосферное и изменяется в довольно узких пределах от 80 до 101кПа.

На рис. 2а, 2б и 2в представлены корреляционные поля зависимостей фактических величин недогревов от температуры насыщения при давлении в конденсаторе.

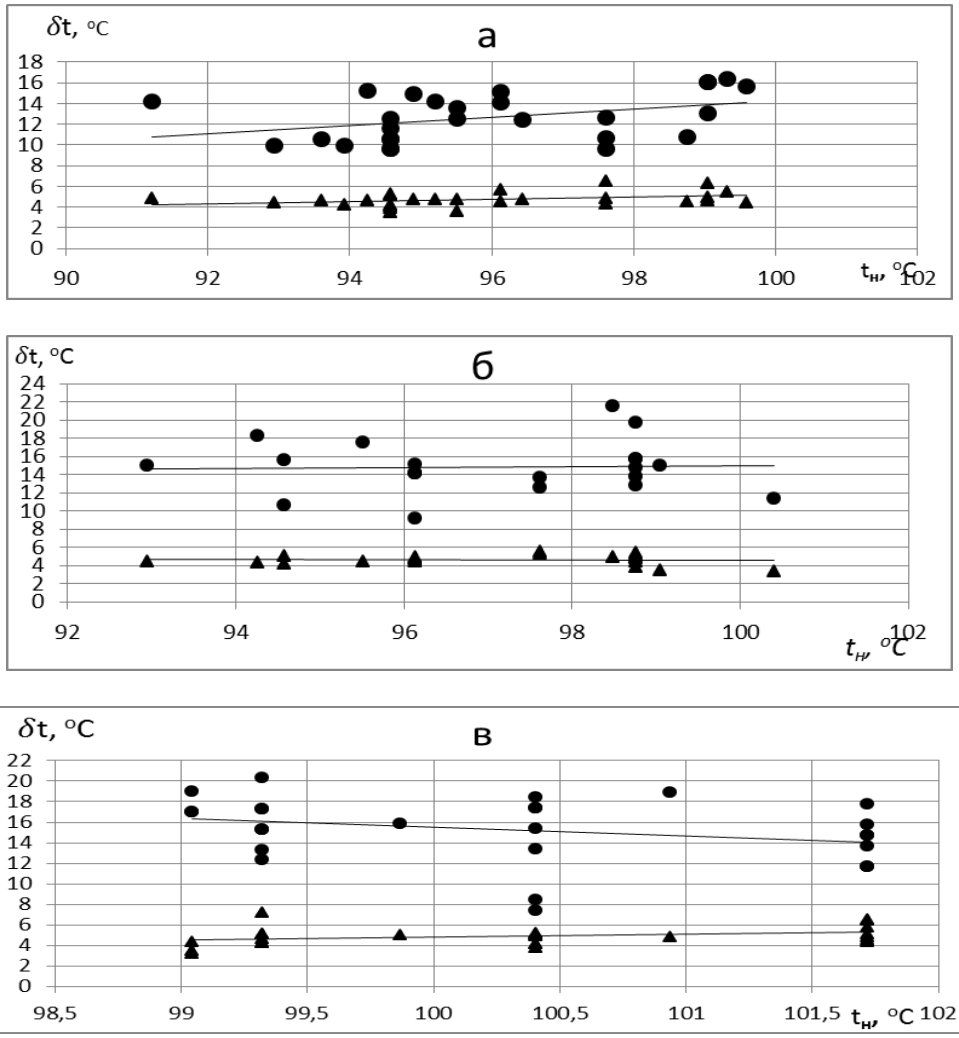


Рис. 2. Зависимости недогревов в основных сетевых подогревателях Кировской ТЭЦ-1 от температуры насыщения при давлении в них:
а – подогреватель № 1; б – подогреватель № 2; в – подогреватель № 3.
● – фактический недогрев; ▲– нормативный недогрев; —— – линии тренда

Приведенные на рис. 2 данные не позволяют достоверно установить корреляцию между фактической величиной недогрева и температурой насыщения вследствие большого разброса экспериментальных значений по $\delta t_ф$. Это подтверждается тем, что тренды зависимостей $\delta t_ф = f(t_н)$ у подогревателей разнонаправленны. На основании представленных данных можно предположить, что влияние присосов воздуха не велико и не является определяющим.

Влияние изменения поверхности теплообмена подогревателя на величину недогрева. Уменьшение поверхностей теплообмена может происходить по следующим причинам:

– заглушение большого количества (более 5%) трубок подогревателя вследствие их износа;

– эксплуатация подогревателей при повышенном уровне конденсата в конденсатосборнике вследствие затопления конденсатом части трубной системы;

– подача в подогреватели перегретого относительно температуры насыщения при давлении в нем.

По данным ТЭЦ, за время проведения испытаний уровни конденсата в конденсатосборниках подогревателей не превышали допустимых значений. Число отглушенных трубок трубных систем подогревателей также не превышало допустимый предел.

Влияние температуры перегретого пара, подаваемого в сетевые подогреватели, на их характеристики. Данные представленные в таблице, показывают, что влияние температуры перегретого пара, подаваемого в сетевые подогреватели, велико и в рассматриваемом случае может быть основной причиной неэффективной работы системы подогрева сетевой воды.

Результаты позонного расчета сетевого подогревателя БО-200

Температура пара, $t_п$ °C	200	175	150	125	99,63
Мощность бойлера, $Q_б$ МВт	10,69	11,206	12,202	13,354	15,79
Мощность ОП, $Q_{ОП}$ МВт	1,233	0,923	0,622	0,254	0
Мощность ПК, $Q_{КП}$ МВт	9,457	10,283	11,58	13,1	15,79
Площадь ОП, $F_{ОП}$ м^2	103,54	89,47	69,15	35,17	0
Площадь ПК, $F_{КП}$ м^2	96,46	110,53	130,85	164,83	200
Температура воды на выходе, подогревателя t_2в ^oC	82,98	84,1	86,24	90,22	93,94
Недогрев, δt °C	16,65	15,53	13,39	9,41	5,69

С целью повышения эффективности эксплуатации системы подогрева сетевой воды на Кировской ТЭЦ-1 нами разработаны следующие мероприятия:

1) для снижения температуры пара, поступающего в основные подогреватели сетевой воды, предложена конструкция и произведен расчет пароохладителя, предусмотрено место его установки на линии подачи пара в основные сетевые подогреватели. Пароохладитель рассчитан на расход пара $D1$=32,84 кг/с и температурой на входе t_{n1}=200 ^{o}C, с получением на выходе влажного пара, имеющего температуру t_{n1}=90–100 ^{o}C. В качестве охлаждающей среды предложено использовать обратную сетевую воду из напорного трубопровода насоса подачи рабочей воды на водоструйный эжектор;

2) произведен расчет водоструйного эжектора взамен устаревшего парового. В качестве рабочей среды для водоструйного эжектора предложено использовать воду из коллектора обратной сетевой воды с использованием дополнительного насоса с параметрами на напоре $p_{вр}$ = 1,2 МПа и температурой $t_{вр}$ = 70 ^{o}C.

Благодаря внедрению мероприятий возможен экономический эффект, который позволит снизить затраты денежных средств на покупку топлива для ТЭЦ. Это обусловливается тем, что снижение величин недогревов в основных сетевых подогревателях позволяет увеличить количество отпускаемой из них теплоты, снижается расход пара в пиковые бойлера, что ведет к увеличению расхода пара на основные бойлера, а следовательно, и увеличению суммарной мощности турбин.

Примерная дополнительная мощность от двух турбин, полученная от усовершенствования существующей теплофикационной установки, составит 0,912 МВт, что в денежном эквиваленте при пересчете на стоимость натурального топлива составит 1618,2 тыс. руб. в год.

Выводы. Проведенные исследования режимов работы теплофикационной установки Кировской ТЭЦ-1 позволяют сделать следующие выводы.

1. На основе анализа экспериментальных данных установлено, что величины недогревов в сетевых подогревателях достигают значений, в 3–4 раза превышающих нормативные. Проведенный анализ влияния различных факторов на эффективность работы сетевых подогревателей позволил предположить, что в

рассматриваемом случае основной причиной повышенных недогревов является подача в них перегретого пара с температурой, в два раза превышающей температуру насыщения при рабочем давлении в подогревателях.

2. Проведены исследования сетевых подогревателей типа БО-200 путем позонного теплового расчета при подаче в них пара в широком диапазоне температур. Результаты расчетов позволили установить, что в условиях Кировской ТЭЦ-1 основной причиной неэффективной работы сетевых подогревателей является подача в них перегретого пара с температурой 200 ^{o}C, что приводит к уменьшению зоны конденсации в них пара на 50% и соответствующему увеличению зоны его охлаждения, что, в свою очередь, приводит к недопустимым недогревам.

3. С целью устранения перегрева пара на входе в подогреватели сетевой воды по результатам расчетов нами предложена конструкция пароохладителя, устанавливаемого на линии подвода греющего пара к теплофикационной установке. Кроме того, для более надежного удаления паровоздушной смеси из сетевых подогревателей предложена конструкция водоструйного эжектора с использованием в качестве рабочей среды обратной сетевой воды.

Внедрение предложенных в данной работе мероприятий позволит получить экономический эффект, который в денежном эквиваленте при пересчете на стоимость натурального топлива составит 1618,2 тыс. руб. в год.

Таким образом, предложенное усовершенствование установки по отпуску тепла потребителям позволяет решить проблему с большими недогревами воды на ней, что позволяет повысить надежность работы данной установки, а также получить положительный экономический эффект. Такие схемы могут применяться на других ТЭЦ и паровых котельных с похожей проблемой.

Библиографический список

1. Сборник производственных инструкций по турбинному отделению котлотурбинного отделения Кировской ТЭЦ-1. 2005 г.

2. Шемпелев А. Г. Обработка результатов испытаний эксплуатационного контроля за состоянием сетевых подогревателей : методические указания к лабораторной работе № 3 по курсу «Тепломассообменное оборудование предприятий. Киров : Изд-во ВятГУ, 2010. 46 с.

3. Теплообменники энергетических установок : учеб. для вузов / К. Э. Аронсон, С. Н. Блинков, В. И. Брезгин, Ю. М. Бродов, В. К. Купцов, И. Д. Ларионов, М. А. Ниренштейн, П. Н. Плотников, А. Ю. Рябчиков, С. И. Хает ; под ред. Ю. М. Бродова. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2015. 945 с

Статистические исследования надежности воздушных линий 6–10 кВ

В. Г. Басманов [a], В. М. Холманских [b], И. В. Долбилин [c]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения [b]
студент группы ЭиЭм-2801 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: basmanov@vyatsu.ru [a], vm_holmanskih@vyatsu.ru [b], stud105347@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена высокой степенью износа фондов электроэнергетики (сети, оборудование распределения и управления), что, в свою очередь, приводит к снижению их надежности. Исследование надежности ВЛ 6–10 кВ позволяет решить одну из главных задач обеспечения бесперебойного питания потребителей. Целью данной статьи является изучение характера и причин аварийных отключений ВЛ. Был проведен статистический анализ многолетних данных о надежности ВЛ. В ходе проведения анализа были рассмотрены причины и характер повреждений ВЛ. Установлены процентные соотношения между разными видами аварийных отключений по месяцам и суткам, выявлено, что наибольшее количество отключений происходит в осенне-летний период, в утренние и вечерние часы. Чаще всего возникают самоустраняющиеся отказы посредством АПВ и РПВ – 65%, остальные 35% – отказы, требующие ремонта ВЛ. Результаты исследования могут быть полезны для эксплуатационных служб районных электрических сетей и работ по проектированию ВЛ.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, аварийные отключения, статистические данные об отказах.

Введение. Протяженность ВЛ 6–10 кВ на территории РФ составляет около 40% от длины линий электропередач с напряжением 110 кВ, но на них происходит 80% аварий и КЗ. Более 70% основных фондов (сети и оборудование распределения и управления) морально и физически изношены (средний срок эксплуатации 25–30 лет), что, в свою очередь, приводит к снижению их надежности. В результате возникают потери электроэнергии порядка 12–15% и ухудшение показателей ее качества [1, 2]. Из этого следует, что контроль и мониторинг состояния ВЛ 6–10 кВ, оценка ее надежности необходима для обеспечения бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией, что не может быть выполнено без изучения характера и причин аварийных отключений ВЛ, поэтому данная работа актуальна.

Цель исследования – изучение надежности ВЛ по статистическим данным за 6 лет наблюдений и определение причин повреждений ВЛ.

Задачи исследования: 1) Дать эксплуатационным службам районных электрических сетей итоговые сведения о причинах и характере повреждений ВЛ. 2) Изучить процентное распределение аварийных отключений в течение года и суток. 3) Необходимо оценить возможность использования этих данных для планирования ППР и профилактических мероприятий.

Методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны ВЛ 6–10 кВ (далее по тексту –ВЛ) электрических сетей трех районов X, Y, Z области N Российской Федерации. В качестве предмета исследования была выбрана эксплуатационная надежность ВЛ. В данной работе для решения поставленных задач применяются методы анализа статистических данных об отказах элементов ВЛ за определенный период времени.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ надежности ВЛ является важной частью мониторинга элементов сети электроснабжения потребителей. Нами были выполнены статистические исследования эксплуатационной надежности ВЛ территориальной области N в Российской Федерации. Анализировались статистические данные об отказах в трех районах X, Y, Z. Было установлено, что большая часть отказов ВЛ являются самоустраняющимися, т. е. их восстановление не требовало ремонта. ВЛ включались в работу через определенное время средствами автоматики (АПВ) и ручным повторным включением (РПВ). В процентном отношении к общему количеству отказов самоустраняющиеся отказы составляли около 65%, а отказы, для устранения которых требуется ремонт ВЛ, – 35%, что повторяет распределение отказов в кабельных линиях 6–10 кВ [3, с. 55].

Были проанализированы статистические данные об отказах 27 ВЛ в трех районах с 2013 по 2018 год, при этом зафиксировано 502 отказа, суммарное время наблюдений составило 1071071 час.

В табл. 1 представлено распределение аварийных отключений и среднего времени восстановления ВЛ по способу устранения. Меньшее время ремонта в районе Y обусловлено малой площадью его территории. Из табл. 1 видно, что перерывы в питании, устраняемые РПВ, находятся в пределах 1–2 часов, а

устраняемые посредством ремонта ВЛ довольно продолжительные, от 5 до 9 часов.

Таблица 1

Распределение аварийных отключений и среднего времени восстановления ВЛ по способу устранения

Район	Количество отключений с 2013 по 2018 год, шт.			Среднее время восстановления, ч		
	Способ устранения			Способ устранения		
	АПВ	РПВ	Ремонт ВЛ	АПВ	РПВ	Ремонт ВЛ
X	40	24	38	0	1,08	8,73
Y	101	69	83	0	1,86	4,77
Z	63	33	51	0	1,82	7,84

Распределение восстановления ВЛ в районах после аварийных отключений по способу их устранения представлено на круговых диаграммах (рис. 1, 2, 3).

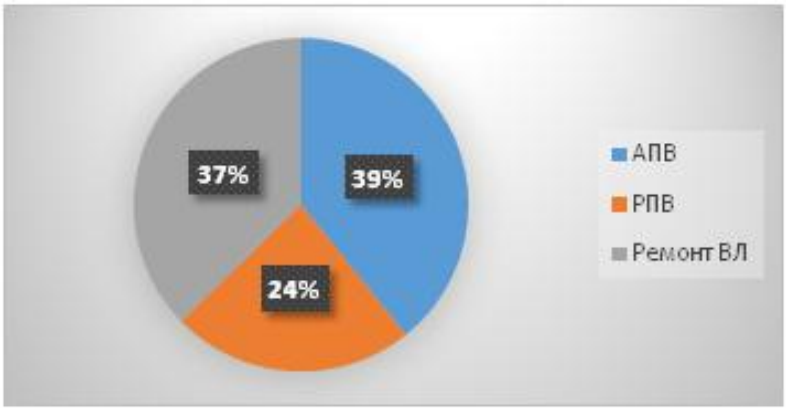


Рис. 1. Восстановление питания после аварийных отключений в районе X

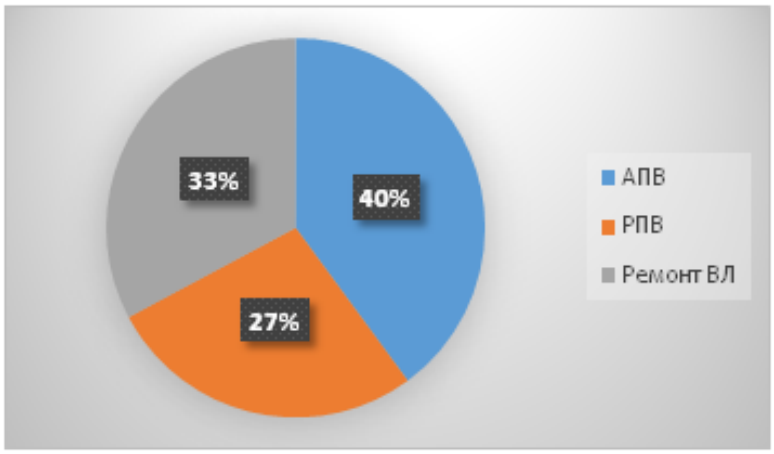


Рис. 2. Восстановление питания после аварийных отключений в районе Y

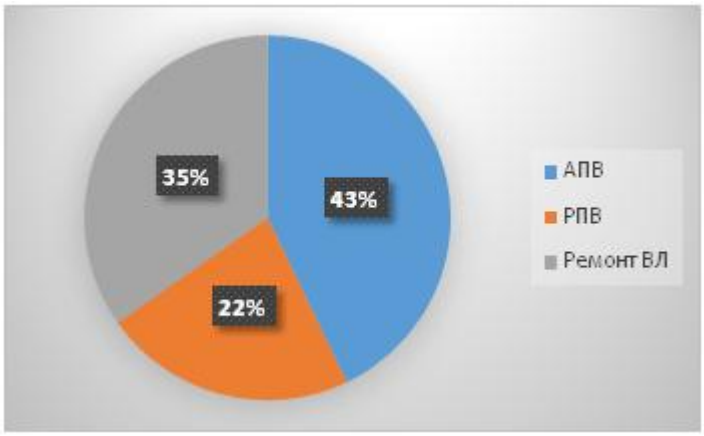


Рис. 3. Восстановление питания после аварийных отключений в районе Z

На рис. 4–6 представлены гистограммы распределения количества аварийных отключений в районах по месяцам года за 6 лет.

Из рис. 4–6 видно, что наибольшее количество отключений наблюдается в летне-осенний период. Это объясняется увеличением электрической нагрузки ВЛ в этот период. Минимум отключений приходится на зимний период, что связано с уменьшением нагрузок.

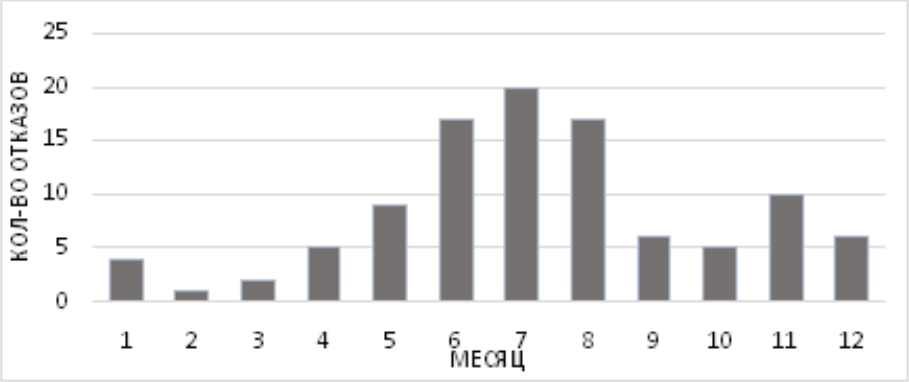


Рис. 4. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе X

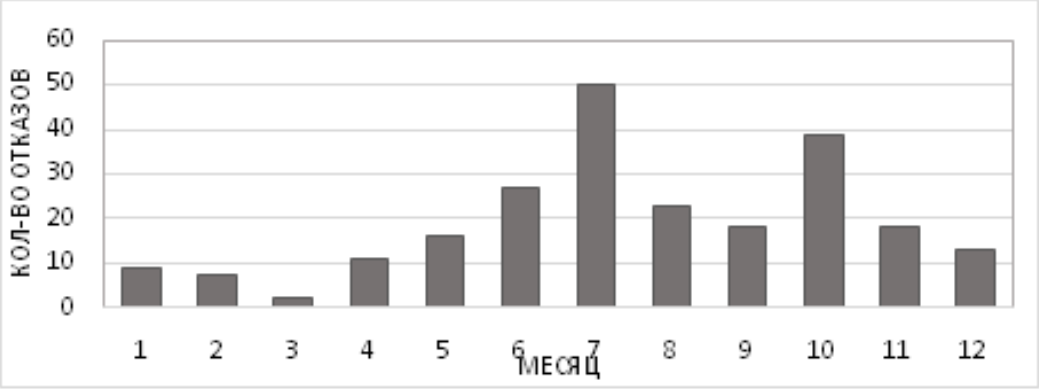


Рис. 5. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе Y

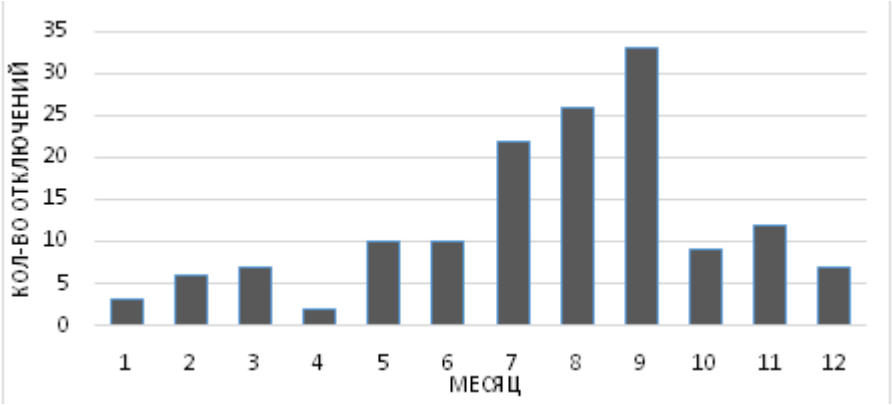


Рис. 6. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе Z

Распределение количества аварийных отключений в районах за 6 лет наблюдений по часам суток представлено на рис. 7–9.

Из графиков следует, что наибольшее число отключений для районов X и Z происходит в утренние и вечерние часы, что хорошо согласуется с утренним и вечерним пиками нагрузок. В районе Y наблюдается иная картина, «смазывание» утреннего и вечернего пика обусловлено географически более южным расположением района. На юге солнце опускается и встает под более прямым углом к горизонту, поэтому там темнеет и светает быстрее, чем на севере.

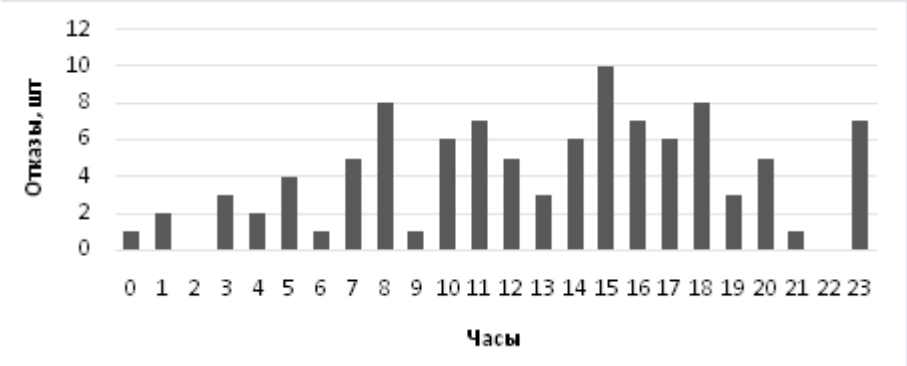


Рис. 7. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе X на ВЛ 6–10 кВ по часам суток

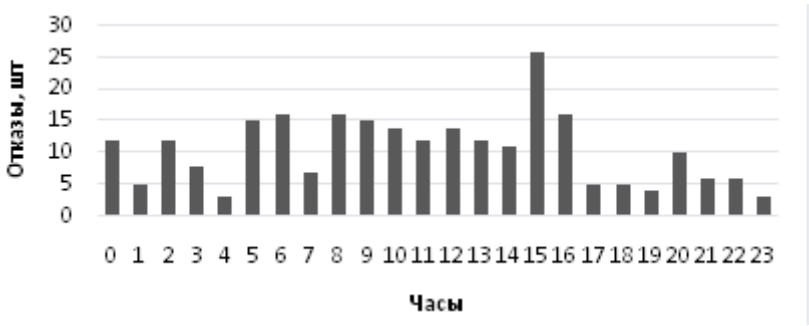


Рис. 8. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе Y на ВЛ 6–10 кВ по часам суток

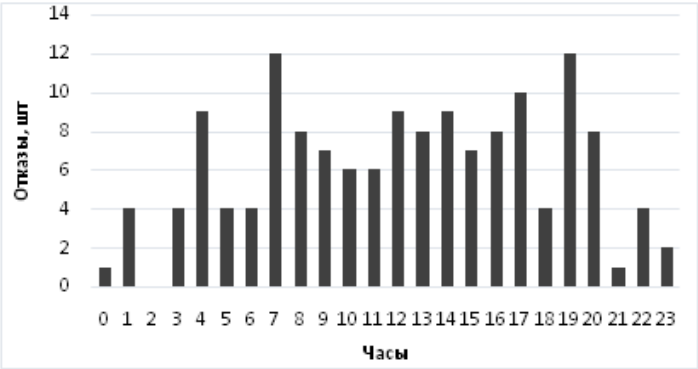


Рис. 9. Гистограмма распределения количества аварийных отключений в районе Z на ВЛ 6–10 кВ по часам суток

Выполнен анализ причин перерыва электроснабжения в районах за 6 лет наблюдений. Результаты представлены в табл. 2 и круговых диаграммах (рис. 10–12).

Таблица 2

Распределение причин перерыва электроснабжения по районам за 2013–2018 годы

Причины	Район X(север)		Район Y(юг)		Район Z(центр)	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Гроза	11	10,78	22	8,69	8	5,44
Снежная нагрузка	4	3,92	9	3,55	9	6,12
Мех. повреждения	15	14,71	49	19,36	25	17,01
Воздействие птиц	8	7,84	5	1,98	16	10,88
Падение веток и деревьев	7	6,86	11	4,35	50	34,02
Схлестывание проводов	44	43,14	66	26,09	11	7,48
Неустановленные причины	13	12,75	44	17,39	28	19,05
Ошибочные действия потребителя	-	-	24	9,49	-	-
Междуфазные КЗ	-	-	9	3,55	-	-
Перекрытие изоляторов	-	-	8	3,16	-	-
Другие	-	-	6	2,39	-	-
Итого	102	100	253	100	147	100

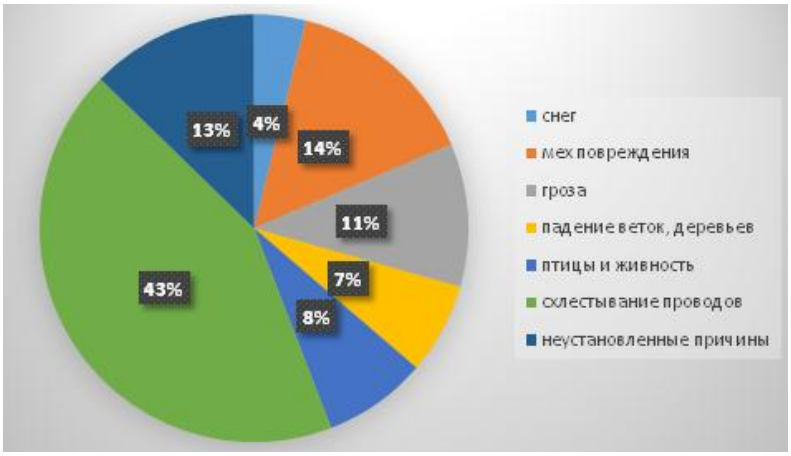


Рис. 10. Причины отключения в сетях 6–10 кВ в районе X

Рис. 11. Причины отключения в сетях 6–10 кВ в районе Y

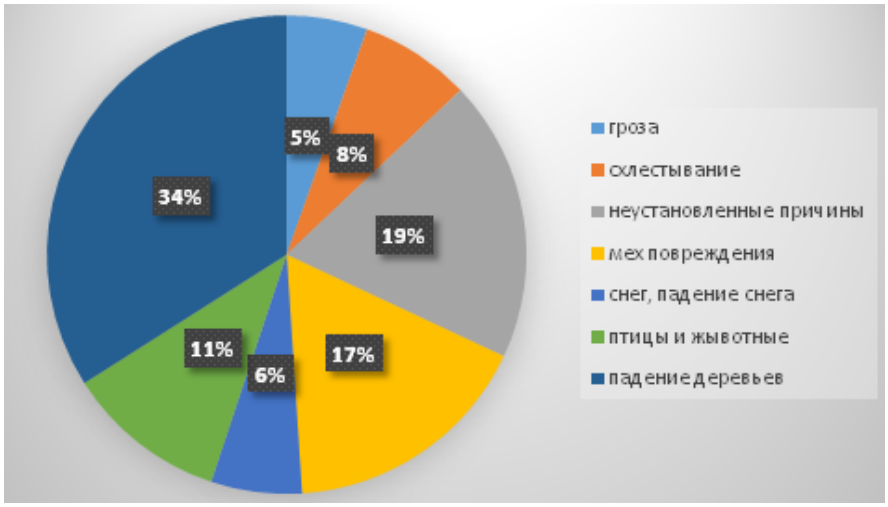


Рис. 12. Причины отключения в сетях 6–10 кВ в районе Z

Выводы. Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Количество аварийных отключений зависит от многочисленных факторов, воздействующих на ВЛ в совокупности (климатических, метеорологических, остаточного ресурса, периодичности ППР и т. д.). Из табл. 2 и диаграмм видно, что основные причины аварийных отключений приходятся на схлестывание проводов, механические повреждения и неустановленные причины. В процентном отношении причины отказов по районам не совпадают, что обусловлено их разным географическим положением.

2. Пики аварийных отключений приходятся на утренние и вечерние часы (пики нагрузок), большая часть отключений происходит в летне-осенний период, основная часть (около 65%) приходится на самоустраняющиеся отказы.

3. Необходима разработка и внедрение регламента по сбору и анализу данных об отказах ВЛ 6–10 кВ для планирования ППР не по календарному времени эксплуатации, а по фактической временной загрузке ВЛ электрической энергией.

Результаты исследования могут быть полезны для эксплуатационных служб районных электрических сетей и работ по проектированию ВЛ.

Библиографический список

1. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6–10 кВ // Новости электротехники. 2005. № 3. URL: http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php.

2. Боков Г. В. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? // Новости электротехники. 2002. № 2. URL: http://www.news.elteh.ru/arh/2002/14/03.php.

3. Басманов В. Г., Холманских В. М., Втюрин А. В. Периодичность диагностики состояния изоляции кабельных линии 6–10 кВ с бумажно-пропитанной изоляцией по комплексным показателям их надежности // Промышленная энергетика. 2017. № 11. С. 53–58.

Проблемы нормативно-правового регулирования обращения твердых бытовых отходов в РФ

А. Н. Беляев [a], Э. В. Коржова [b]
кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленной безопасности и инженерных систем [a]
студент группы ТБм-2801-01-60 [b]
Вятский государственный факультет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: belyaev@vyatsu.ru [a], stud109325@vyatsu.ru[b]

Аннотация. Вопросы совершенствования законодательной базы и остаются актуальными в любой сфере деятельности. Данная статья содержит сведения о наличии существенных противоречий в российской нормативно-правовой базе документов, связанных с обращением твердых бытовых отходов. В основе проблемы лежит имеющееся несоответствие некоторых понятий и формулировок в действующем законодательстве, а также неурегулированные «белые» пятна в освещении целого ряда вопросов. В работе указываются узкие места в документах федерального законодательства, распоряжения, приказы, а также стратегии развития. На основании представленных фактов дается неудовлетворительная оценка ситуации с обеспечением экологической безопасности при обращении с отходами. В целях обеспечения экологической безопасности при эксплуатации объектов размещения отходов предлагается разработка нормативно-правового комплекса документов, содержащего исчерпывающую систему экологических и иных требований ко всем стадиям эксплуатации объектов размещения отходов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, обращение, проблемы регулирования, законодательные акты.

Введение. В настоящее время остро назрела «мусорная» проблема. В РФ практически весь объем идет на полигоны для захоронения. Их размеры неумолимо растут, за какое-то время происходит их переполнение, тем самым возникает необходимость поиска нового места размещения отходов. Для того чтобы управлять большими объемами отходов, необходимы нормативные документы.

В Российской Федерации более 200 нормативных актов, связанных с обращением твердых бытовых отходов (ТБО) [1]. Тем не менее в этом количестве документов существует множество несоответствий. Рассмотрим наиболее выраженные из них.

Методы исследования. При подготовке данной статьи были использованы федеральные законы, статистические данные, стратегии развития. В материале проведен анализ нормативных актов, связанных с управлением отходами в РФ, а также рассмотрены статьи научных журналов, затронувших данную проблему.

Результаты исследований, их обсуждение. В статье 42 Конституции РФ содержится право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного здоровью человека или его имуществу экологическим правонарушением [2]. Но, согласно данным статистики [3], в нашей стране неуклонно растет объем образования отходов, растут полигоны и их число. Полигоны все чаще имеют непосредственное расположение ближе к жилым домам. Усугубляется обстановка вблизи свалок, так как вода, воздух, почва становятся непригодными для использования.

Задачей национального проекта «Экология» [4] является формирование комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами, включая ликвидацию свалок и рекультивацию территорий, на которых они размещены, создание условий для вторичной переработки всех запрещенных к захоронению отходов производства и потребления. До 2024 года запланировано ступенчатое снижение захоронения отходов, в котором доля утилизации вырастет до 36%, а доля обработанных твердых коммунальных отходов из общего объема достигнет 60% [4]. Однако анализ статистики по обращению с отходами показывает обратное, на захоронение по-прежнему поступает большая часть, доля переработки не увеличивается.

С января 2019 года распоряжением Правительства РФ от 05.07.2017 № 1589р утвержден перечень видов отходов, которые содержат полезные компоненты и их захоронение запрещено, где 109 видов отходов, в том числе лом черных металлов, макулатуры, электроника, автомобильные шины, не должны появляться на полигонах ТБО. Распоряжение Правительства № 2970р, Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), расширенная ответственность производителей (РОП) – все это является механизмом по созданию инфраструктуры утилизации отходов, но вступление на «тропу» сокращения их захоронения ведет к отсутствию предприятий по переработке ценных видов отходов [5].

Кроме того, в данных документах происходит расхождение в понятиях. С одной стороны, существует понятие полезных компонентов как составляю-

щих отходов, с другой стороны, отходов, образовавшихся после утраты товарами своих свойств. Перечень известен, но непонятно, что означают отходы от использования товаров. Введенный запрет на захоронение не несет никакой ответственности за его несоблюдение. Таким образом, данные распоряжения экономически невыгодны и в большинстве своем не ориентированы социально. Отчетность по РОП не предусматривает дополнительной документации, тем самым напрямую способствует коррупции. Введенный запрет на захоронение не гарантирует заявленного достижения, а именно снижения отходов [6].

Согласно ФККО, отходы делятся на группы: 1) относящиеся к ТКО: отходы из жилищ, офисов, социальных учреждений, салонов красоты и т. п.; 2) к ним не относящиеся, к примеру: бумага, отходы продукции из пластмасс, отходы стекла, изделий из стекла [7]. Условием образования ТКО является смешение различных материалов и изделий при утрате ими потребительских свойств, что обусловливает схожесть компонентного состава видов отходов, относящихся к ТКО, вне зависимости от источника образования и агрегатного состояния.

В Федеральном законе «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ дано расплывчатое понятие ТКО и не предусмотрен однозначный механизм разделения отходов на ТКО и «не ТКО». Главное несогласие кроется в вопросе классификации «отсортированных» видов отходов [8]. Рассмотрим пример с макулатурой. Данная фракция имеется в отходах любого производства, учреждения, офиса, как на, так и вне потребления на предприятии. Возникают следующие вопросы: как тогда относиться к группе отходов «4050000000 – бумага и изделия из бумаги, утратившие потребительские свойства»? Является ТКО данная бумага или только не ТКО? Частично ТКО или частично не ТКО? Важно понимать, что такие отходы, как бумага, стекло, алюминиевые банки, должны обращаться отдельно друг от друга, а их удаление производиться путем утилизации, а не захоронения.

В настоящее время основным способом удаления отходов в России остается их размещение на полигоне, что ведет к негативному воздействию на

окружающую среду и благосостояние человека. Основным правовым нормативом является Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ. Объектом размещения и захоронения отходов является полигон ТБО.

Для того чтобы инфраструктура работала полноценно и совершенно, необходимо закрепить систему правовых требований к объекту размещения отходов. Но в правовых актах снова сталкиваемся с противоречиями и несоответствиями. Речь идет о расхождения понятий «объект хранения отходов» и «объект захоронения отходов». Данные понятия являются разновидностями объектов размещения отходов. Под определением «объекты размещения отходов» подразумеваются специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов, но при этом в указанной норме не указан исчерпывающий перечень видов объектов (полигон, шламохранилище, хвостохранилище, отвал горных пород и другое). Так как перечень «не закрытый», к объектам размещения могут быть отнесены и иные виды объектов. Есть мнение, что данные объекты (например, шламо-, хвостохранилище или отвал горных пород) могли не включаться в специальные сооружения природоохранного назначения с целью снижения их воздействия на окружающую среду [9].

В действующей редакции статьи 1 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ прослеживается еще одно несоответствие, в котором объектом размещения отходов признаются участки недр либо подземные сооружения, которые предназначены для захоронения отходов всех классов опасности. Однако в законодательстве отсутствует понятие «подземное сооружение», что, следовательно, затрудняет системное применение основных требований к указанным объектам. Таким образом, в ФЗ № 89 имеется возможность признавать объекты захоронения отходов участки недр и, вероятно, повлечь за собой угрозу существенного загрязнения почв, грунтовых и подземных вод. Характеристики участков недр не позволяют признавать их специальными сооружениями, так как, согласно Техническому регламенту о безопасности зданий и сооружений, подземным сооружением является резуль-

тат строительства, имеющий ограждающие конструкции и предназначенный для производственного процессов и временного пребывания и перемещения людей. В связи с этим создаются противоречия в соотношении понятия «объект захоронения отходов» с более общим родовым понятием «объект размещения отходов» [10].

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ запрещает сброс отходов в подземные водные объекты и в недра [11]. Но вместе с тем отсутствует понятие «сброс отходов», под таковым подразумевается несанкционированная деятельность, которая связана с помещением отходов в недра, что может привести к их загрязнению. Очевидно противоречие: сброс отходов в недра – несанкционированная деятельность, а захоронение отходов в недрах – строго санкционированная деятельность. Это повлечет путаницу в правоприменительной практике.

Ключевой характеристикой объектов хранения отходов в связи с их целевым назначением является долгосрочность хранения. Следует определить, какое хранение отходов следует признавать долгосрочным. В соответствии с законодательным определением хранением отходов признается складирование отходов в специализированных сооружениях на срок более одиннадцати месяцев, что позволяет разграничить по срокам указанный вид деятельности и деятельность по накоплению отходов, которая не может превышать одиннадцати месяцев.

Выводы. Из всего вышеизложенного необходимо сделать вывод о том, что ситуация с обеспечением экологической безопасности при обращении с отходами в РФ может считаться неудовлетворительной. Особенно остро эти проблемы стоят в крупных городах. Поэтому для обеспечения экологической безопасности при эксплуатации объектов размещения отходов необходим нормативно-правовой комплекс, содержащий исчерпывающую систему экологических и иных требований ко всем стадиям эксплуатации объектов размещения отходов. Решение данной проблемы заключается в приведении к соответствию нормативных актов, необходимо конкретизировать понятия таким образом, чтобы не оставалось возможности двусмысленной трактовки.

Библиографический список

1. Мухутдинов А. А. Несовершенства нормативно-правовой базы в области обращения с отходами // Вестник Казанского технологического университета. 2014. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nesovershenstva-normativno-pravovoy-bazy-v-oblasti-obrascheniya-s-othodami/viewer (дата обращения 29.12.2019).

2. Конституция Российской Федерации от 12 июня 1993 г. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=2875&fld=134&dst=100163,0&rnd=0.7380086488679545#09422059293499052 (дата обращения 02.12.2019).

3. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования: официальный сайт. URL: https://rpn.gov.ru/ (дата обращения 02.12.2019).

4. Паспорт национального проекта «Экология» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi (дата обращения 02.12.2019).

5. Никитина В. В. Новое в обращении с отходами // Экология производства. 2019. № 10. С. 52–58.

6. Кретов А. В. Нюансы обращения с ТКО. // Экология производства. 2019. № 3. С. 16–19.

7. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22 мая 2017 г. № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов». URL: https://base.garant.ru/71695086/ (дата обращения 02.12.2019).

8. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (с изменениями и дополнениями). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 02.12.2019).

9. Беляева Н. С. Запрет на захоронение: что мешает? // Экология производства. 2018. № 5. С. 74–81.

10. Пономарева М. В. Размещение отходов: проблемы правовой трактовки. // Экология производства. 2019. № 2. С. 50–56.

11. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. URL: https://base.garant.ru/12125350/ (дата обращения 02.12.2019).

Технологические риски при эксплуатации плавательных бассейнов

А. Н. Беляев [a], А. В. Фалалеев [b]
кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленной безопасности и инженерных систем [a]
студент группы ТБм-1801-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: belyaev@vyatsu.ru [a], alfal1997@mail.ru [b]

Аннотация. Существование и активное использование плавательных бассейнов является неотъемлемой частью современного образа жизни людей во многих развитых странах. В последние годы общественные бассейны и аквапарки активно сооружаются и эксплуатируются и в России. Это связано в первую очередь с проведением соответствующей политики государства и ориентированностью населения на здоровый образ жизни.

С увеличением числа бассейнов увеличивается и риск возникновения чрезвычайных ситуаций с отравлением людей хлором, который используется для обеззараживания воды в подавляющем большинстве данных сооружений. Для заострения внимания на данной проблеме необходимо собрать статистику несчастных случаев в бассейнах, проанализировать их причины и произвести укрупненные расчеты с целью определить примерный риск нанесения ущерба здоровью посетителей.

Главной проблемой является отсутствие необходимой нормативно-правовой базы с утвержденной методикой оценки технологического риска, связанного в первую очередь с несовершенством систем водоподготовки, устаревшим оборудованием и некачественным техническим обслуживанием. Роль технических средств в водоподготовке высока, соответственно, и процент связанных с этим несчастных случаев велик.

Решением проблемы будет доработка и внесение изменений в существующее законодательство, касающееся безопасной эксплуатации плавательных бассейнов. Результаты работы могут быть использованы в целях усовершенствования существующей нормативно-правовой документации для обеспечения безопасной эксплуатации бассейнов.

Ключевые слова: категория риска, чрезвычайная ситуация, отравление, потенциальный риск.

Введение. Для наглядного иллюстрирования проблемы соберем статистику несчастных случаев с отравлением людей, которые получили широкое освещение в СМИ. Актуальность темы состоит в том, что чрезвычайные ситуации в бассейнах не являются редкостью, а при ежегодном увеличении количества данных сооружений в России риск чрезвычайных ситуаций, соответственно, становится выше. Целью исследования является обратить внимание на высокий уровень технологических рисков при эксплуатации бассейнов и предложить решения данной проблемы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– собрать данные по чрезвычайным ситуациям;

– рассчитать потенциальный риск причинения вреда здоровью;

– составить предложения по решению проблемы.

Ведущий подход. Представим собранные данные по чрезвычайным ситуациям в бассейнах в табл. 1 [1–15].

Таблица 1

Значимые чрезвычайные ситуации с массовым отравлением людей

№ п/п	Месторасположение бассейна	Дата происшествия	Количество пострадавших, чел.	Причины чрезвычайной ситуации
1	Набережные Челны, база отдыха «Тонус»	22 февраля 2020 года	18	Человеческий фактор (превышение ПДК хлора в воздухе в три раза)
2	Пермь, «Сауна»	1 февраля 2020 года	13	Человеческий фактор (нарушения санитарных норм, отсутствие производственного контроля за содержанием остаточного хлора в воде)
3	Улан-Удэ, ресторанно-гостиничный комплекс «Форт Росс»	12 ноября 2019 года	6	Человеческий фактор (отсутствие эксплуатационных документов, превышение содержания остаточного хлора в воде)
4	Пермь, сауна «Жара»	25 сентября 2019 года	1	Технические причины (неравномерная система подачи воды, превышение концентрации хлора)
5	Тюмень, бассейн «Маяк»	12 августа 2019 года	5	Технические причины (несоответствие воды требованиям по содержанию хлора)
6	Город Холмск, Сахалинская область, банный комплекс	1 июня 2019 года	14	Технические причины (несоответствие требованиям концентрации хлора в воде)
7	Пгт. Балтаси, Татарстан, бассейн «Дулкын»	29 марта 2019 года	10	Технические причины (неисправность оборудования в очистной системе)
8	Сыктывкар, спортивная школа по плаванию «Орбита»	20 марта 2019 года	20	Человеческий фактор (ошибка сотрудника в дозировке хлора)
9	Нижний Новгород, бассейн фитнес-клуба Gold's Fitness	6 февраля 2019 года	10	Технические причины (выход из строя насоса, качающего хлорный концентрат, и выброс опасной дозы хлора)
10	Пос. Новоберёзовский, Свердловская область, бассейн «Олимп»	3 июня 2018 года	3	Технические причины (сбой в автоматике при подаче хлора)
11	Город Мыски, Кемеровская область, бассейн «Олимпиец»	9 апреля 2018 года	12	Человеческий фактор (попадание средства для понижения кислотности в бак для обеззараживания воды)

12	Тюмень, сауна с бассейном «Посейдон»	28 октября 2013 года	10	Человеческий фактор (дозирование хлора без соблюдения нормативов)
13	Город Каменка, Пензенская область, бассейн «Олимп»	12 апреля 2010 года	9	Технические причины (выход из строя фильтрующих насосов из-за отсутствия своевременной чистки)
14	Санкт-Петербург, ООО «Гостиничный комплекс «Прибалтийская», аквапарк «Вотервиль»	26 марта 2008 года	194	Человеческий фактор (нарушение правил использования реагента обеззараживания воды)

Как видно из представленных случаев массовых отравлений людей хлором в плавательных бассейнах, их причинами в равной степени являлись неисправности в работе оборудования и человеческий фактор. Можно сделать вывод, что оборудование, применяемое при обеззараживании воды в бассейнах, не может обеспечить достаточную надежность и безотказность системы очистки в процессе работы. В России это можно объяснить тем, что часть применяемого на данный момент оборудования является устаревшей и была разработана по СНиП 1984 года. Кроме того, одной из причин может быть некачественный производственный контроль за эксплуатацией плавательных бассейнов. Для расчета риска необходимы данные о количестве бассейнов и численности населения в рассматриваемом регионе [16, 17].

Таблица 2

Количество бассейнов и численность населения в местах чрезвычайных происшествий

№ п/п	Субъект РФ	Количество чрезвычайных происшествий	Количество бассейнов, ед.	Численность населения, чел.
1	Пермский край	2	61	2 599 301
2	Республика Бурятия	1	23	986 109
3	Тюменская область	2	74	3 755 778
4	Сахалинская область	1	12	488 453
5	Республика Татарстан	2	175	3 902 642
6	Республика Коми	1	29	820 171
7	Нижегородская область	1	77	3 203 818
8	Свердловская область	1	140	4 325 256
9	Кемеровская область	1	94	2 657 758
10	Пензенская область	1	38	1 304 825
11	Город федерального значения Санкт-Петербург	1	222	5 392 992

Проведем расчет показателя потенциального риска причинения вреда здоровью населения региона при пользовании услугами плавательных бассейнов. Для этого воспользуемся методическими рекомендациями МР 5.1.0116-17 «Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия»:

$$R(l) = p(l) \cdot u(l) \cdot M, \quad (1)$$

где *Ri*(*l*) – потенциальный риск причинения вреда здоровью *l*-м видом деятельности на *i*-м объекте;

l – бассейны, аквапарки;

p(*l*) – вероятность нарушения санитарного законодательства при осуществлении *l*-го вида деятельности;

u(*l*) – показатель, характеризующий вред здоровью при нарушении законодательства в *l*-м виде деятельности, определяется по приложению 2 методических рекомендаций;

u(*l*) = 0,0151 для бассейнов и аквапарков;

Mi – показатель, характеризующий численность населения, находящегося под воздействием *i*-го объекта (масштаб воздействия), млн чел.

За *Mi* – принимаем численность населения региона, млн чел.

Показатель относительной частоты выявленных нарушений в ходе одной проверки на объектах надзора с *l*-м видом деятельности:

$$p^l = \frac{m^l}{n^l}, \quad (2)$$

где *pl* – показатель относительной частоты выявленных нарушений в ходе одной проверки на объектах надзора с *l*-м видом деятельности;

ml – число выявленных нарушений санитарного законодательства в течение года на объектах надзора с *l*-м видом деятельности, ед.;

nl – общее число проверок в течение года на объектах надзора с *l*-м видом деятельности, ед. [18]

Используем *pl*, чтобы рассчитать показатель относительной частоты чрезвычайных ситуаций в плавательных бассейнах в регионе. Тогда за *ml* при-

мем число чрезвычайных ситуаций в бассейнах региона, а за *nl* – общее число бассейнов в данном регионе. Проведем расчет рисков для тех областей, в которых происходили чрезвычайные ситуации:

$$R(l)_{\text{Пермский край}} = \frac{2}{61} \cdot 0{,}0151 \cdot 2{,}599301 = 0{,}00129;$$

$$R(l)_{\text{Респ. Бурятия}} = \frac{1}{23} \cdot 0{,}0151 \cdot 0{,}986109 = 0{,}00065;$$

$$R(l)_{\text{Тюменская обл}} = \frac{2}{74} \cdot 0{,}0151 \cdot 3{,}755778 = 0{,}00153;$$

$$R(l)_{\text{Сахалинская обл.}} = \frac{1}{12} \cdot 0{,}0151 \cdot 0{,}488453 = 0{,}00061;$$

$$R(l)_{\text{Респ. Татарстан}} = \frac{2}{175} \cdot 0{,}0151 \cdot 3{,}902642 = 0{,}00067;$$

$$R(l)_{\text{Респ. Коми}} = \frac{1}{29} \cdot 0{,}0151 \cdot 0{,}820171 = 0{,}00043;$$

$$R(l)_{\text{Нижегородская обл.}} = \frac{1}{77} \cdot 0{,}0151 \cdot 3{,}203818 = 0{,}00063;$$

$$R(l)_{\text{Свердловская обл.}} = \frac{1}{140} \cdot 0{,}0151 \cdot 4{,}325256 = 0{,}00047;$$

$$R(l)_{\text{Кемеровская обл.}} = \frac{1}{94} \cdot 0{,}0151 \cdot 2{,}657758 = 0{,}00043;$$

$$R(l)_{\text{Пензенская обл.}} = \frac{1}{38} \cdot 0{,}0151 \cdot 1{,}304825 = 0{,}00052;$$

$$R(l)_{\text{Санкт-Петербург}} = \frac{1}{222} \cdot 0{,}0151 \cdot 5{,}392992 = 0{,}00037.$$

Результаты исследований, их обсуждение. Сведем полученные в ходе расчетов данные в таблицу. Согласно методическим рекомендациям, объекты относятся к следующим категориям риска в зависимости от показателя потенциального риска причинения вреда здоровью:

– в случае если показатель потенциального риска причинения вреда здоровью составляет более 1×10^{-3} – чрезвычайно высокий риск;

– от 1×10^{-4} до 1×10^{-3} – высокий риск;

– от 1×10^{-5} до 1×10^{-4} – значительный риск;

– от 1×10^{-6} до 1×10^{-5} – средний риск;

– от 1×10^{-7} до 1×10^{-6} – умеренный риск;

– менее 1×10^{-7} – низкий риск [18].

Таблица 3

Категории риска для областей

№ п/п	Субъект РФ	Потенциальный риск причинения вреда здоровью *R(l)*	Категория риска
1	Пермский край	0,00129	Высокий риск
2	Республика Бурятия	0,00065	Значительный риск
3	Тюменская область	0,00153	Высокий риск
4	Сахалинская область	0,00061	Значительный риск
5	Республика Татарстан	0,00067	Значительный риск
6	Республика Коми	0,00043	Значительный риск
7	Нижегородская область	0,00063	Значительный риск
8	Свердловская область	0,00047	Значительный риск
9	Кемеровская область	0,00043	Значительный риск
10	Пензенская область	0,00052	Значительный риск
11	Город федерального значения Санкт-Петербург	0,00037	Значительный риск

В результате расчетов объекты в регионах относятся к высоким и значительным категориям риска для здоровья населения. Проведенное исследование показывает, что существует необходимость в доработке действующей нормативно-правовой документации касательно технологических рисков при обеспечении безопасности и надежности эксплуатации плавательных бассейнов. Предлагается разработать и утвердить методику для оценки технологических рисков, дабы ужесточить требования, снизить количество чрезвычайных ситуаций и повысить надежность эксплуатации плавательных бассейнов.

Выводы. В ходе исследования, на основе информации о чрезвычайных ситуациях и расчетов потенциального риска, выявлена такая значимая проблема, как высокий риск для здоровья населения при эксплуатации плавательных бассейнов. Для решения проблемы предложено внести изменения в нормативную базу, разработав методику по оценке технологического риска для повышения уровня безопасности в плавательных бассейнах.

Библиографический список

1. Регион Online Актуальные новости сегодня вашего региона // В Татарстане 9 взрослых и 9 детей отравились хлором в бассейне. URL: https://news-r.ru/news/events/455561/ (дата обращения 17.02.2020).

2. Новости сегодня: самые свежие и последние новости России и мира – Рамблер/новости // В Российском городе 13 человек отравились хлоркой. URL: https://news.rambler.ru/incidents/43604878-v-rossiyskom-gorode-13-chelovek-otravilis-hlorkoy/ (дата обращения 17.02.2020).

3. Телекомпания «Тивиком» // В Улан-Удэ школьники надышались хлоркой в одном из бассейнов. URL: http://tvcom-tv.ru/v-ulan-ude-shkolniki-otravilis-xlorkoj-v-saune.html (дата обращения 17.02.2020).

4. Накануне.RU // В Перми ребенок, отравившийся хлором в бассейне, получит компенсацию. URL: https://www.nakanune.ru/news/2019/09/25/22553695/ (дата обращения 19.02.2020).

5. Информационный портал «Вести Урала» // В Тюмени закрыли бассейн, где посетители отравились хлором. URL: https://vestiural.com/news/20190814/40530.html (дата обращения 19.02.2020).

6. Новости в России и мире – ТАСС // На Сахалине прокуратура выявила нарушения в банном комплексе, где могли отравиться дети. URL: https://tass.ru/proisshestviya/6500161 (дата обращения 19.02.2020).

7. EADaily: новости Евразии // Загадка ядовитого бассейна в Татарстане раскрыта: дети отравились хлором. URL: https://eadaily.com/ru/news/2019/04/01/zagadka-yadovitogo-basseyna-v-tatarstane-raskryta-deti-otravilis-hlorom (дата обращения 02.04.2019).

8. Невские Новости // 25 сыктывкарских детей отравились хлоркой в городском бассейне. URL: https://nevnov.ru/region/Syktyvkar/652555-25-syktyv-karskikh-detei-otravilis-khlorkoi-v-gorodskom-basseine?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения 02.04.2019).

9. Новости Нижнего Новгорода // Выброс хлора произошел в Gold's Fitness на Горького. Госпитализированы три ребенка и женщина. URL: https://www.nn.ru/news/more/vybros_khlora_proizoshel_v_old_fitnes_na_gorkogo_gospitalizirovany_tri_rebenka_i_zhenschina/65925041/ (дата обращения 02.04.2019).

10. Городские новости – Золотая горка – Берёзовский // В Берёзовском закрыли бассейн «Олимп» после отравления хлором детей. URL: https://www.zg66.ru/publications/crime/5483-25-bassein-zakryli-posle-otravleniya-xlorom.html (дата обращения 06.02.2019).

11. Seldon.News // Отравление хлором в бассейне Олимпиец в Мыски под Кемерово случилось 9 апреля. URL: https://news.myseldon.com/ru/news/index/186138383 (дата обращения 06.02.2019).

12. Интернет газета Znak.com // ООО «Восторг». В Тюмени в сауне «Посейдон» посетителей отравили хлоркой. URL: https://www.znak.com/2013-10-28/ooo_vostorg_v_tyumeni_v_saune_poseydon_posetiteley_otravili_hlorkoy (дата обращения 06.02.2019).

13. ПензаИнформ // Инженер бассейна в Каменке понес наказание. URL: http://www.penzainform.ru/news/social/2011/01/24/inzhener_bassejna_v_kamenke_pones_nakazanie.html (дата обращения 14.02.2019).

14. Вести.Ru // «Вотервиль» отравил 200 человек. URL: https://www.vesti.ru/doc.html?id=171805 (дата обращения 14.02.2019).

15. Вести.Ru // Найден виновный в массовом отравлении в аквапарке «Вотервиль». URL: https://www.vesti.ru/doc.html?id=257095&tid=55915 (дата обращения 14.02.2019).

16. Statdata.ru - сайт о странах и городах // Население регионов России 2020. URL: https://www.sites.google.com/site/ruregdatav1/largest_regions_russia (дата обращения 21.02.2020).

17. Яндекс. Карты // Плавательные бассейны России. URL: https://yandex.ru/maps/46/kirov/search/плавательные%20бассейны%20россии/ (дата обращения 21.02.2020).

18. МР 5.1.0116-17 «Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия…» : рекомендации утв. Роспотребнадзором 11.08.2017. Доступ из справ.-поисков. системы «КонсультантПлюс».

Архитектурно-планировочное решение и история строительства Троицкой церкви с. Кильмезь

К. В. Брызгалова [a], Д. В. Шуплецова [b], Е. М. Тураева [c]
младший научный сотрудник, старший преподаватель
кафедры архитектуры и градостроительства [a]
студент группы Стб-2802-01-00 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: kv_bryzgalova@vyatsu.ru [a], diana.shupletsova@mail.ru [b, c]

Аннотация. Настоящее исследование посвящено актуальным вопросам сохранения архитектурных ансамблей в условиях активного преобразования исторических поселений. Изучение истории строительства Свято-Троицкой церкви с. Кильмезь актуально в связи с реконструкцией и возрождением православных святынь на Вятской земле. Целью данной статьи является теоретическое исследование по истории строительства уникального памятника архитектуры XIX в. В статье рассматриваются основные этапы его архитектурно-планировочного формирования, выявляются объемно-планировочные и архитектурно-композиционные особенности. На основе архивных и историко-градостроительных изысканий, включающих натурное обследование, фотофиксацию исторической застройки, изучение аналогов, архивных документов, старинных фотографий, определяется значимость сохранения архитектурного памятника в исторической среде старинного села. По результатам исследования выполнен макет и концептуальный проект реконструкции, которые, несомненно, станут первым шагом к возрождению уникальной вятской святыни.

Ключевые слова: Свято-Троицкая церковь, Кильмезь, Вятская земля.

Введение. Актуальность исследования по истории архитектуры особенно очевидна в настоящее время в условиях активного преобразования исторических поселений. Изучение историко-архитектурного наследия конкретного региона, села Кильмезь Кировской области, позволит выявить местные особенности застройки, её особенности, историю возведения Свято-Троицкой церкви и аналоги, а также в дальнейшем прогнозировать перспективы современной градостроительной практики на данном примере.

Материалы и методы. Целью данной статьи является сохранение и популяризация архитектурного памятника в исторической среде старинного села. В соответствии с поставленной целью в статье решаются следующие задачи: изучить историю возникновения и выявить этапы архитектурно-планировочного формирования Свято-Троицкой церкви; дать архитектурную характеристику памятника; установить авторство; определить значимость сохранения православной святыни в центре современного поселения. Методика исследования основана на архивно-исторических и историко-градостроительных изысканиях,

включающих натурное обследование и фотофиксацию исторической застройки села, сравнение аналогов, изучение архивных документов и чертежей, старинных фотографий. Для определения масштаба и изучения пропорций применяется метод моделирования.

Русская колонизация Вятского края началась в XI–XIII вв. До XVIII века Вятская земля включала только северную и центральную часть современной Кировской области. Южная часть области, куда относится территория Кильмезского района, находилась под властью Казанского ханства, а после его присоединения к Московскому государству (1552 г.) – под властью казанских воевод и губернаторов. На этой территории были основаны крупные поселения, в том числе город Малмыж (1591 г.). Село Большая Кильмезь Малмыжского уезда Вятской губернии впервые упоминается в печатных источниках 1667 г., а официальная дата его основания – 1703 г. В 1929 г. в связи с упразднением уездов был образован Кильмезский район с центром в селе Кильмезь. Он входил в состав Нолинского уезда Нижегородской губернии. Позднее уезды были переименованы в районы, а губернии – в области. И с 1936 г. данный район вошел в состав в Кировской области.

В 1965 г. населенному пункту присвоен статус – посёлок городского типа Кильмезь. Кильмезское городское поселение Кильмезского района Кировской области расположено на берегу реки Кильмезь в юго-восточной части Кировской области. По данным археологических раскопок Кильмезский район представляет собой один из издревле обитаемых регионов с многонациональным населением. Здесь мирно уживаются многочисленные национальности: русские, марийцы, удмурты и татары и т. д. [1]

К началу XX в. в селе Кильмезь находились волостное правление, дом призрения и труда, двухклассное министерское училище, а также почтово-телеграфная контора и земская больница. Архитектурной доминантой села и украшением его центра была каменная Свято-Троицкая церковь, имевшая свое решение в классических формах. Вокруг храма располагались дома и торговые заведения известных в те времена на Вятке и за ее пределами купцов и про-

мышленников. Кильмезские купцы Репины торговали с Лондоном, И. М. Выгодчиков, знатный купец, содержал в Кильмези и округе более 40 магазинов, а братья Рухлядевы вели винокуренное, лесопильное и кожевенное производство. Также в Кильмези действовали один спичечный и два кирпичных завода. Своей благотворительной деятельностью местные купцы и промышленники внесли значительный вклад в строительство и благоустройство храма, а многие из них впоследствии даже были похоронены у его стен [2].

Свято-Троицкая церковь находится в самом центре пгт. Кильмезь. Её точный адрес: Кировская обл., Кильмезский р-н, пгт. Кильмезь, ул. Советская, 73. Полное название церкви – Церковь Троицы Живоначальной в Кильмези (Троицкая церковь, Свято-Троицкая церковь).

Первая однопрестольная Троицкая церковь после пожара в 1768 г. получила непоправимый удар по деревянному строению, вследствие чего была вновь отстроена в 1769–1770 гг., «зданием деревянная с колокольней на паперти». В XIX в. было принято решение выстроить каменную церковь на месте деревянной, а деревянную перевезти в село Старая Кильмезь, что и было сделано. Троицкая церковь, каменная, была построена в 1824–1836 гг. Главный придел в холодном храме освятили во имя Святой Троицы. Еще два придела теплого храма – во имя Архистратига Михаила и святителя Николая Чудотворца [3].

Вокруг церкви было возведено ажурное металлическое ограждение со святыми каменными вратами. Неподалеку от церкви был расположен настоящий вишневый сад, за которым постоянно ухаживала местная паства, и он, в свою очередь, всегда одаривал местных жителей богатым урожаем.

Об объемно-планировочном и архитектурно-композиционном решении храма можно судить по сохранившимся фотографиям начала XX в. Церковь продольно-осевой композиции с поставленными по оси архитектурными объемами: входной портик, колокольня, трапезная, холодный храм и алтарная апсида. Соблюдение пропорциональных отношений между отдельными объемами способствовало повышению архитектурной выразительности здания. Благодаря таким композиционным средствам, как симметрия, ритмическое чередование

проемов и простенков, архитектурный масштаб и светотень, было достигнуто художественное качество объемов.

Архитектурно-декоративное оформление холодного храма, алтаря и трапезной аскетичное, соответствующее стилю «провинциальный классицизм». Основной объем холодного храма – восьмерик, возведенный на четверике, с массивным восьмигранным куполом, прорезанным четырьмя люкарнами с круглыми слуховыми окнами, декорированными фронтончиками. Венчает массивный купол изящный восьмерик с узкими окнами, широким карнизом, яблоком и крестом. Северный и южный входы в храм акцентированы четырехколонными портиками. С востока к четверику основного объема храма примыкает пятигранная алтарная апсида, с запада – широкая трапезная со скругленными углами. И храм, и алтарь, и трапезная имеют циркульные оконные проемы в прямоугольных нишах с классической расстекловкой, по периметру декорированы многоступенчатыми карнизами. Трапезная как бы обнимает трехъярусную барочную колокольню, увенчанную сложной обелискообразной конструкцией. Колокольня богато декорирована барочными элементами. Второй и третий ярусы дополнены на углах парными колоннами и широким профилированным карнизом, раскрепованным в местах присоединения колонн. Проемы в колокольне имеют циркульное завершение, декорированное наличниками с замковым камнем. Фасады храма оштукатурены и окрашены.

Авторство памятника не установлено, но ближайшим аналогом Троицкой церкви с. Кильмезь по объемной композиции и декорированию является Троицкая церковь в селе Лопьял Уржумского уезда, строительство которой производилось по проекту губернского архитектора Ф. М. Рослякова и длилось с 1805 по 1811 г. Аналогичная кильмезской барочная колокольня-двойник украшала и Царево-Константиновскую церковь в г. Вятке. Эту колокольню возвели в 1821 г. по чертежам советника губернского правления А. И. Шестакова. Установленное авторство перечисленных аналогичных храмов и их архитектурная схожесть дают основание утверждать, что авторами проекта Троицкой церкови в с. Кильмезь были Ф. М. Росляков (храм) и А. И. Шестаков (колокольня) [4].

В 1930-х гг., с началом образований районов и новых поселений, Троицкая церковь была частично разрушена: обезглавлена (колокольня и алтарь снесены) и впоследствии закрыта. Спустя одно десятилетие церковь снова вернули верующим и открыли для посещения, однако её разрушенные части не восстановлены и по сей день. На протяжении полувека, вплоть до 2000 г., в храме находился районный Дом культуры. 12 июня 2000 г. произошло грандиозное событие, вписанное в историю Свято-Троицкого храма – день освящения.

На сегодняшний день сохранился только нижний ярус памятника, искажённый многочисленными пристройками по фасадам и перепланировками в интерьере.

Ансамбль Свято-Троицкого храма относится к опорным элементам застройки с. Кильмезь, имеет существенную историко-градостроительную и архитектурно-художественную ценность. Сохранение и реконструкция церкви в исторической части села – необходимое и единственно правильное решение в современной градостроительной практике.

Выводы. В представленном исследовании выявлены основные этапы архитектурно-планировочного формирования Троицкой церкви с. Кильмезь. Установлено авторство, на основе подробной архитектурно-композиционной и планировочной характеристики памятника определена значимость его сохранения в условиях современного пгт. Кильмезь. По результатам исследования выполнен макет церкви в масштабе 1:100 из белого макетного картона и концептуальный проект реконструкции, которые, несомненно, станут первым шагом к возрождению уникальной вятской святыни.

Библиографический список

1. Кильмезский район // Энциклопедия земли Вятской. Том 1. Книга 2. Села. Деревни. Киров, 1996. С. 165–171.
2. Научно-проектная документация. Том 6. Малмыжский уезд. Село Большая Кильмезь. Церковь Троицкая. Проектная научно-реставрационная строительная фирма «Анфилада-Р». Киров, 1993. 51 с.
3. ГАКО Ф. 237. Оп. 70. Д. 44. Л. 1659–1670.
4. ГАКО Ф. 237. Оп. 119. Ед. хр. 1069. Царево-Константиновская церковь г. Вятки.

Сборный арочный мост из бетонных блоков

Р. Е. Галочкин [a], Ю. Я. Тюкалов [b]
аспирант группы СТа-1801-01-00 [a]
доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и машин [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: galochkinkirov@mail.ru [a], yutvgu@mail.ru [b]

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью дальнейшего теоретического и практического развития технологий возведения и конструктивных решений автодорожных мостовых сооружений. Цель статьи состоит в описании технологии строительства сборного арочного мостового сооружения, в постановке проблем построения расчетной схемы и моделирования работы конструкции, а также в описании методики решения наукоемкой контактной задачи, приводящей к конструктивной нелинейности. Ведущим теоретическим подходом является численное исследование напряженно-деформируемого состояния комбинированной системы «грунт-мост» с применением нелинейного шагово-итерационного расчета по модифицированному методу компенсирующих нагрузок. Среди основных результатов приводится описание технологии строительства сборного арочного моста и плоская конечно-элементная модель мостового сооружения. Делается вывод о резерве несущей способности и безопасности предлагаемого конструктивного решения мостового сооружения, дается оценка адекватности построения компьютерной модели. Областью применения результатов исследования является автодорожное и мостовое строительство городского и сельского хозяйства.

Ключевые слова: мостовое сооружение, грунтозасыпной мост, метод конечных элементов, численный анализ, контактная задача.

Введение. *Объектом* исследования является грунтозасыпной сборный арочный мост из бетонных блоков и технология его возведения. *Предметом* исследования является компьютерная математическая модель определения напряженно-деформированного состояния мостового сооружения в составе комбинированной системы «грунт-сооружение».

Разработанность исследуемого вопроса. Арочные мостовые сооружения уже рассматривались в последние годы. Так, В. В. Зазвонов в своей диссертации исследует формы и методы статического и динамического расчета грунтозасыпных мостовых сооружений в 2009 г., где приводит данные о влиянии сейсмики на конструкции мостов, а также оценивает взаимную работу системы «грунт-мост», выдвигая гипотезу о нормальном распределении плотности и модуля упругости в массиве грунта [1].

В 2014 г. И. В. Рябов, Ю. Я. Тюкалов исследуют стальные гофрированные арочные грунтозасыпные мостовые сооружения и дают оценку влияния жест-

кости стальных листов, влияния уровня засыпки и жесткости опор моста [2]. В 2017 г. О. А. Тарабукина и Ю. Я. Тюкалов рассматривают возможность применения пластиковых труб в качестве несъемной опалубки для бетонирования арок мостового сооружения [3]. Р. Ш. Дистанов в 2009 г. исследует применимость сталефибробетона в арочных мостах, оценивает влияние данного материала на работу арки в целом [4].

Однако все рассматриваемые сооружения в значительной степени отличаются от предлагаемого решения в данной статье. В частности, это касается напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций моста и способа возведения подобного сооружения. Общим является лишь то, что все исследователи отмечают влияние грунта засыпки на НДС моста, его модуля упругости и плотности, влияние податливости опор моста.

Наиболее близки к данной тематике идеи зарубежных коллег из Северной Ирландии, в 2013 г. опубликовавших свою статью о гибких мостах [5]. Исследователи предлагают сборный арочный мост из бетонных блоков, соединенных между собой с помощью пластиковой арматуры, уложенной в верхний слой блоков, что в значительной степени удорожает технологию производства бетонных звеньев и исключает свободную транспортировку блоков на место возведения мостового сооружения.

В России, по данным Росстата, к концу 2014 г. было 72,5 тыс. мостов и путепроводов, среди которых 30,5 тыс. на железных дорогах РЖД и 42 тыс. на автомобильных. 11% из всех мостов деревянные. Минтранс в 2000-х в концепции улучшения мостовых сооружений дает оценку хорошего состояния лишь 20% мостов, 18% мостов находились в неудовлетворительном состоянии и 1% в аварийном.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития строительных технологий мостовых сооружений и снижения зависимости строительного хозяйства России от импорта. *Цель исследования* состоит в разработке и обосновании нового конструктивного решения сборного арочного автодорожного грунтозасыпного мостового сооружения из бетонных блоков, со-

здании расчетной модели рассматриваемой системы на разных этапах работы конструкции. *Проблема исследования* заключается в сложности моделирования конструктивно нелинейной расчетной схемы, отражающей действительное взаимодействие бетонных блоков в рассматриваемом техническом решении, а также в учете совместной работы мостового сооружения в составе комбинированной системы «грунт-мост». *Задачами исследования* являются исследование предлагаемого конструктивного решения мостового сооружения и построение компьютерных моделей расчетных схем в период возведения и эксплуатации мостового сооружения из бетонных блоков.

Ведущий подход. Объект исследования, сборный арочный мост, представляет собой группу звеньев (рис. 1) из бетонных блоков. До этапа строительства звенья собираются на заводе строительных конструкций или по месту, доставляются на строительную площадку в виде «пакетов» или их частей (отдельных блоков), уложенных друг на друга на большегруз. Монтаж мостовых звеньев производится на стройплощадке на уже готовые бетонные опоры. Бетонные блоки не содержат рабочей арматуры, кроме закладных деталей для подъёма и монтажа звеньев, а также закладных для металлических связей, в будущем располагаемых между блоками. Бетонные блоки представляют собой усеченную пирамиду одной или нескольких конфигураций, угол наклона граней которых завит от стрелы подъема арочного моста. Количество унифицированных форм блоков минимально. После монтажа каждого звена устраиваются дополнительные металлические связи между блоками поперек звеньев.

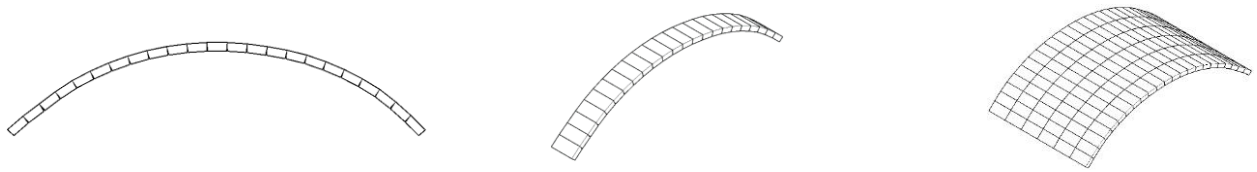


Рис. 1. Звено сборного арочного моста из бетонных блоков

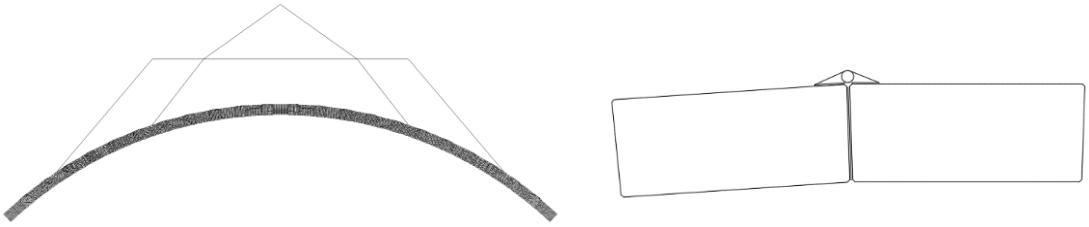
Конфигурация параметров блоков и звеньев может быть разнообразной и зависеть от требуемого мостового пролета и стрелы подъема. Далее рассматри-

вается пример сборного моста из звеньев собранных из 23 блоков, каждый длиной 1 м, шириной 0.5 м и высотой 0.2 м при стреле подъема 5 м и пролетом моста 10 м. Вес одного блока составляет 0.2 т, вес целого звена блоков 4.6 т.

Методом исследования является математическое моделирование, представляющее замену сборного мостового сооружения компьютерной моделью, с помощью которой определяется напряженно-деформированное состояние конструкций и системы «грунт-мост».

В качестве метода численного анализа принят метод конечных элементов (МКЭ). Для расчетов используется программа ЛИРА-САПР 2013 R3, в основе которой лежит МКЭ в перемещениях. В расчетной схеме каждый узел имеет три степени свободы в узле (линейные перемещения вдоль осей X, Z и поворот вокруг оси Y). Учитывается конструктивная нелинейность и элементы трения, расчет производится шагово-итерационным способом (количество выполняемых итераций до 1000, в зависимости от невязки). Квадратичная невязка между реакциями в связях на смежных итерациях достигает 0.5% (в пределах нормы).

Первый этап исследования представляет собой рассмотрение НДС поднимаемого звена блоков во время монтажа. Общая линейная длина рассматриваемого звена составляет 11.5 м, общий вес звена 4.6 т, используется бетон В30. Вдоль звена располагаются четыре точки крепления стропильной системы, которая в данном случае предполагает одну металлическую траверсу для распределения поднимаемого веса конструкции (рис. 2а). Блоки соединяются между собой с помощью металлических связей (рис. 2б), которые после монтажа демонтируются. Расчет производится на нагрузку от собственного веса арки.



а) б)

Рис. 2: а) схема размещения креплений стропильной системы;
б) схема размещения металлических связей между блоками

Основную трудность расчетов составляет физический процесс взаимодействия бетонных блоков между собой. Проявляется так называемая контактная задача.

Для моделирования контактного взаимодействия используются двухузловые односторонние, работающие только на сжатие, конечные элементы (КЭ) трения. Данные КЭ моделирует скольжение в односторонней связи, для этого используется условие трения Кулона. Жесткость сцепления (нормальные и касательные напряжения) рассчитывается автоматически итерационным способом. Для моделирования канатов стропильной системы используется геометрически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ (нить). Бетонные блоки моделируются физически нелинейным четырехугольным КЭ для плоской задачи как балка-стенка (пластина).

Второй этап исследования заключается в определении НДС сборного моста с учетом работы грунта и подвижной автомобильной нагрузки от дорожного полотна. Арочные грунтозасыпные мосты составляют единую комбинированную систему «грунт-мост» с контактирующим массивом грунта, влиянием которого пренебречь нельзя [1]. Так как задача является статической и перемещения и напряжения уменьшаются с увеличением расстояния от мостового сооружения, безграничная область грунта отброшена достаточно далеко (прямой метод анализа) и заменена соответствующими граничными условиями. На рис. 3 представлена конечно-элементная сетка комбинированной системы, показано расположение подвижной нагрузки НК-100 [6, 7] для одной из схем нагружения. Моделируется работа бетонных блоков (без учета металлических связей), грунта и дорожного покрытия.

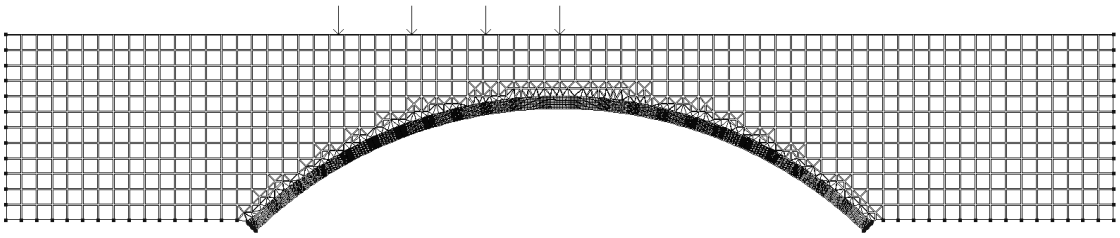


Рис. 3. Расчетная схема комбинированной системы «грунт-мост»

Сетка имеет сгущенную структуру в области блоков для более равномерной передачи нагрузки от конечных элементов грунта. Опоры арки неподвижны вдоль осей X, Z и допускают поворот. Грунт моделируется физически нелинейным КЭ балки-стенки для учета односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига по схеме плоской деформации. Модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения (E) – 1.80 кН/см^2, коэффициент Пуассона – 0.3, толщина 50 см, коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения (k_e) – 1, сцепление (C) – 98 Па, предельное напряжение при растяжении (R_t) – 0 кН/см^2, удельный вес грунта – 2.0 т/м^3, угол внутреннего трения– 43, предельное напряжение сжатия (σ_p) – 19.62 кПа. Дорожное покрытие моделируется КЭ бруса с постоянным сечением (ширина 50 см, высота 18 см), с модулем упругости (E) – 3.30 кН/см^2. Бетонные блоки и связи контактного взаимодействия моделируются конечными элементами как при расчете на монтажные нагрузки.

В расчете учитываются постоянные нагрузки от блоков, грунта и дорожного покрытия и варианты кратковременной подвижной нагрузки НК-100 в центральном и левом положениях. Уровень грунтовой засыпки в рассматриваемом примере – 1 м. Расчет производится для двух сочетаний нагрузок в зависимости от положения временной нагрузки (центральное и крайнее).

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам *первого этапа исследования* на монтажные нагрузки перемещения вдоль оси X достигают 1.2 мм, вдоль оси Z до 4 мм. Максимальное продольное усилие (N) растяжения, возникающее в связи между блоками, – 11.5 кН, поперечное усилие (Q) – 0.45 кН. Максимальное нормальное напряжение внутри блока вдоль оси X – 0.08 кН/см^2, то же самое вдоль оси Z – 0.04 кН/см^2, максимальные касательное напряжение τ_{xz} – 0.035 кН/см^2.

На втором этапе исследования наиболее неблагоприятным является сочетание с крайним положением временной нагрузки. Максимальное сжимающее напряжение в блоках вдоль оси X – 1.08 кН/см^2, максимальное растягивающее – 0.14 кН/см^2, максимальное сжимающее напряжение вдоль

оси Z – 0.98 кН/см^2, минимальное растягивающее напряжение – 0.12 кН/см^2, максимальное касательное напряжение в плоскости XZ – 0.75 кН/см^2. Максимальное вертикальное перемещение вдоль оси Z – от 2 до 18 мм (рис. 4), горизонтальное перемещение вдоль оси X – до 6 мм.

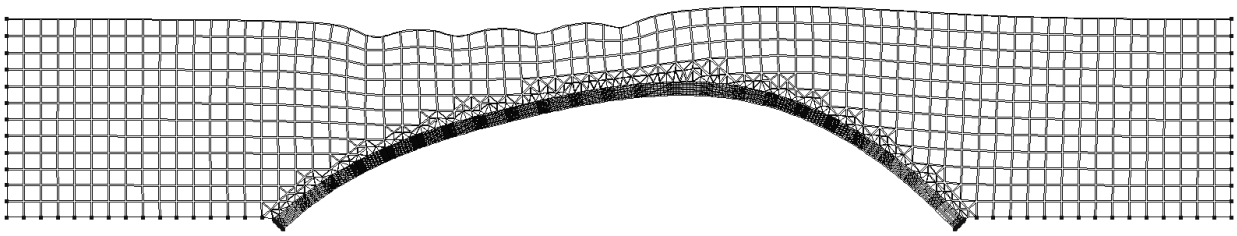


Рис. 4. Характер вертикальных перемещений комбинированной системы «грунт-мост» в увеличенном масштабе

Пространственная локализация результирующих растягивающих и сжимающих нормальных напряжений позволяет описать работу блоков как балок, шарнирно опертых друг на друга. Нижняя или верхняя часть блоков вступает в контактное взаимодействие сжатия, таким образом обеспечивая совместную работу бетонных блоков в звене арки. Другие варианты расчетов показывают, что сильное влияние на НДС бетонной арки оказывает уровень грунтовой засыпки, что также подтверждают исследования других авторов.

Результаты численного анализа позволяют сделать вывод: предлагаемое конструктивное решение арочного моста обладает необходимым резервом прочности и безопасности на всех стадиях работы мостового сооружения.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием математически обоснованных расчетных моделей и сертифицированного программного обеспечения. *Практическая значимость результатов* исследования заключается в экономической и технологической эффективности принимаемого конструктивного решения и технологии строительства сборного арочного моста из бетонных блоков.

Выводы. Разработано техническое решение и компьютерная модель мостового сооружения, которая моделирует контактное взаимодействие бетонных блоков сборного моста.

Экономичность и технологичность решения достигается за счет отсутствия рабочей арматуры в теле бетонных блоков, минимального количества требуемых унифицируемых единиц строительных конструкций, свободы в выборе способов транспортировки бетонных блоков, звеньев или их частей к месту возведения моста, доступности используемых строительных материалов, незначительного веса компонентов сооружения.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании мостовых сооружений в области автодорожного строительства.

Библиографический список

1. Зазвонов В. В. Развитие конструктивных форм и методов статического и динамического расчета грунтозасыпных мостовых сооружений : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Воронеж, 2015. 169 с.

2. Тюкалов Ю. Я., Рябов И. В. Совершенствование конструктивных форм стальных гофрированных арочных грунтозасыпных мостов // Общество, наука, инновации (НПК-2014) : сб. ст. Киров : Вятский государственный университет, 2014. С. 1574–1577.

3. Тарабукина О. А., Тюкалов Ю. Я. Применение пластиковых труб для арочных мостов // Advanced science. 2017. № 3.

4. Дистанов Р. Ш. Малопролетные арочные конструкции на основе сталефибробетона : автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01. Самара, 2009. 19 с.

5. Long A., Kirkpatrick J., Gupta A., Nanukuttan S., McPolin D. Rapid construction of arch bridges using the innovative FlexiArch // Proceedings of the ICE – Bridge Engineering. 2013. Vol. 166. I. 3. P. 143–153.

6. Свод правил: СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84 : нормативно-технический материал. М. : [б.и.], 2011. 347 с.

7. ГОСТР 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. М. : Стандартинформ, 2008. 6 с.

Результаты работы студенческой команды по созданию электрического транспорта

И. В. Губин [a], А. Д. Шешин [b], А. А. Фоминых [c]
аспирант группы ЭиТа-1803-08-00, инженер кафедры электрических машин и аппаратов [a]
студент группы ЭиЭм-2802-00 [b]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой электрических машины и аппаратов [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr20906@vyatsu.ru [a], aa_fominyh@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Множественные проблемы современного автотранспорта поднимаются все чаще и чаще. Становится понятно, что вопрос о его замене как никогда актуален в России и других странах. В данной статье описаны методы, которые уже реализуются в нашей стране и будут реализованы в будущем, а именно переход к электротранспорту. На примере проектной деятельности студентов Вятского государственного университета (ВятГУ) были рассмотрены перспективы развития электротранспорта в России. По результатам исследования, проведенного студентами ВятГУ, был создан прототип универсального модуля, который при креплении к раме самоката дает ему электротягу, и сделан вывод о целесообразности использования электротранспорта, как крупногабаритного (трамваи, электропоезда, электроавтомобили), так и малогабаритного (трициклы, электросамокаты и электровелосипеды).

Ключевые слова: электротранспорт, проектная деятельность, мотор-колесо.

Введение. Из года в год количество автотранспорта становится все больше, тогда как количество и качество дорог не изменяется. Это, как правило, приводит к тому, что даже незначительное по европейским меркам количество автотранспорта может передвигаться свободно без пробок только в ночное время [1].

Также стоит отметить и плохое дорожное покрытие. Тут дело не только в низком качестве строительных материалов и нарушении технологии, но и в самом автотранспорте. Разрушающее воздействие оказывает чрезмерно высокая осевая нагрузка: чем она выше, тем сильнее разрушается дорожное полотно.

Стоит отметить и влияние автотранспорта на окружающую среду (рис. 1). Плохое техническое состояние автотранспорта, выбросы выхлопных газов, низкое качество топлива и даже его испарение – это только часть источников загрязнения окружающей среды, исходящих от автотранспорта. В связи с широким использованием автомобилей именно автотранспортная среда является крупнейшим источником глобального потепления [2].

Рис. 1. Влияние автотранспорта на окружающую среду

В связи с этим поднимается тема перспектив развития электротранспорта в России. Государство, понимая все недостатки современного автотранспорта, организовало разработку всероссийской программы развития инфраструктуры для электротранспорта [3]. Цель программы – создание необходимых условий для широкомасштабного внедрения всех видов электротранспорта на территории РФ. Программа включает в себя три этапа. Первый (2013–2014 гг.) – при использовании научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР): был проведен поиск технологических решений, а также была разработана нормативно-правовая база. Второй этап (2014–2015 гг.) включает в себя развёртывание зарядной инфраструктуры и внедрение электротранспорта в ключевые районы. Третий этап (2015–2020 гг.) представляет из себя второй, только в масштабах всей России.

В настоящее время существует большое разнообразие электрического транспорта. К нему можно отнести широко используемые в повседневной жизни трамваи, троллейбусы, электропоезда. Более того, все крупные автопроизводители в настоящее время ведут работы по созданию и совершенствованию электрического транспорта. Однако не стоит обделять вниманием менее габаритные средства передвижения, а именно электросамокаты и электровелосипеды. Их преимущества на фоне габаритных машин очевидны. Они не загружают город-

скую среду, не наносят столь большой ущерб окружающей среде и имеют более доступную ценовую категорию. На рынке на сегодняшний день представлено огромное количество предложений в данном сегменте. А с учетом выбранного курса развития нашей страны данный вид электротранспорта все более актуален.

Основным поставщиком малогабаритного электротранспорта на рынке являются азиатские страны. Анализ, проведенный студенческой междисциплинарной командой в рамках проектной деятельности политехнического института ВятГУ по тематике «Расчет, конструирование и исследование привода электросамоката на базе вентильного двигателя» [4], показывает, что на территории Кировской области есть весь конгломерат предприятий, которые могут составить конкуренцию предприятиям Азии и выпускать конкурентоспособные продукты данной линейки (трициклы, электросамокаты, электровелосипеды и т. д.).

Цель студенческого проекта заключается в проработке возможностей расчета, конструирования и исследования привода электросамоката на базе вентильного двигателя, а также создании действующего прототипа. Было выбрано два пути развития проекта. Первый заключался в использовании цепной/ременной передачи, двигатель и аккумулятор, в свою очередь, располагались на раме самоката (рис. 2). Второй путь развития подразумевал использование мотор-колеса без редуктора (рис. 3). Все компоненты устанавливались в специальный корпус, который мог крепиться к любой раме самоката. За основу был выбран вариант номер два ввиду отсутствия переходных механизмов, что увеличивало надежность конструкции.

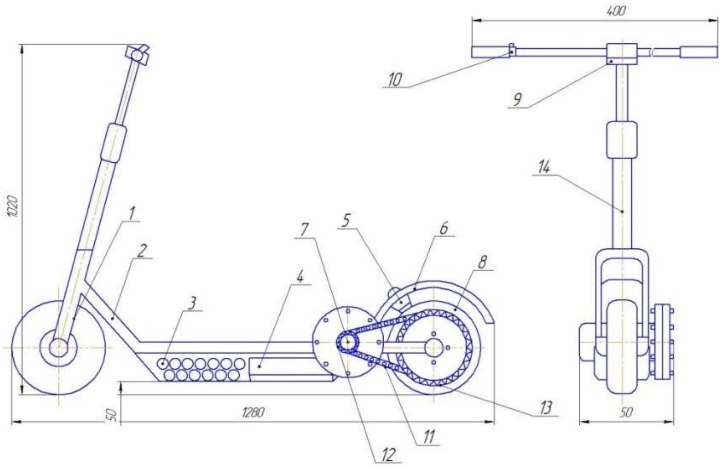


Рис. 2. Первый вариант развития проекта

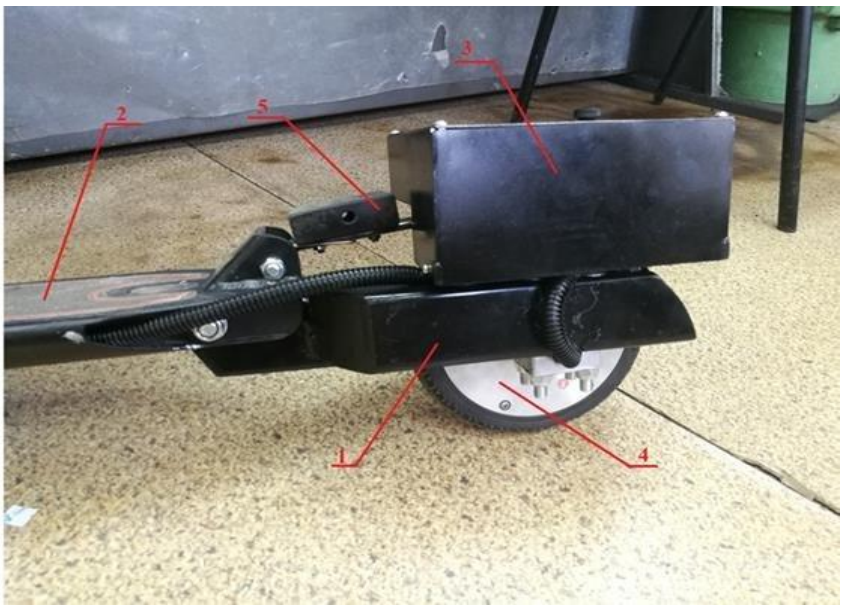


Рис. 3. Второй вариант развития проекта

В процессе работы студентами был создан прототип универсального модуля, установленного на раму самоката (рис. 4). Он состоял из трех основных элементов:

1. Контроллер.

2. Мотор-колесо на базе вентильного электродвигателя постоянного тока мощностью 350 Ватт.

3. Литий-ионная аккумуляторная батарея емкостью 4,4 А*ч.

Впоследствии прототип был оснащен дополнительным съемным аккумулятором. Все компоненты были занесены в корпус, защищающий от пыли и влаги.

Рис. 4. Прототип универсального модуля

Были проведены испытания по основным характеристикам электросамоката и сопоставлены с конкурентами, а именно с электросамокатом Xiaomi Mijia 365. Их сравнения представлены ниже в таблице.

Сопоставление результатов (примерный вес человека 65 кг)

Прототип	Критерий	Xiaomi Mijia 365
8	Запас хода, км	5
100	Максимальная нагрузка, кг	96
15	Максимальная скорость, км/ч	10-25
15 000	Стоимость, руб.	от 20 000

Проведя анализ результатов, можно сделать вывод, что прототип, разработанный студентами в ходе проектной деятельности, схож по характеристикам с конкурентами, но имеет более низкую стоимость. К достоинствам также стоит отнести универсальность модуля, так как его можно установить на любую раму самоката.

В настоящее время команда проекта работает над созданием зимнего варианта модуля, позволяющего превратить самокат в снегокат.

Библиографический список

1. 8 способов победить пробки / Сергей Смирнов // За рулем. 2017. URL: https://www.zr.ru/content/articles/907199-8-sposobov-pobedit-dorozhnye-z/ (11.03.2020).
2. Сердюкова А. Ф., Барабанщиков Д. А. Влияние автотранспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2018. № 25. С. 31–33.
3. Всероссийская Программа развития инфраструктуры для электротранспорта / Роман Бердников ; Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы 2013. URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/brn_09042013.pdf (11.03.2020).
4. Шешин А. Д. Расчет, конструирование и исследование привода электросамоката на базе вентильного двигателя : ВКР … магистр : 2019. 69 с.

Математическая модель связи между режимами импульсного лазерного излучения и глубиной упрочненной зоны ленточной пилы

М. Д. Дурсенева [a], А. Н. Пупышев [b], М. С. Шишкин [c], С. П. Грачев [d]
студент группы ПТКс-5801 [a, b, c]
кандидат технических наук, доцент [d]
Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: stud070223@vyatsu.ru [a], stud070245@vyatsu.ru [b],
stud070254@vyatsu.ru [c], grachev@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Растущие темпы производства деталей, ужесточение режимов эксплуатации и увеличение нагрузок приводят к уменьшению сроков службы оборудования. Особенно это актуально для лезвийного деревообрабатывающего инструмента, изготавливаемого из относительно недорогих материалов. Так как разрушение инструмента в основном начинается с поверхности, её упрочнение является одним из главных фактором повышения ресурса и надежности. Закалка рабочих поверхностей посредством использования лазерного излучения является наиболее эффективным и перспективным методом упрочнения инструмента, который эксплуатируется в условиях трения.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса лазерного упрочнения легированной стали 9ХФ, на основе данных этих экспериментов была составлена математическая модель, показывающая связь между параметрами импульсного лазерного излучения и глубиной полученной упрочненной зоны.

Ключевые слова: инструментальная легированная сталь 9ХФ, деревообрабатывающий лезвийный инструмент, ленточная пила, импульсное лазерное излучение, лазерный станок, закалка, упрочнение, глубина упроченной зоны.

Введение. В настоящее время разработано достаточно много разнообразных способов повышения износостойкости и прочности с целью повышения ресурса работы деталей машин, механизмов и инструментов. Наряду с традиционными методами поверхностного упрочнения, такими как термическое, химико-термическое, электроискровой метод упрочнения и т. д., все более широкое распространение находят технологии с использованием концентрированных источников энергии, например лазерного луча [1].

Термин «лазерное упрочнение» включает в себя физические процессы, протекающие вследствие лазерного термического воздействия. Интенсивный лазерный поток поглощается приповерхностным слоем и приводит к структурным изменениям, зависящим от режимов обработки и физических свойств обрабатываемых материалов. Поэтому термин «лазерное упрочнение» следует понимать как процесс целенаправленного изменения структурно-чувствительных механических свойств материалов и сплавов. Основываясь на том, что

большинство механических свойств структурно-чувствительны, следует обращать особое внимание на закономерности структурообразования при вариациях условий и режимов лазерной обработки [2].

Известно, что поверхностная лазерная закалка является перспективным методом упрочнения для инструментов, ресурс которых лимитируется износостойкостью [3, 4]. После воздействия лазером достигается высокая дисперсность материала, уменьшается коэффициент его трения и увеличиваются степень твердости. Все эти факторы положительно сказываются на способности изделия противостоять износу. Поэтому поверхностная закалка наиболее важна именно для обработки и уменьшения износа ножей и режущих кромок различного инструмента [5].

Параметры качества упрочненного поверхностного слоя при этом зависят от температурно-временных характеристик импульсного лазерного излучения. Изменяя их, можно сформировать поверхностный слой с заданными твердостью и структурой. Следует отметить, что при лазерной обработке не происходит изменения геометрии нагреваемого участка, а также сохраняется качество основной массы металла, которая также разогревается вместе с поверхностным слоем. Это создает перспективы использования лазерных методов в технологических процессах упрочнения поверхностей без последующего шлифования.

Несмотря на хорошие перспективы, технологический процесс лазерной обработки в промышленности не имеет широкого применения. Это объясняется экономическими трудностями предприятия, на которых целесообразно их внедрение, и недостаточной изученностью технологии получения покрытий и вопросов их эксплуатационных свойств для различных условий работы [6].

Поэтому актуальность данного исследования обусловлена необходимостью изучения научных основ и разработки технологий импульсного лазерного упрочнения и установления влияния технологических параметров на структуру и свойства упрочненных поверхностей лезвийного инструмента [7, 8].

Целью данного исследования является:

- повышение эксплуатационных характеристик инструмента;

- изучение особенностей воздействия импульсного лазерного излучения на эксплуатационные свойства лезвийного инструмента из стали 9ХФ;
- установление математической зависимости между режимами импульсного лазерного излучения и глубиной упрочненной зоны.

Объектом исследования является лазерное упрочнение стали 9ХФ на станке с твердотельным лазером Nd+3:YAG-кристалл, в котором активной средой является алюмо-иттриевый гранат, легированный ионами неодима. Характеристики станка представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики импульсного лазерного станка

Длина волны лазера	1064 нм = 1,064 мкм
Выходная мощность	≤200 Вт или ≤200 Дж/с
Рабочая зона	200x200 мм (опция до 1200x1200)
Ширина импульса лазера	0.1~20 мсек
Частота повторения	1~50 Гц
Диаметр пятна лазерного луча	0,2–3,0 мм
Макс. энергия в импульсе	60J
Скорость преобразования	≤4%
Размер лазерного генератора	1600 мм x 800 мм x 1500 мм

Методы исследования. При решении задач, поставленных в исследовании, были использованы следующие методы: механические испытания, методы математической статистики для обработки экспериментальных данных и полного факторного эксперимента.

Статистическая обработка экспериментальных данных производилась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel на основании теоретических рекомендаций, приведенных в работе [9]. Для исследования влияния трех основных факторов (плотность мощности лазерного излучения, частота импульсов лазерного излучения, скорость движения лазерной головки) спланирован и проведен полный факторный эксперимент.

Результаты исследования и их обсуждение

Полный факторный эксперимент (ПФЭ)

В данном исследовании для поиска оптимальных режимов лазерного упрочнения, влияющих на качество упрочнения, был поставлен полный фак-

торный эксперимент с учетом влияния трёх основных производственных факторов: скорости υ, частоты *f* и мощности W.

План ПФЭ изображают в виде таблицы, которая представлена в табл. 2, на основании методических рекомендаций, приведенных в работе [9].

Таблица 2

Развернутая матрица планирования эксперимента типа 2^3

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_3	x_2x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+	+	+	+	+	+	+	+	y_1
2	+	-	+	+	-	-	+	-	y_2
3	+	+	-	+	+	-	-	-	y_3
4	+	-	-	+	-	+	-	+	y_4
5	+	+	+	-	-	+	-	-	y_5
6	+	-	+	-	+	-	-	+	y_6
7	+	+	-	-	-	-	+	+	y_7
8	+	-	-	-	+	+	+	-	y_8

ПФЭ позволяет получить математическую модель в виде уравнения множественной регрессии. Данное уравнение для эксперимента типа 2^3 выглядит следующим образом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (1)$$

В качестве значения выходной функции y принимается глубина упрочненного слоя. Для исключения систематических ошибок рекомендуется опыты проводить в случайной последовательности. Для компенсации влияния случайных погрешностей каждый опыт повторяется n = 4 раза. В результате рандомизации параллельных опытов была определена последовательность опытов, которая представлена в табл. 3.

Таблица 3

Последовательность опытов

Порядок реализации опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
1-я серия опытов	3	7	5	2	8	1	4	6
2-я серия опытов	8	3	2	6	5	7	4	1
3-я серия опытов	1	3	5	7	8	6	2	4
4-я серия опытов	8	2	4	3	5	1	7	6

Опыт необходимо считать воспроизводимым, если дисперсия выходного параметра однородна в каждой точке факторного пространства:

$$S_{\{i\}}^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_{it} - \bar{y})}{N(n-1)} = \frac{\sum_1^N s_i^2}{N}. \quad (2)$$

Однородность дисперсий находится по критерию Кохрена. Расчет оценок коэффициентов уравнения регрессии находится по методу наименьших квадратов. Гипотезу о статической значимости коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента.

Дисперсия адекватности определяется по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_1^N \Delta y_i^2}{f}, \quad (3)$$

где $f = N - (k + 1) = 4$ – число степеней свободы.

Адекватность полученной математической модели оценивается по критерию Фишера, сравнивая расчетное значение с табличным. Гипотеза об адекватности математической модели принимается, если соблюдается условие.

В табл. 4 представлены исследуемые факторы эксперимента в нормированном масштабе.

Таблица 4

Условия проведения полного факторного эксперимента

Характеристика	$x_1 = W$, Дж	$x_2 = f$, Гц	$x_3 = \upsilon$, мм/мин
Нулевой уровень	2,75	30	500
Интервал варьирования	2,25	10	200
Верхний уровень	5,0	40	700
Нижний уровень	0,5	20	300

В качестве свободного члена $x_0 = I = 50$ А. Развернутая матрица планирования эксперимента для стали 9ХФ представлена в табл. 5.

Таблица 5

Развернутая матрица планирования эксперимента

№	Матрица планирования эксперимента для стали 9ХФ								Рабочая матрица			Результаты параллельных экспериментов y, мм				Среднее значение
	x0	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	x1x2x3	W, Дж	f, Гц	v, мм/с	1	2	3	4	y, мм
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,50	20	5,00	0,28	0,21	0,14	0,35	0,25
2	+	+	-	-	-	-	+	+	5,00	20	5,00	1,4	1,98	1,33	1,26	1,49
3	+	-	+	-	-	+	-	+	0,50	40	5,00	0,35	0,28	0,42	0,21	0,32
4	+	+	+	-	+	-	-	-	5,00	40	5,00	1,54	1,61	1,75	1,12	1,51
5	+	-	-	+	+	-	-	+	0,50	20	11,67	0,07	0	0	0,07	0,04
6	+	+	-	+	-	+	-	-	5,00	20	11,67	1,12	1,4	1,12	0,84	1,12
7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,50	40	11,67	0,14	0,07	0	0,14	0,09
8	+	+	+	+	+	+	+	+	5,00	40	11,67	1,47	1,4	1,12	1,68	1,42

Расчеты среднеквадратичного отклонения и критерия Кохрена представлены в табл. 6,7 соответственно.

Таблица 6

Значения среднеквадратичных отклонений

№	1	2	3	4	5	6	7	8
S_i^2	0,008	0,109	0,008	0,074	0,002	0,052	0,004	0,053
S_i	0,090	0,330	0,090	0,271	0,040	0,229	0,067	0,231

Таблица 7

Критерий Кохрена

Дисперсия воспроизводимости S^2	0,039
Критерий Кохрена G	0,351

Табличное значения критерия Кохрена $G_{\text{табл}} = 0{,}438$. Тогда: $0{,}351 < 0{,}438$.

Дисперсии экспериментов однородны. Далее находятся коэффициенты уравнения регрессии. Их численные значения представлены в табл. 8.

Таблица 8

Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}	Коэффициент Стьюдента $t_{\text{кр}}$ для 4 измерений с доверительным интервалом 95%
0,78	0,61	0,05	-0,11	0,02	0,00	0,03	0,04	
t_{p_0}	t_{p_1}	t_{p_2}	t_{p_3}	t_{p_4}	t_{p_5}	t_{p_6}	t_{p_7}	
$t_{p_i} > t_{\text{кр}}$								
31,55	24,63	2,19	4,55	0,95	0,11	1,36	1,54	3,18
+	+	-	+	-	-	-	-	

В итоге математическая модель выглядит следующим образом:

$$y = 0{,}78 + 0{,}61 \cdot x_1 - 0{,}11 \cdot x_3.$$

Проверка адекватности математической модели ведется по критерию Фишера. Расчет представлен в табл. 9.

Таблица 9

Критерий Фишера

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$y_{расч}$	0,07	0,11	0,14	0,12	-0,14	-0,26	-0,08	0,03
Δy	0,17	1,38	0,17	1,38	0,17	1,38	0,17	1,38
Δy^2	0,03	1,91	0,03	1,91	0,03	1,91	0,03	1,91
$F_{расч}$								1,94

Тогда: $1{,}94 < 6{,}4$.

Следовательно, полученная математическая модель адекватна.

Анализируя полученную математическую модель, было выявлено, что регулировать глубину упрочняемой зоны лезвийного деревообрабатывающего инструмента можно изменяя значения параметров только мощности и скорости. Если увеличивать мощность, возрастают температуры, действующие в зонах воздействия лазерного луча, а следовательно, увеличивается глубина упрочненной зоны, тогда как скорость движения перемещения лазерной головки влияет на время воздействия лазерного излучения, и чем выше её значения, тем меньше глубина упрочняемой зоны.

Библиографический список

1. Войтович О. Н., Сокоров И. О. Исследование влияния параметров лазерной термообработки на свойства упрочненных поверхностных слоев // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 2.
2. Харанжевский Е. В., Кривилёв М. Д. Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество : учебное пособие / под общ. ред. П. К. Галенко. Ижевск : Изд-во Удмуртского университета, 2011. 187 с.
3. Кремлева Л. В., Малыгин В. И., Снегирева К. К. Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 157–166. (Изв. высш. учебных заведений). DOI: 10.17238/issn0536- 1036.2016.5.157
4. Зотов Г. А., Памфилов Е. А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М. : Экология, 1991. 295 с.
5. Лазерная поверхностная закалка инструмента, ножей и режущих кромок / ООО НПП «Лазерные Технологии», 2016 г. URL: http://laser.com.ru/zak.html.

6. Костромин С. В. Закономерности формирования и изменения свойств поверхностных слоев сталей при лазерной термической обработке : автореф. дис. … канд. техн. наук. Н. Новгород, 1997. 16 с.

7. Маринин Е. А. Разработка технологии лазерной цементации инструментальных сталей для деревообрабатывающей промышленности : дис. … канд. техн. наук. Н. Новгород, 2019. 179 с.

8. Yilbas B. S., Patelb F., Karatasc C. Laser surface treatment of high-speed tool steel (AISI M2) // Wiley Online Library, 2012. DOI 10.1002/sia.5202

9. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М. : Машиностроение, 1981.

Применение концепции “Vision Zero” в офисных организациях

А. Ю. Курбатова [a], Д. А. Кузнецова [b], И. А. Соловьева [c]
магистр группы ТБм 1801-01-00 [a]
старший преподаватель кафедры промышленной безопасности и инженерных систем [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr21622@vyatsu.ru [a], da_kuznetsova@vyatsu.ru [b], usr19830@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Вредные и опасные производственные факторы являются причинами несчастных случаев на производстве. Работники промышленных предприятий каждый день сталкиваются с десятками таких факторов во время рабочей смены. Но не стоит забывать и про работников офисов, которые также получают травмы на производстве. Один из самых эффективных способов снизить производственный травматизм – это его профилактика. Одной из самых популярных методик по профилактике несчастных случаев на производстве в последние годы стала концепция “Vision Zero”. Рожденная в Швеции, данная концепция получила успешное распространение во многих странах, в том числе и в России. И хотя изначально она была разработана для снижения числа смертности в результате ДТП, ее успешно применяют по отношению к производству.

В данной статье мы предлагаем интерпретацию данной концепции для офисных производств.

Ключевые слова: несчастный случай, Vision Zero, нулевой травматизм, охрана труда.

Введение. Ни для кого не секрет, что снижение производственного травматизма – одна из приоритетных задач, на решение которой направлены большие силы как со стороны руководителей предприятий, так и правительства [1–7].

Проблеме травматизма на промышленных предприятиях посвящено много научных работ и статей, но практически не уделяется внимания травматизму работников организаций, не связанных напрямую с производственной деятельностью [1–7]. Это не удивительно, так как производственный травматизм и профессиональные заболевания – это результаты воздействия на работника вредных и опасных факторов. Очевидно, что на производстве и, например, на стройплощадке существует огромное количество факторов, которые могут привести к травматизму, однако существуют факторы, оказывающие постоянное или временное негативное воздействие на работников офиса (недостаточная освещенность или чрезмерная яркость, шум, психологический климат внутри коллектива и прочее), которые могут привести и к возникновению травм [8, 9]. Например, причинами травматизма в офисе могут стать неправильно по функциональности расставленная мебель, двери, стеклянные стены, крутящийся или раскачивающийся офисный стула, а также предметы, прикрепленные к стенам

и потолку. И хотя по статистике несчастных случаев, произошедших в офисе, на порядок ниже, чем на производстве, для любого руководителя это причина для беспокойства, так как любая травма, полученная работником во время выполнения своих обязанностей, – это не только торможение всего рабочего процесса, но и финансовые потери [1–9].

Если проанализировать работы последних лет, то можно выделить несколько основных путей снижения травматизма на рабочем месте: инструктирование и обучение работников вопросам охраны труда, создание благоприятного климата в коллективе, совершенствование системы охраны труда, пропаганда безопасного труда, а также профилактика травматизма [1–9], причем профилактике травматизма в последнее время уделяют все больше внимания не только в РФ, но и в мировой практике.

Из всех существующих концепций особое место занимает концепция «нулевого травматизма», или “Vision Zero”. Данная концепция впервые была озвучена в 2017 году на XXI Всемирном конгрессе по безопасности и гигиене труда, а уже к концу этого же года был подписан Меморандум между Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации и Международной ассоциацией социального обеспечения (МАСО). Данное подписание обеспечило сотрудничество по продвижению данной концепции на территории России [2, 5–7].

Уникальность “Vision Zero” заключается в осознанном включении всех участников производственного процесса в профилактику травматизма на производстве – от руководителя до непосредственного сотрудника (исполнителя). Основой для данной концепции послужили семь правил, применение которых позволит не только снизить число травм на производстве, но и сократить число профессиональных заболеваний:

1. Стать лидером – показать приверженность принципам.

2. Выявлять угрозы – контролировать риски.

3. Определять цели – разрабатывать программы.

4. Создать систему безопасности и охраны труда – достичь высокого уровня организации.

5. Обеспечивать безопасность и охрану труда на рабочих местах, при работе со станками и оборудованием.

6. Повышать квалификацию – развивать профессиональные навыки.

7. Инвестировать в кадры – мотивировать посредством участия [2, 5–7].

Все это пропагандирует личную безопасность работника через формирование общественного мышления.

Преимущество данных правил в том, что они легко адаптируются под любое производство, вне зависимости от его вида деятельности.

Многие крупные предприятия уже начали внедрять данную концепцию, например ОАО «РЖД» [7].

Результаты исследований, их обсуждение. По нашему мнению, данная концепция может быть реализована и на непромышленных (в административных) организациях.

Для этого необходимо переформулировать правила концепции «нулевого травматизма» в программу безопасного труда для офисных работников.

1. Руководители структурных подразделений должны нести ответственность за безопасность своих подчиненных и на личном примере показывать необходимость соблюдения условий труда на рабочем месте.

2. Применять риск-ориентированный подход в условиях офиса.

3. Проводить специальную оценку условий труда на рабочих местах сотрудников.

4. Обеспечить безопасность труда при работе с персональными компьютерами, оргтехникой и электроприборами.

5. Повышать ответственность работников за счет проведения инструктажей по охране труда, электробезопасности, пожарной безопасности.

6. Разработать и внедрить систему мотивации сотрудников для соблюдения правил охраны труда.

Внедрение этих правил, по нашему мнению, приведет к соблюдению личного безопасного поведения и безопасному поведению подчинённых и коллег; к своевременному оповещению руководства обо всех случаях производ-

ственного травматизма, произошедших в организации, а также к непосредственному участию в расследованиях несчастных случаев; к участию работников в работе комитета по охране труда; в планировании бюджета по охране труда; к активной позиции на собраниях и совещаниях по вопросам обеспечения безопасных условий труда; проявлению интереса к проводимой политике безопасности в организации и желанию непосредственного участия в создании и реализации данной политики.

Библиографический список

1. Золотых Н. В., Черняева А. В. К вопросу об исследовании психологических условий психолого-педагогического сопровождения подготовки водителей в сфере агропромышленного комплекса // Вестник ЮУрГГПУ. 2017. № 2. С. 125–130.

2. Рудаков М. Л. Корпоративные программы «Ноль несчастных случаев» как элемент стратегического планирования в области охраны труда для угледобывающих предприятий // Записки Горного института. 2016. № 10. С. 465–471.

3. Абильтарова Э. Н. Культура безопасности как один из методов профилактики производственного травматизма // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 13 (65). С. 169–176.

4. Гренц К. А. Личностная и мировоззренческая безопасность как условие отсутствия производственного травматизма в организации // Национальные приоритеты России. 2018. № 4 (31). С. 88–91.

5. Комиссарова В. Ю., Матюшева Н. В. Совершенствование условий труда работников производства с помощью концепции «vision zero», или «нулевой травматизм» // Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 2. № 10. С. 123–125.

6. Артемьев В. Б., Лисовский В. В., Циношкин Г. М., Кравчук И. Л. СУЭК на пути к «Нулевому травматизму» // Уголь. 2018. № 8 (1109). С. 71–75.

7. Зачиняев А. Г., Десятник И. А., Соколова И. И. Оценочные сессии по охране труда для руководителей среднего звена ОАО «РЖД» как элемент инновационного обучения в рамках концепции vision zero («нулевой травматизм») с использованием контекстной модели формирования компетенций // Транспортное дело России. 2019. № 5. С. 95–97.

8. Юшкова О. И., Калинина С. А. Изучение психосоциальных факторов в формировании профессионального стресса у работников умственного труда // ГИАБ. 2005. № 2. С. 49–51.

9. Жеманова С. Ю., Плутова М. И. Оценка и снижение уровня производственного травматизма и заболеваемости В ПАО СБЕРБАНК // Human Progress. 2016. № 4. С. 1–10.

База данных трансформаторов

Н. М. Малышева [a], Н. В. Тимина [b], С. А. Сарпов [c], А. В. Касимов [d]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [a]
доцент кафедры электрических машин и аппаратов [b]
студент группы ЭиЭб-4806-07-00 [c, d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация [a, b, c, d]
E-mail: nm_malysheva@vyatsu.ru [a], timina@vyatsu.ru [b], stud086043@vyatsu.ru[c], stud085946@vyatsu.ru [d]

Аннотация. Трансформатор – это электромагнитный аппарат для преобразования напряжения переменного тока. Трехфазные силовые трансформаторы используются в энергетических системах для передачи и распределения электрической энергии. Они постоянно совершенствуются для повышения эксплуатационных и энергетических характеристик, для уменьшения потерь при транспортировке электрической энергии от места ее производства до непосредственного потребителя электроэнергии. Цель исследования – повышение качества проектирования трансформаторов для улучшения их энергетических характеристик. В работе представлена база данных трансформаторов, которая имеет многоцелевое применение. База данных имеет справочный характер и содержит информацию о существующих трансформаторах, выпускаемых российскими и зарубежными производителями. Другая часть базы данных содержит размеры трансформатора и его характеристики, которые определяются при его расчете. Она может использоваться как источник информации о конкретном трансформаторе и для исследования влияния различных величин на эксплуатационные и энергетические показатели трансформатора.

Ключевые слова: база данных, трехфазный силовой трансформатор.

Введение. Трансформатор – это электромагнитный аппарат для преобразования напряжения переменного тока (рис. 1). Трехфазные силовые трансформаторы используются в энергетических системах передачи и распределения электрической энергии. Они постоянно совершенствуются для улучшения их эксплуатационных и энергетических показателей [1–3]. Информация о существующих трансформаторах публикуется в справочной, технической и учебной литературе [4–7]. Наличие такой информации в компьютере, в свободном доступе, позволяет существенно повысить качество учебного проектирования. В учебном проектировании проводится расчет активных частей трансформатора – магнитопровода и обмоток. Для создания сборочного чертежа требуются также данные о габаритных размерах и др.

Цель исследования – повышение качества проектирования трансформаторов для повышения их эксплуатационных и энергетических характеристик.

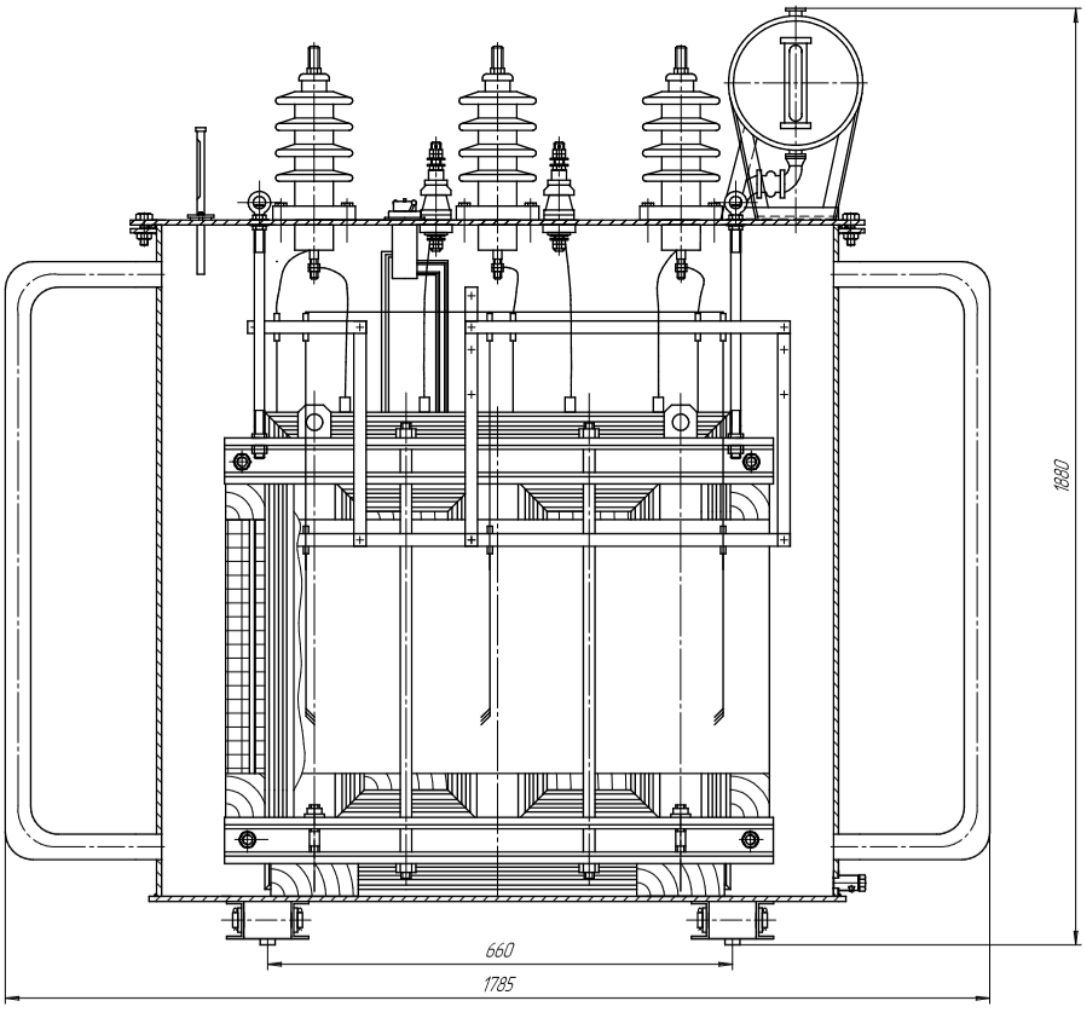


Рис. 1. Трехфазный силовой трансформатор

На кафедре ЭМА ВятГУ создается база данных трансформаторов, которая имеет многоцелевое назначение. База данных содержит информацию о существующих трехфазных силовых трансформаторах.

В базе собрана информация о сайтах в сети Интернет, о поставщиках трансформаторов разных типов, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями. Она также содержит данные об основных характеристиках этих трансформаторов и габаритных размерах. Схема данных представлена на рис. 2. База состоит из двух связанных таблиц, которые содержат информацию о номинальных данных, габаритных размерах и др. На рис. 3 представлена информация, которую можно получить о конкретном трансформаторе. Результаты оформлены в виде формы.

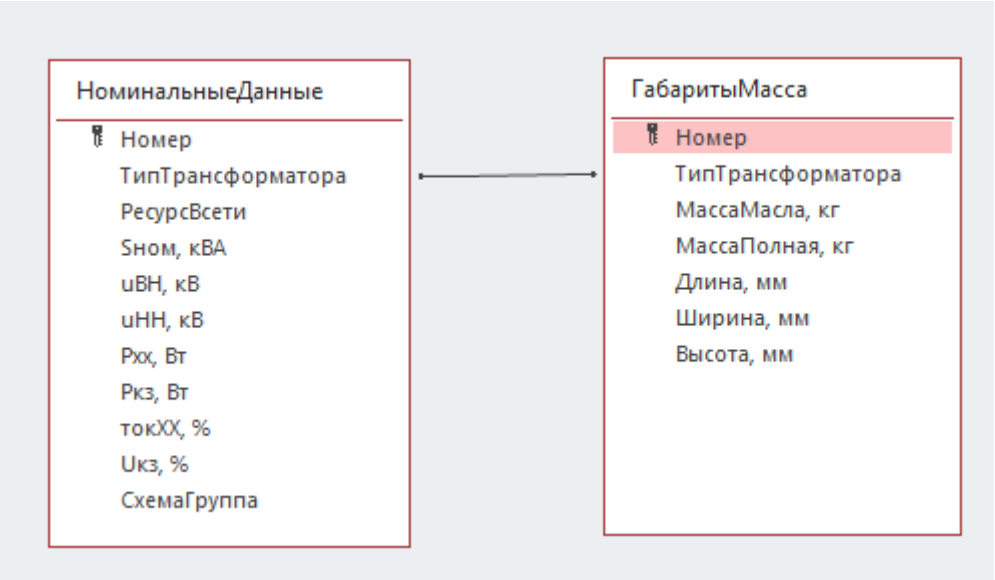


Рис. 2. Схема данных

Базы данных имеют справочный характер и содержат информацию о существующих трансформаторах. Кроме того, базы данных предоставляют большие возможности для анализа проектируемых аппаратов, сравнения их размеров, характеристик. С этой целью создана база данных трехфазных силовых трансформаторов, структура которой может быть перенесена на трансформаторы других типов. База состоит из трех таблиц: номинальные данные, размеры и характеристики. Все таблицы связаны между собой. Таблицы содержат все размеры и характеристики, которые рассчитываются при проектировании трансформатора.

На рис. 4 и 5 представлен фрагмент структуры и содержания таблицы «Размеры». Используя запросы, можно проводить сравнения различных трансформаторов между собой, проводить исследование влияния конструкции магнитопровода и обмоток на характеристики и эксплуатационные показатели.

НоминальныеДанные_ТипТрансформатора	ТМЭ-40/6
РесурсВсети	emna.ru
Sном, кВА	40
uВН, кВ	6
uНН, кВ	0,4
Pxx, Вт	155
Pкз, Вт	880
токХХ, %	2,6
Uкз, %	4,5
СхемаГруппа	Y/Y-0
МассаМасла, кг	81
МассаПолная, кг	358
Длина, мм	1130
Ширина, мм	600
Высота, мм	1180

Рис. 3. Данные о трансформаторе

При наличии данных об аналогичных существующих трансформаторах можно получить наглядную картину сравнения их характеристик и размеров. Имеется возможность получить все данные о трансформаторе в компактной форме (на одном листе формата А4) и вывести на печать. Данная база данных используется при выполнении выпускных квалификационных работ.

Все перечисленные базы данных созданы в среде СУБД MS Access, которая входит в пакет MS Office и установлена на каждом компьютере с операционной системой Windows.

Размеры

Имя поля	Тип данных
Номер	Короткий текст
Sном, кВА	Числовой
d н, м	Числовой
a р, м	Числовой
d 12, м	Числовой
l, м *	Числовой
Пс, м^2	Числовой
l 01, мм	Числовой
дельта 01, мм	Числовой
a 01, мм	Числовой
l 02, мм	Числовой

Рис. 4. Фрагмент структуры таблицы «Размеры»

Размеры

Номер	1	высота пр1, мм	4,5
Sном, кВА	40	ширина пр1, мм	6,8
d н, м	0,1	П витка1, мм^2	24,3
a р, м	0,021	l 1, м	220,5
d 12, м	0,143	a 1, мм	14,24
l, м *	0,22	D 1 вну, мм	107
Пс, м^2	0,007	D 1 нар, мм	135,48
l 01, мм	15	П 01, м^2	0,76

Рис. 5. Информация о размерах трансформатора

Результаты исследований. Результаты представлены на рис. 2–5. Использование базы данных трансформаторов дает возможность сравнить проектируемый трансформатор с существующими аналогами; проводить анализ влияния разных факторов на свойства проектируемого трансформатора, что ведет к существенному повышению качества проектирования трансформаторов, улучшению их энергетических характеристик.

Выводы. Представлена база данных трехфазных силовых трансформаторов, которая имеет многоцелевое применение. База данных содержит справочную информацию о существующих трансформаторах российских и зарубежных

производителей, их основные характеристики и габаритные размеры. Также представлена база данных, в которой собрана информация о конструкции и свойствах проектируемого трансформатора, использование которой дает возможность проводить анализ влияния различных факторов на характеристики трансформатора и определить наилучший вариант. База данных может быть использована в инженерном проектировании студентами и инженерами.

Библиографический список

1. Трякин А. О. Совершенствование методик теплового расчета силовых масляных трансформаторов : автореф. … дис. канд. наук. Самара : СамГТУ, 2015. 20 с.
2. Костинский С. С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденции развития силовых трансформаторов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20 № 1–2. С. 14–32.
3. Михеев Г. М., Евремов Л. Г., Иванов Д. Е. Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 212–218.
4. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов / под ред. П. М. Тихомирова. М. : Юрайт, 2015. 766 с.
5. Сергеенков Б. Н. Электрические машины: трансформаторы : учеб. пособие для электромех. спец. вузов / Б. Н. Сергеенков, В. М. Киселев, Н. А. Акимова. М. : Высш. шк., 1989. 352 с.
6. Проектирование силовых и специальных трансформаторов : учеб. пособие / Л. К. Присмотрова, Е. Н. Пировских, А. В. Пировских. Киров : ФГБОУ ВятГУ, 2014. 341 с.
7. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия: принят и действует с 09.04.2007.

Исследования по определению срока службы ОПН

В. С. Мелехина [a], Н. А. Перминов [b], В. Г. Басманов [c]
студент группы ЭиЭб-4804 [a]
студент группы ЭиЭм-2801 [b]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: stud085321@vyatsu.ru [a], Septimof@mail.ru [b], basmanov@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Грозовые перенапряжения являются причиной перерывов в электроснабжении и выхода из строя оборудования. Поэтому защита от грозовых перенапряжений является актуальной проблемой. Цель данной работы разработка инструмента для исследования ожидаемого срока службы ОПН по известной методике и ее верификация на реальном примере схемы электроснабжения. Данная программа позволяет значительно упростить и ускорить процесс расчета для типовых схем электроснабжения, кроме того, повысилась точность определения срока службы ОПН. Программа предназначена для определения ожидаемого срока службы ОПН 110÷750 кВ, который необходим для проверки надежности работы ограничителей при заданных параметрах электропередачи. Для выполнения поставленных задач в данной работе применяется методика численного моделирования различных режимов для рассматриваемой схемы электроснабжения. Учитываются девять видов коммутаций, тип тросов электропередачи, насыщение трансформаторов и автотрансформаторов. По результатам исследований можно оценить эффективность защиты от перенапряжений объектов электроэнергетики с использованием ОПН. Результаты исследований могут быть полезны для эксплуатационных служб районных электрических сетей, а также при проектировании объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: грозовые перенапряжения, нелинейные ограничители перенапряжений, годовой ресурс, срок службы.

Введение. Защита от грозовых перенапряжений является актуальной проблемой и в настоящее время, так как перерывы в электроснабжении, вызванные выходом из строя дорогостоящего электрооборудования, приводят к значительному экономическому ущербу. Одним из способов защиты от грозовых перенапряжений является применение специальных защитных аппаратов ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН). К числу важнейших задач при выборе ОПН относится определение ожидаемого срока службы. В данной работе для расчета ожидаемого срока службы нелинейных ограничителей перенапряжений 110÷750 кВ применяется методика, приведенная в [1, 2]. В этой методике расчет ожидаемого срока службы ОПН состоит в проверке надежности его работы при ограничении коммутационных перенапряжений в условиях конкретной электропередачи. Для этого необходимо рассчитать срок службы выбранного ОПН, сопоставить его с нормированным значением и сделать за-

ключение о пригодности выбранного ограничителя. Надежность ОПН является достаточной, если ожидаемый с доверительной вероятностью $P_{дов}$ срок службы ОПН $N_{сл}$ будет не менее нормируемого [1, 2]. Нормированные значения срока службы ОПН приводятся при доверительной вероятности $P_{дов}$=0,98.

Цель исследования разработка инструмента для исследования ожидаемого срока службы ОПН по известной методике и ее верификация на реальном примере схемы электроснабжения.

Задачи исследования: 1. Разработка программы «Расчет ожидаемого срока службы ОПН» на высокоуровневом языке программирования Python 3 по известной методике. 2. Верификация программы «Расчет ожидаемого срока службы ОПН» на реальном примере схемы электроснабжения.

Ведущий подход. Для решения поставленных задач применяются средства вычислительной техники и язык программирования Python 3.

Методы исследования. В качестве предмета исследования был выбран ожидаемый срок службы ОПН. Для верификации разработанной программы применяется методика численного моделирования различных режимов для рассматриваемой схемы электроснабжения.

Результаты исследований и их обсуждение. Методика расчета, применяемая для определения ожидаемого срока службы ОПН, состоит из следующих этапов [1,2]:

- расчет статистического распределения амплитуд неограниченных перенапряжений в точке установки ОПН;
- расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ограничителя в течение года;
- определение ожидаемого срока службы ОПН.

Расчетные схемы для определения вынужденного напряжения приведены на рис. 1.

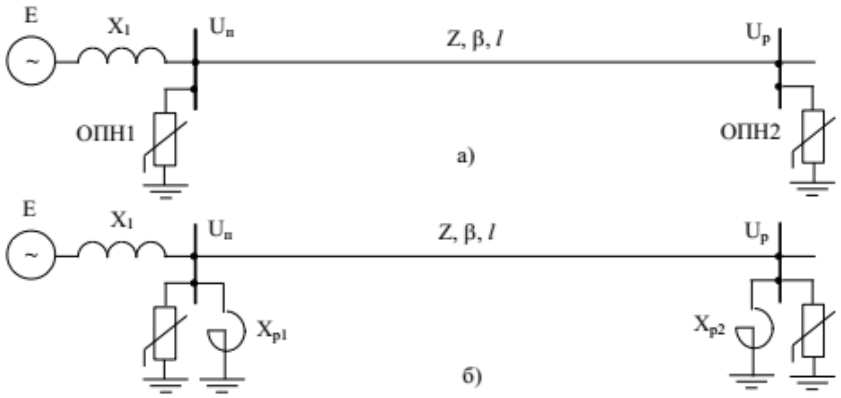


Рис. 1. Расчетные схемы для определения вынужденного напряжения:
(l длина линии; Z волновое сопротивление; β коэффициент изменения фазы;
$U_п$, $U_р$ напряжения питающего и разомкнутого конца линии соответственно)

Оценка надежности ОПН, которые установлены на питающем и на разомкнутом концах электропередачи, должна производиться раздельно, потому что токовые нагрузки на них существенно различаются.

Расчет по методике, приведенной в [1, 2], достаточно сложен и занимает много времени, так как необходимо производить расчет статистического распределения амплитуд неограниченных перенапряжений в точке установки ОПН и расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ограничителя в течение года как с помощью аналитических выражений, так и графических построений. Поэтому авторами была разработана программа «Расчет ожидаемого срока службы ОПН», которая позволяет значительно упростить и ускорить процесс расчета для типовых схем электроснабжения, кроме того, повысилась точность определения срока службы ОПН, так как расчет связан с построением графиков, то при ручном расчете берутся (графики строятся) для 10 точек, а при автоматизированном расчете используется 152 точки.

Программа предназначена для определения ожидаемого срока службы ОПН 110÷750 кВ, который необходим для проверки надежности работы ограничителей при заданных параметрах электропередачи. Учитываются девять видов коммутаций, тип тросов электропередачи, насыщение трансформаторов и автотрансформаторов.

Программа написана на высокоуровневом языке программирования Python 3, который является мощным инструментом для разработки программ

различного назначения [3, 4]. Python является кроссплатформенным, т. е. программы, написанные на нем, будут функционировать совершенно одинаково независимо от операционной системы. Отличия бывают в редких случаях, и их несложно заранее предусмотреть из-за наличия подробной документации. Синтаксис Python минималистический и гибкий, что позволяет составлять очень простые и эффективные программы [3, 4]. Стандартная библиотека данного языка имеет множество полезных функций, что сильно облегчает процесс создания программных кодов.

Внешний вид разработанной программы приведен на рис. 2. В верхней части расположены расчетные схемы.

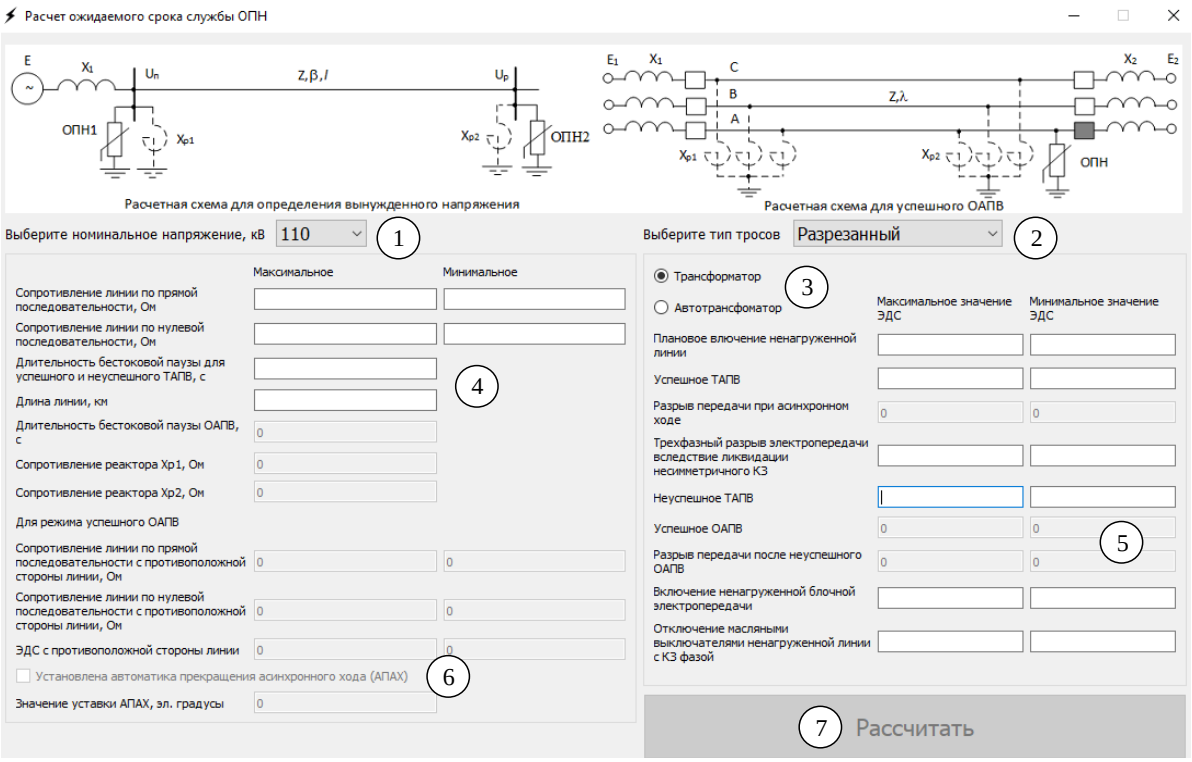


Рис. 2. Внешний вид окна программы

На рисунке цифрами отмечены следующие элементы:

1. QComboBox, или раскрывающийся список, содержит пункты для выбора номинального напряжения электропередачи, а именно напряжение от 110 до 750 кВ (рис. 3). При выборе определенного пункта скрываются элементы, которые не используются в расчете при данном классе напряжения. Например, при выборе напряжения 110 кВ становятся неактивными ячейки для ввода ЭДС

следующих коммутаций: разрыв передачи при асинхронном ходе и неуспешном ОАПВ, успешное ОАПВ. Также отключаются элементы, связанные с этими переключениями: сопротивления реакторов, время бестоковой паузы при ОАПВ, дополнительные сопротивления и ЭДС для расчета ОАПВ, флажок и уставка автоматики прекращения асинхронного хода.

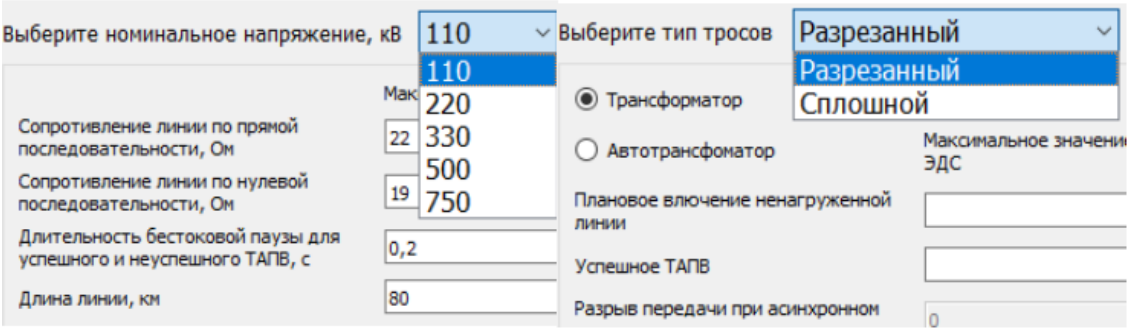


Рис. 3. Раскрывающийся список

2. Раскрывающийся список, содержащий типы тросов (рис. 3). Выбор влияет на параметры нулевой последовательностью (волновое сопротивление линии и коэффициент изменения фазы).

3. QRadioButton, или переключатель (радиокнопка), предназначен для выбора одного параметра из нескольких, в данном случае определения, какое оборудование установлено в системе, а именно трансформатор или автотрансформатор. Это влияет на учет насыщения магнитопровода.

4. QLineEdit, или однострочное текстовое поле, предназначено для получения информации от пользователя (в данном случае параметров электропередачи).

5. QLineEdit, или однострочное текстовое поле, предназначено для ввода значений ЭДС различных коммутаций. Чтобы исключить какуюлибо из них, нужно в ячейку максимального ЭДС ввести ноль. Также при вводе ноля отключаются все тестовые поля, связанные с параметрами, используемыми только в данной коммутации.

При изменении значений в текстовых полях (4 и 5) программа перехватывает ввод пользователя, если поле не пустое, то подается сигнал на командную

кнопку (7). Кроме того, все поля ограничены вводом только числовых значений. В качестве разделителя принимается только запятая.

6. QCheckBox, или флажок, нужен для включения и отключения каких-либо функций. В данном случае включает или отключает тестовое поле для уставки автоматики прекращения асинхронного хода (рис. 4).

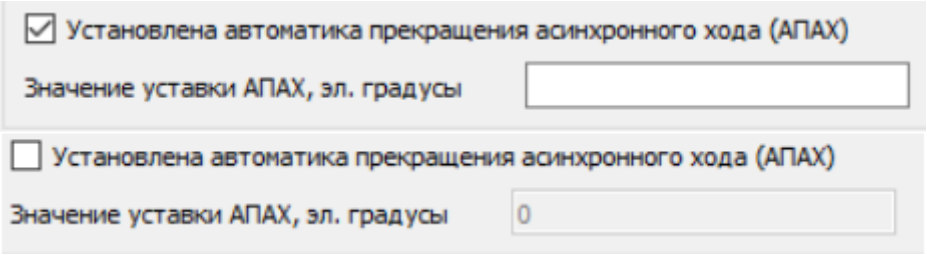


Рис. 4. Флажок во включенном и отключенном состоянии

7. QPushButton, или командная кнопка, нужна для запуска основного кода программы. Принимает сигналы от текстовых полей (4, 5), если они все заполнены, то кнопка становится активной.

Ниже приведен пример апробации по определению ожидаемого срока службы ОПН, установленного в конце электропередачи 220 кВ. Расчетная схема приведена на рис. 5. Исходные данные:

– номинальное напряжение $U_{ном} = 220\ кВ$;

– линия с разрезанными тросами;

– длина линии l=80 км;

– волновое сопротивление линии по прямой последовательности $Zл = 405\ Ом$;

– волновое сопротивление линии по нулевой последовательности $Zл^{(0)} = 820\ Ом$;

– коэффициент изменения фазы по прямой последовательности β=1,0704·10^{-3} рад/км;

– по нулевой последовательности $\beta^{(0)}$=1,6336·10^{-3} рад/км;

– реактивное сопротивление питающей системы в течение года по прямой последовательности меняется от $X_{1макс} = 22\ Ом$ до $X_{1мин} = 17\ Ом$;

– по нулевой последовательности от $X_{1макс}^{(0)} = 19\ Ом$ до $X_{1мин}^{(0)} = 16\ Ом$;

– длительность бестоковой паузы для успешного и неуспешного ТАПВ $t_{апв}$=0,2 с.

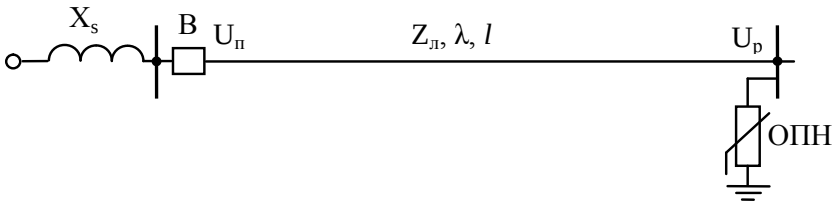


Рис. 5. Расчетная схема электропередачи

Виды коммутаций, являющихся расчетными для схемы (рис. 5), а также их максимальные значения ЭДС приведены ниже:

– S1 плановое включение ненагруженной линии, Емакс=1;

– S2 успешное ТАПВ, $E_{макс}$=1,15;

– S4 трехфазный разрыв электропередачи вследствие ликвидации несимметричного КЗ, $E_{макс}$=1, 2;

– S5 неуспешное ТАПВ, $E_{макс}$=1,15.

Минимальные значения ЭДС системы для всех видов коммутации $E_{мин}$=1.

По методике, приведенной в [1, 2], производится расчет вынужденных напряжений переходных процессов в симметричном режиме. Далее определяется Математическое ожидание ресурса ОПН, расходуемого в течение года, при доверительной вероятности $P_{дов}$=0,98:

$$\overline{T}_{расх} = \sum_{S=1}^{4} N_S \overline{T}_{oS} = N_1\overline{T}_{o1} + N_2\overline{T}_{o2} + N_4\overline{T}_{o4} + N_5\overline{T}_{o5} =$$

$$=0{,}0208 + 0{,}293 + 0{,}00064 + 0{,}00688=0{,}32132 \text{ о.е.}$$

По паспортным данным определяется исходный ресурс для ОПН 220 кВ, который составляет $T_{исх} = 26$ о.е. [5], тогда математическое ожидание срока службы ОПН:

$$N_{сл} = \frac{T_{исх}}{\overline{T}_{расх}} = \frac{26}{0{,}3213} = 80{,}9\ лет.$$

Ожидаемый срок службы значительно выше нормируемого, который составляет 25 лет, из чего можно сделать вывод о высокой надежности работы ОПН в заданной электропередаче.

Выводы: 1. Разработана программа «Расчет ожидаемого срока службы ОПН» на высокоуровневом языке программирования Python 3 по известной методике. Программа предназначена для определения ожидаемого срока службы ОПН 110÷750 кВ, который необходим для проверки надежности работы ограничителей при заданных параметрах электропередачи. Учитываются девять видов коммутаций, тип тросов электропередачи, насыщение трансформаторов и автотрансформаторов.

2. По результатам верификации программы «Расчет ожидаемого срока службы ОПН» на реальном примере схемы электроснабжения было получено, что данная программа позволяет значительно упростить и ускорить процесс расчета для типовых схем электроснабжения, кроме того, повысилась точность определения срока службы ОПН.

Результаты исследований могут быть полезны для эксплуатационных служб районных электрических сетей, а также при проектировании объектов электроэнергетики.

Библиографический список

1. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6 -1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1999. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817904.htm (дата обращения 21.02.2020).

2. Горячкин С. Н. Выбор и расчет ожидаемого срока службы нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических сетях 110÷750 кВ : методические указания. Иваново : УИУНЛ ИГЭУ, 2012. 68 с.

3. Прохоренок Н. А., Дронов В. А. Python 3 и PyQt5. Разработка приложений. СПб. : БХВПетербург, 2016. 832 с.

4. Васильев А. Н. Python на примерах. Практический курс·по программированию. СПб. : Наука и Техника, 2016. 432 с.

5. Басманов В. Г. Современные средства защиты от перенапряжений : учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей всех форм обучения. Киров : ВятГУ, 2019. 224 с. URL: http://lib.vyatsu.ru/WebIrbis/cook3.php?mfn=448659-&mfnBDPER=0-&mfnBDAWS=0-&mfnMARS=0-&Z21ID= (дата обращения 21.02.2020).

Многофункциональный гибридный коммутационный аппарат

И. В. Микрюков [a], В. А. Головенкин [b], М. В. Гунбин [c]
студент группы ЭиЭм-2802-02-00 [a, c]
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация[a, b, c]
E-mail: kaf_ema@vyatsu.ru [a, b, c]

Аннотация. Статья посвящена разработке и исследованию многофункционального гибридного коммутационного аппарата постоянного тока. Многофункциональные коммутационные аппараты (МКА) имеют несомненное преимущество перед традиционным сочетанием отдельных аппаратов, выполняющих те же функции. Уменьшаются массогабаритные показатели, стоимость, снижается трудоёмкость монтажа в комплектных устройствах. Гибридные коммутационные аппараты имеют на порядок большую коммутационную износостойкость. Многофункциональные гибридные коммутационные аппараты – это аппараты нового поколения. Их разработка и создание актуальны.

Разработанный гибридный МКА совмещает функции бездуговой коммутации цепи, защиты коммутируемого объекта от недопустимых по длительности токов перегрузки и токов короткого замыкания, а также позволяет осуществлять связь с ведущим устройством, управляющим режимом работы аппарата и протоколирующим преданные параметры аппарата и защищаемого объекта.

Представлена электрическая схема разработанного гибридного МКА, получены теоретические соотношения, позволяющие рассчитать и запрограммировать времятоковую характеристику срабатывания аппарата для тепловой защиты заданного объекта. Создан опытный образец аппарата, и проведено его экспериментальное исследование. Представлены результаты исследования при отключении номинального режима, при отключении токов перегрузки и короткого замыкания. Проведённое экспериментальное исследование аппарата подтвердило его работоспособность и точность тепловой защиты.

Разработанный аппарат может быть взят за основу создания промышленного образца гибридного МКА.

Ключевые слова: гибридный коммутационный аппарат, силовой полупроводниковый прибор, многофункциональный аппарат, микроконтроллер.

Введение. Коммутация электрических цепей и их защита от аварийных режимов работы осуществляется в настоящее время в большинстве случаев электромеханическими контакторами с тепловым реле и автоматическими выключателями с тепловыми, электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями.

Коммутационная износостойкость контактных аппаратов на порядок меньше, чем механическая ($N_{КОМ} = (1...3) \cdot 10^6$ срабатываний, $N_{МЕХ} = (10...30) \cdot 10^6$ срабатываний) [2, с. 8]. Низкая коммутационная износостойкость обусловлена мощным тепловым воздействием электрической дуги на контакты, что снижает ресурс работы аппарата.

Тепловая защита, выполненная на базе биметаллической пластины, имеет ряд недостатков:

– влияние на температуру биметаллической пластины температуры окружающей среды, которая, ввиду раздельной установки коммутационного аппарата и защищаемого объекта, может значительно отличаться от температуры хладагента в защищаемом объекте, что, в свою очередь, влияет на время срабатывания защиты, вызывая как ложные срабатывания, так и несрабатывания при недопустимой по времени токовой перегрузке;

– невозможность изменить тепловые характеристики биметаллической пластины;

– разница в тепловых характеристиках биметаллической пластины и защищаемого объекта, что, в свою очередь, при даже правильном подборе теплового расцепителя, приводит к ложным срабатываниям.

Современный уровень развития техники и автоматизации производства предъявляет к коммутационным аппаратам требования, которые аппараты классической конструкции не в состоянии выполнить:

– увеличение ресурса работы;

– повышение точности и надёжности тепловой защиты;

– увеличение быстродействия, особенно при отключении аварийных режимов работы;

– улучшение массогабаритных показателей;

– многофункциональность.

Цель данной работы – разработка и исследование коммутационного аппарата, удовлетворяющего современным требованиям.

Задачи данной работы:

– Разработка электрической схемы гибридного многофункционального коммутационного аппарата.

– Разработка методики расчёта времятоковой характеристики срабатывания аппарата для тепловой защиты коммутируемого объекта.

– Экспериментальная проверка точности тепловой защиты при недопустимых по длительности перегрузках и быстродействие защиты при коротком замыкании.

Методы исследования. Решение поставленных задач возможно путём применения современной полупроводниковой техники.

Повышение коммутационной износостойкости контактных коммутационных аппаратов и тем самым увеличение их ресурса и надёжности классическим способом (применение более дугостойких материалов, увеличение эффективности дугогасительных устройств и т. д.) невозможно, так как они уже исчерпали свои возможности. Кардинальным способом увеличения коммутационной износостойкости, которая в настоящее время на порядок меньше механической, является разработка бездуговых контактных коммутационных аппаратов. Создание таких аппаратов возможно путём гибридизации контактной системы и силового полупроводникового прибора (СПП). В таких гибридных коммутационных аппаратах (ГКА) функцию пропускания тока и гальванической развязки коммутируемой цепи выполняют контакты, а функцию коммутации – СПП.

Современные СПП уже имеют такие параметры (предельные коммутируемые ток и напряжение, сопротивление в открытом состоянии, допустимую рабочую температуру и т. д.), которые позволяют им выполнять коммутацию цепи в ГКА не только на малую мощность, но и на среднюю и даже высокую.

В зависимости от схемы включения СПП относительно главных контактов ГКА подразделяются на параллельного, последовательного и параллельно-последовательного типа.

В схеме управления аппарата целесообразно использовать программируемый микроконтроллер. Это позволяет осуществлять сложные алгоритмы управления, а также обеспечить связь с ведущим устройством (персональным компьютером, на котором установлено специализируемое программное обеспечение). Также микроконтроллерное устройство способно обеспечивать слежение за электрическими и неэлектрическими параметрами коммутируемого электрооборудования посредством различных датчиков (датчиков влажности, датчиков температуры, датчиков тока) и аналого-цифровых преобразователей.

Использование микроконтроллера в сочетании с необходимыми датчиками позволяет отказаться от теплового расцепителя. Время протекания недопустимых по длительности токов перегрузки определяется температурой отдельных узлов защищаемого объекта. При превышении температуры допустимых значений происходит аварийный отказ работы защищаемого объекта. Таким образом, непосредственной задачей при тепловой защите является определение температуры отдельных узлов защищаемого устройства: либо прямо, монтированием в узлы датчиков температуры, либо косвенно, измерением протекающего по объекту тока датчиком и последующим расчетом температур с помощью математических моделей нагрева защищаемого объекта.

Результаты исследования, их обсуждение. Авторами статьи был разработан быстродействующий гибридный коммутационный аппарат последовательного типа с косвенным измерением температуры защищаемого объекта. Принципиальная электрическая схема аппарата представлена на рис. 1.

В качестве микроконтроллера используется Atmega-8A, 8-битный микроконтроллер с частотой тактирования 8 МГц. Следящим элементом выступает аналоговый датчик тока фирмы Allegro ACS758, показания которого «оцифровываются» встроенным в микроконтроллер аналого-цифровым преобразователем и программно преобразуются в значения тока нагрузки. Связь персонального компьютера с микроконтроллером осуществляется с помощью последовательного асинхронного интерфейса UART. Для работы на персональном компьютере было написано программное обеспечение, оно позволяет устанавливать режим работы (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный), задавать параметры режима, осуществлять включение и выключение коммутационного аппарата, запрашивать текущее состояние, получать сигналы об аварийном отключении нагрузки.

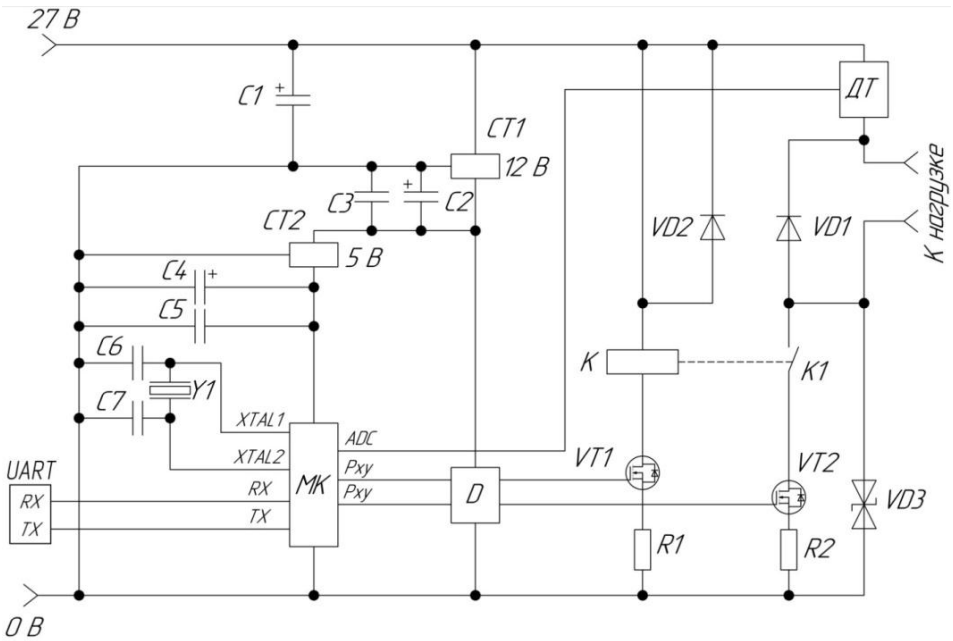


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема аппарата: C1,C2,C4 – электролитические конденсаторы; C3,C5,C6,C7 – керамические конденсаторы; МК – микроконтроллер; CT1 – стабилизатор напряжения 12В; CT2 – стабилизатор напряжения 5 В; Y1 – кварцевый резонатор; D – драйвер; ДТ – датчик тока; VD1,VD2 – обратно-включенные диоды; VD3 – TVS супрессор; K – катушка электромагнита контактора; K1 – контакты; VT1 – транзистор, замыкающий цепь катушки электромагнита; VT2 – силовой транзистор; R – измерительный резистор тока катушки; R2 – измерительный резистор тока нагрузки; UART – асинхронный интерфейс

Расчет температуры микроконтроллером ведется косвенным методом, используя математическую модель на основе уравнения теплового баланса защищаемого объекта

$$I^2 \cdot K \cdot dt = T \cdot d\tau + \tau \cdot dt, \qquad (1)$$

где I – ток защищаемого объекта, А;

К – коэффициент, зависящий от параметров токопровода защищаемого объекта.

$$K = \frac{r_{20}}{K_т \cdot S_0}, \qquad (2)$$

где r_{20} – электрическое сопротивление токопровода при температуре окружающей среды, Ом;

S_0 – поверхность охлаждения, м^2;

$К_т$ – коэффициент теплоотдачи токопровода, Вт/(м^2·^{o}С);

τ – превышение температуры токопровода над температурой окружающей среды, ^{o}С.

$$\tau = \theta - \theta_0, \quad (3)$$

где T – постоянная времени теплового процесса, с.

$$T = \frac{c \cdot m}{K_\tau \cdot S_0}, \quad (4)$$

где c – удельная теплоемкость материала токопровода, Вт·с/(кг·°С);

m – масса токопровода, кг.

Для осуществления расчета температуры микроконтроллером в реальном времени производится переход от дифференциального исчисления к малым приращениям Δt и Δτ.

Для задания Δt используется таймер/счетчик микроконтроллера. Приращение температуры Δτ за время Δt, °С:

$$\Delta\tau = \frac{(I^2 \cdot K - \tau) \cdot \Delta t}{T}. \quad (5)$$

В начальный момент включения аппарата превышение температуры, $\tau=\tau_0=0$.

Далее спустя время Δt,

$$\tau=\tau_0+\Delta\tau. \quad (6)$$

В общем виде превышение температуры в момент времени t_i

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \Delta\tau_i, \quad (7)$$

где $\Delta\tau_i$ – приращение температуры в момент времени t_i.

$$\Delta\tau_i = \frac{(I_н^2 \cdot K - \tau_{i-1}) \cdot \Delta t}{T}. \quad (8)$$

Программное обеспечение позволяет использовать как заданные параметры K, T, $\tau_{доп}$, так и рассчитанные либо по времятоковой характеристике, либо по параметрам защищаемого объекта ($\tau_{доп}$, r_{20}, $K_т$, S_0, c, m).

Технические характеристики коммутационного аппарата представлены в табл. 1. Времятоковая характеристика аппарата представлена на рис. 2.

Таблица 1

Технические характеристики контактора

Номинальный ток, А	20					
Номинальное напряжение, В	27					
Реализуемые режимы	Продолжительный, кратковременные, повторно-кратковременный					
Время срабатывания при различных кратностях тока, с	$1 \cdot I$	$1{,}33 \cdot I$	$1{,}45 \cdot I$	$2 \cdot I$	$2{,}55 \cdot I$	$3 \cdot I$
	∞	246,1	30,55	12,57	7,14	5
Реализуемые виды защит	Перегрузка по току					

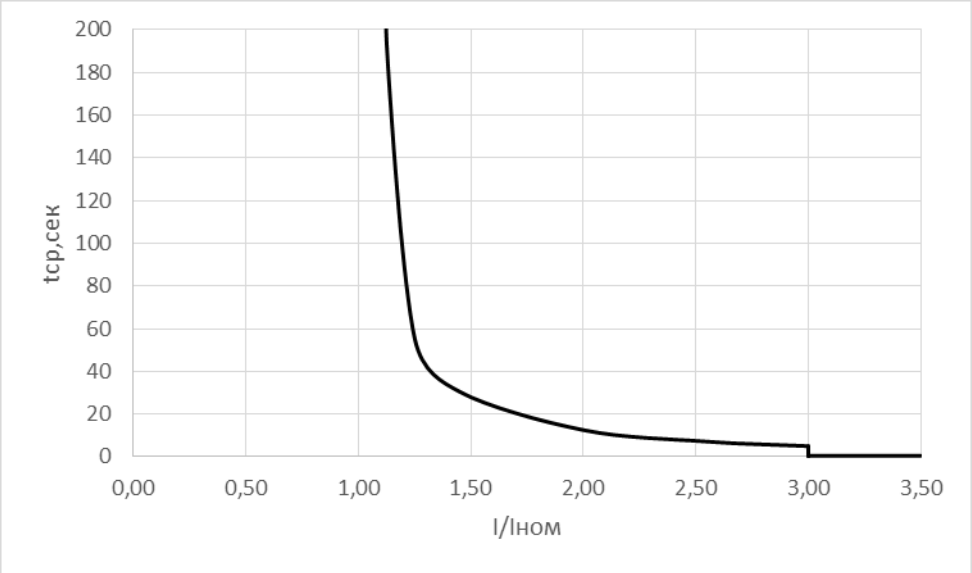


Рис. 2. Времятоковая характеристика аппарата

Проведены испытания аппарата в номинальном и в аварийных режимах работы. На рис. 3 приведена осциллограмма коммутации активно-индуктивной нагрузки с током 20 А и постоянной времени 1 мс.

Для проверки работы аппарата в аварийных режимах производилось внезапное короткое замыкание. Осциллограмма отключения короткого замыкания представлена на рис. 4. Время отключения короткого замыкания составило 30 мкс. Пиковый ток составил 95 А.

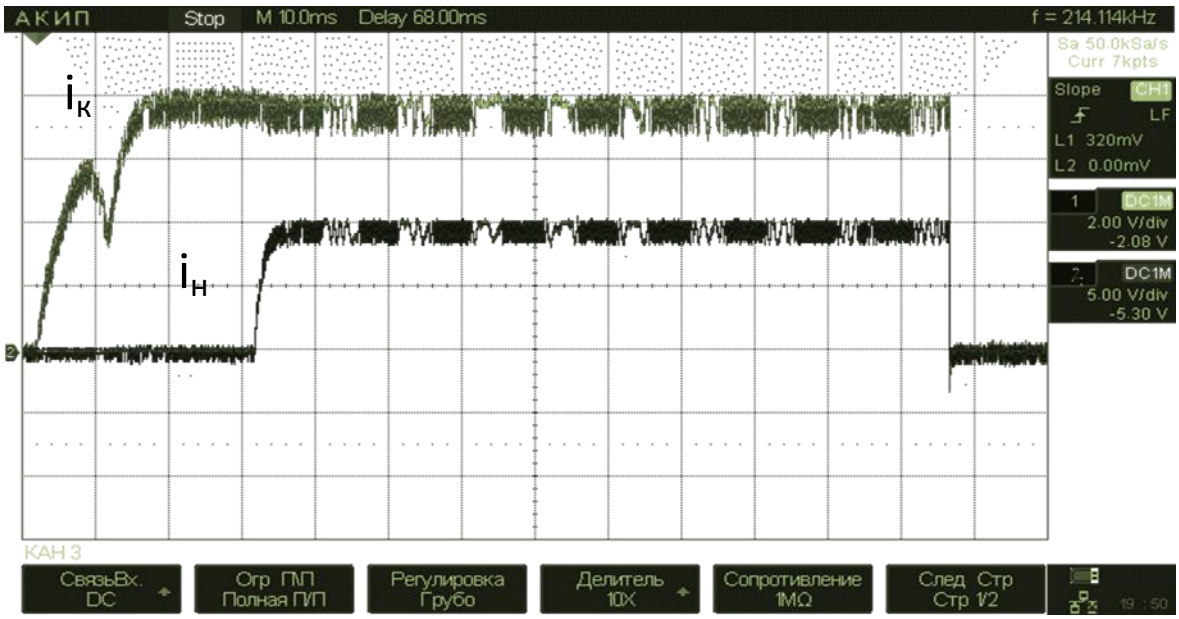


Рис. 3. Осциллограммы тока активно-индуктивной нагрузки и тока катушки контактора

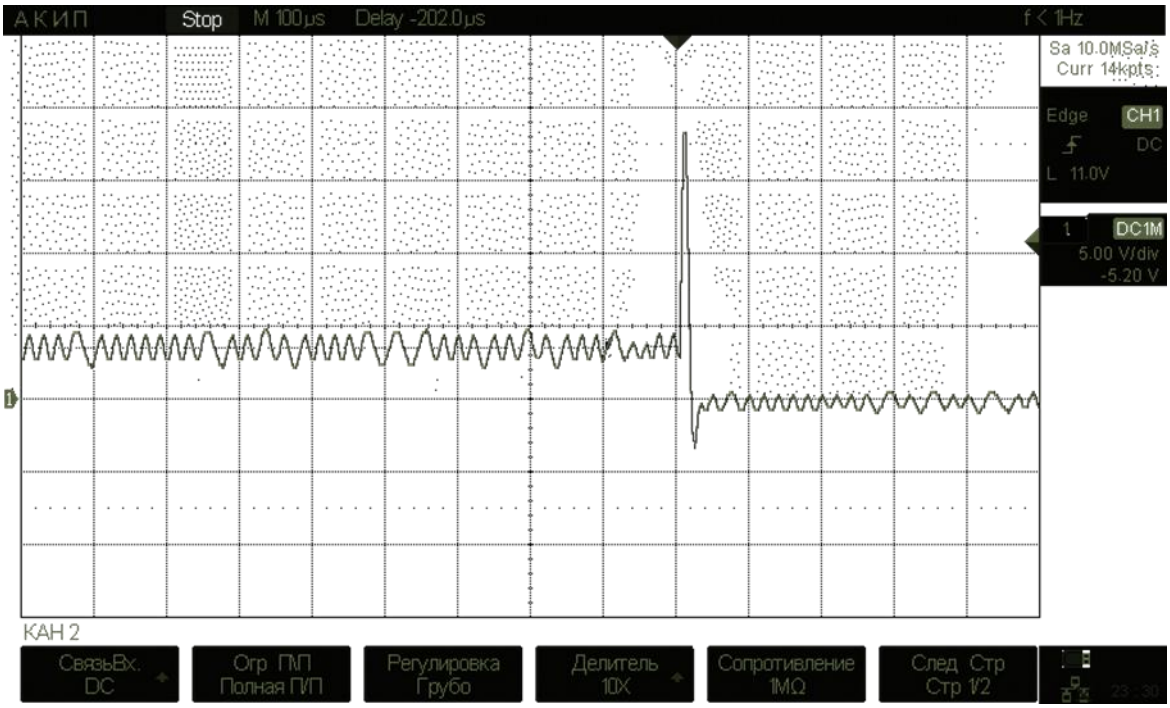


Рис. 4. Осциллограмма отключения короткого замыкания

При испытаниях тепловой защиты производились измерения времени отключения контактором активной нагрузки с током кратностью 1,13; 1,45; 2; 2,55; 3 от номинального. Полученные практические значения, теоретические значения и их погрешность приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний тепловой защиты

Кратность тока	Абсолютная величина тока, А	Теоретическое время отключения, с	Практическое время отключения, с	Погрешность, %
1,13	22,6	246,1	247,50	0,57
1,45	29	30,55	30,64	0,29
2	40	12,57	12,65	0,64
2,55	51	7,14	7,19	0,68
3	60	5	5,02	0,4

Погрешность времени отключения относительно теоретических значений составляет менее 1%.

Выводы. 1. Разработана электрическая схема гибридного многофункционального коммутационного аппарата, работоспособность которого подтверждена экспериментально.

2. Разработана методика расчёта времятоковой характеристики срабатывания аппарата для тепловой защиты коммутируемого объекта.

3. Экспериментально подтверждена высокая точность тепловой защиты при недопустимых по длительности перегрузках и быстродействие защиты при коротком замыкании.

Библиографический список

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel». М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.

2. ГОСТ 11206-77. Контакторы электромагнитные низковольтные. Общие технические условия (с изменениями № 1, 2): принят 29.12.77; действует с 01.01.79 : Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР № 3134. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-11206-77 (дата обращения 29.2.2020).

Причины несчастных случаев с преподавателями и обучающимися высших учебных заведений

С. А. Михайловская [a], А. С. Матюнина [b]
старший преподаватель кафедры промышленной безопасности и инженерных систем [a]
студент группы ТХОб-4801-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00847@vyatsu.ru [a], smm12@mail.ru [b]

Аннотация. По данным статистики, в двух из трех несчастных случаев главным виновником является не техника, не технологический процесс, а сам работающий человек, который по тем или иным причинам не соблюдал правила безопасности, нарушал нормальное течение трудового процесса, не использовал предусмотренные средства защиты и т. п. Человек никогда без повода не станет стремиться к травме. Такие случаи происходят или по независящим от человека причинам, или когда его побуждают к нарушению правил определенные обстоятельства. Очевидно, чтобы предупредить появление подобных происшествий, нужно, прежде всего, выявить эти побудители и по возможности уменьшить их воздействие.

Данная статья посвящена рассмотрению основных причин несчастных случаев в высших учебных заведениях. Причины несоблюдения требований по охране труда давно всем известны, они имеют свои особенности и проблемы, но информация о них практически не обсуждается в центральной прессе. В высших учебных заведениях фиксируются легкие, тяжёлые, и смертельные травмы вследствие несоблюдения преподавателями и обучающимися требований охраны труда, а также по причинам, присущим только учебным заведениям, когда учебный процесс сопряжён с определенным риском получения травм и увечий.

Ключевые слова: несчастные случаи с преподавателями и студентами, причины несчастных случаев.

Цель статьи – обсудить положение с охраной труда в высшей школе и основные причины несчастных случаев и предложить возможные пути выхода из него. У многих поколений руководителей и профессорско-преподавательского состава бытует мнение: требования охраны труда в учебном процессе не заслуживают особого внимания и обязательного выполнения. По их мнению, какие могут быть травмы в учебном заведении, ведь в них практически отсутствуют опасные и вредные факторы: отравление сильнодействующими ядовитыми веществами, поражение электрическим током, скопление станков, оборудования, движущиеся части машин и оборудования и т. д., следовательно, не может быть и травм. Обстоятельства несчастных случаев показывают случайность травм и многообразие причин.

Среди основных причин травматизма, снижающих эффективность работы в области охраны труда и безопасности в университете, можно выделить две группы: организационные (организация управления) и финансово-технологические.

Среди организационных причин рейтинг выглядит следующим образом: низкий уровень требовательности со стороны руководителей среднего и первичного звена управления в части соблюдения подчинёнными требований охраны и безопасности труда; отсутствие приоритета соблюдения требований охраны и безопасности труда у большинства работников; неукомплектованность штата и низкий уровень заработной платы в службах охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Среди финансово-технологических причин: отсутствие программ перехода на современную технологическую базу и прогрессивное оборудование в травмоопасные учебных и вспомогательных процессах; формализм в обучении безопасным приёмам и методам труда, ограниченное применение современных учебных технологий; закупка спецодежды, спецобуви и других СИЗ (средства индивидуальной защиты) низкого качества и по более низкой цене; низкое качество периодических медицинских осмотров, недостаток финансовых средств на охрану труда (в рамках установленных типовых норм и нормативов).

Некоторые преподаватели считают, что если он профессор, кандидат или доктор наук, то может и не соблюдать требования по охране труда. Можно услышать, что они проработали в вузе по тридцать лет, читают лекции, ведут практические и лабораторные занятия, но ни разу от них никто не требовал соблюдать «какую-то охрану труда», они никогда не проходили инструктажи на рабочем месте, не проводили инструктажи с обучающимися, да и «вообще охрана труда – не их дело, а все отделы в вузе существуют за счёт учебного процесса». Но кто же будет отвечать, если студент их группы на практике в полевых условиях получит травму? Любой из преподавателей, не задумываясь, скажет: «Конечно же, сотрудники отдела охраны труда, а несчастные случаи, действительно, со многими студентами были, но я к ним никакого отношения не имею». Так ли это на самом деле?

Согласно ТК РФ (Трудовой кодекс Российской Федерации) от 30.12.2001 № 197-ФЗ [1], ответственность за создание условий, гарантирующих охрану здоровья обучающихся во время образовательного процесса, несёт руководи-

тель организации, осуществляющей образовательную деятельность. В должностные обязанности педагогических работников входит обеспечение охраны жизни и здоровья обучающихся в период образовательного процесса [2].

Профессиональным и моральным качествам педагогических работников посвящена отдельная глава 52 ТК РФ [1], что подчёркивает значимость обеспечения сохранения жизни и здоровья обучающихся во время образовательного процесса. Деятельность работника проявляется в трудовых отношениях, где активные и определяющие участники – работодатель и работник. Сочетание прав и обязанностей работника и работодателя определено в ТК РФ. В статье 214 ТК РФ [1] прописано, что работник обязан соблюдать требования по охране труда и обеспечению безопасности труда, проходить инструктажи по охране труда, обучение безопасным методам и приёмам выполнения работ, проверку знаний требований охраны труда.

Работодатель предупреждает работника о рисках, проводит инструктажи по охране труда, бесплатно предоставляет средства индивидуальной и коллективной защиты, обучает безопасному выполнению работ, страхует при наступлении последствий при несчастном случае.

Несчастным случаям подвержен прежде всего тот, кто не делает того, что он может, и берётся за то, чего не понимает; делает, а потом думает; довольствуется поверхностным взглядом на всё; беспечен, небрежен в работе; не обращает внимания на кажущиеся «мелочи»; не понимает, что жертвами несчастных случаев бывают чаще всего те, кто считает травму результатом цепи «случайностей».

В течение учебного года должностное лицо (руководитель структурного подразделения) говорит об опасностях в своём структурном подразделении. Ни ему, ни СОТ (специалист по охране труда), ни работодателю не обеспечить абсолютной безопасности работников. После происшествий абсолютную безопасность требуют пострадавшие или родственники погибших.

Системой управления охраной труда (СУОТ) работодатель предвидел опасность, а дальше работник выполнил безопасные действия. В действитель-

ности многие работники не выполняют свои обязанности и не обеспечивают личную безопасность.

Основные причины, которые приводят к несоблюдению требований охраны труда

Социальная недальновидность. Отсутствие мотивации у профессорско-преподавательского состава соблюдать требования охраны труда, т. е. нет системы побудительных причин поведения человека, отсутствует внутреннее субъективно-личностное побуждение к действию и осознанная заинтересованность в его совершении.

От личной мотивации всех ответственных исполнителей и студентов зависит проведение учебного процесса без инцидентов и несчастных случаев. Для этого необходима постоянная и длительная воспитательная работа и контроль за соблюдением требований охраны труда.

Противоречия в законодательстве об охране труда. Статья 216 ТК РФ [1] устанавливает, что охраной труда управляет государство посредством издания федеральных законов и иных нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти.

Для обеспечения безопасности профессорско-преподавательского состава и обучающихся необходимо соблюдать требования законов и подзаконных актов, изданных на федеральном, министерском, региональном уровнях. В статье 211 ТК РФ [1] заложены основы нормативной базы охраны труда, которые являются обязательными для исполнения юридическими и физическими лицами при осуществлении ими любых видов деятельности. Сложность заключается в том, что административные процедуры, законодательная база постоянно меняются. Бесконечное множество толкований нормативно-правовых актов создаёт неразбериху, подзаконные акты носят рекомендательный характер и не выполняются на местах.

Недостатки «нормотворчества». Одна из основных обязанностей специалиста по охране труда – помогать руководителям и специалистам разбираться в НПА (нормативный правовой акт). Главные недостатки разработанных

НПА по охране труда: во многих актах не дано определение терминов; определение некоторых терминов не конкретизировано, некоторые требования изложены в различных частях одного и того же или разных НПА с различной смысловой нагрузкой и т. д.

Квалификационные требования СОТ. Отсутствие в правовом поле каких-либо чётких обязательных критериев по определению функциональных обязанностей специалистов по охране труда, полное отсутствие знаний и заинтересованности работодателей в правильной организации их работы, отсутствие внимания к этим вопросам представителей органов государственного надзора и контроля, Минтруда России (Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации) породили повсеместное неуважительное и нерациональное отношение к этой категории работников на предприятиях, в организациях, вузах.

Статус службы. В иностранных компаниях служба охраны труда имеет крайне высокий статус. Её функции и полномочия достаточно велики. Работать в охране труда престижно. На отечественных же предприятиях до сих пор распространено мнение о бездеятельности и бесцельности данной службы. От правильной работы СОТ с людьми немало зависит риск повреждения здоровья, ведь фактически в его силах предотвратить немало бед. На специалиста по охране труда сегодня повсеместно возлагают совершенно не свойственные ему исполнительские функции в области промышленной, пожарной безопасности, электробезопасности, охраны окружающей среды.

Успех внедряемой системы управления охраной труда зависит от правильно распределённых функциональных обязанностей по охране труда и действительного участия в этой работе всех её звеньев.

Существенная часть работы СОТ состоит в организации работы общественности по охране труда, так как без помощников не справиться. Главные помощники – комиссия (комитет) по охране труда и общественные инспекторы по охране труда (уполномоченные по охране труда профсоюза), но общественные структуры в большинстве высших учебных заведений нежизнеспособны и «работают» лишь на бумаге и для отчётов.

Без профсоюзов не может быть построена процветающая экономика, без них не может нормально протекать и нравственная жизнь страны. Ущерб был нанесен с упразднением института общественных инспекторов, которые (наряду с государственными) осуществляли контроль за соблюдением требований охраны труда и, в частности, выявляли сокрытые несчастные случаи.

Государственный надзор за соблюдением прав работников на охрану труда. Практически не проводятся проверки по охране труда в высших учебных заведениях ни на прокурорском, ни на муниципальном уровнях.

В результате ГИТ (государственный инспектор по труду) или технического инспектора труда профсоюзов теперь можно встретить в университете крайне редко.

Безусловно, государство обязано защищать права человека на труд. Только мерами реагирования на выявляемые нарушения законодательства можно выработать ответственность за соблюдение законов.

Несчастные случаи с обучающимися. По статистике, травматизм в сфере образования значительно ниже, чем в других отраслях экономики. Но сколько случаев осталось вне поля зрения! Самыми травмоопасными в вузах являются кафедры физической культуры и те кафедры, где студенты проходят производственную практику на предприятиях, и практические занятия в полевых условиях. В учебных заведениях наблюдается массовое сокрытие несчастных случаев.

Во время проверок учебных заведений государственные инспекторы труда по охране труда не проверяют в муниципальных и студенческих поликлиниках журналы регистрации поступающих пациентов и не выявляют травмированных студентов.

Вопросы обучения. Среди основных причин травматизма и профессиональной заболеваемости – недостаточная обученность руководителей и персонала по вопросам безопасности, неблагоприятные условия труда, связанные с неудовлетворительным состоянием материально-технической базы, и слабый контроль со стороны администрации за соблюдением персоналом требований охраны труда и производственной санитарии.

Установившиеся в обществе многие десятилетия (негласно) штампы и клише, что от охраны труда, мол, нет никакой пользы, а одни расходы, до сих пор не изжиты из сознания работников и руководителей.

С 1 января 2015 года вступила в силу статья 5.27.1 ч. 3 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях (далее – КоАП РФ) [3] «Нарушение государственных нормативных требований охраны труда, содержащихся в федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации», которая предусматривает весьма серьезную (в денежном выражении) ответственность за допуск работника к исполнению им трудовых обязанностей без прохождения в установленном порядке обучения и проверки знаний требований охраны труда.

Одновременно с вступлением в силу Закона о специальной оценке условий труда с 1 января 2014 года вступили в силу поправки к Федеральному закону «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» № 125-ФЗ[4]. Федеральный закон № 125-ФЗ установил размер страховой выплаты в случае смерти застрахованного лица не равным «максимальной сумме», установленной законом о бюджете ФСС РФ на очередной финансовый год (в 2015 году эта сумма равна 84964,2 рубля), а равным одному миллиону рублей.

Финансирование мероприятий по охране труда. В соответствии с статьёй 226 ТК РФ [1] финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда работодателями осуществляется в размере не менее 0,2 процента суммы затрат на производство продукции (работ, услуг). Действующие законодательные и нормативные правовые акты по охране труда не отражают конкретного механизма финансово-экономической деятельности по охране труда.

Согласно приказу Минздравсоцразвития России (Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации) от 01.03.2012 № 181н [5], предусмотрены вопросы планирования мероприятий, включаемых в коллективные договоры и соглашения по охране труда. Но порядок финансирования этих мероприятий не отражён.

На какие суммарные средства рассчитываются мероприятия по охране труда, ни один руководитель подразделения не знает и не может обсуждать приоритеты финансирования. Поэтому завершают работу над этими процедурами информированные плановики-экономисты.

В соответствии с требованиями пункта 2.2.4. постановления Минтруда РФ, Минобразования РФ от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций» [6] работодатель организует проведение периодического, не реже одного раза в год, обучения работников рабочих профессий оказанию первой помощи пострадавшим. Вновь принимаемые на работу проходят обучение по оказанию первой помощи пострадавшим в сроки, установленные работодателем, но не позднее одного месяца после приема на работу. Обучение требует от всего коллектива осознанной ответственности, но это часто выполняется не в полном объёме.

Нахождение детей одновременно с родителями на рабочем месте. Закрытие и сокращение детских садов, культурно-досуговых, спортивных, творческих и других детских учреждений приводит к тому, что родители зачастую из-за сложившейся экономической ситуации вынуждены брать с собой на работу детей, что порой заканчивается трагедией.

Ни ТК РФ, ни правила внутреннего трудового распорядка университета не запрещают приводить ребёнка на работу.

Практически во всех правилах по охране труда существует запрет на допуск на производственную территорию посторонних лиц, а также работников, не занятых на работах на данной территории. Требования обусловлены прежде всего тем, что высок уровень травматизма на рабочих местах, где имеются опасные и (или) вредные факторы производственной среды и трудового процесса. Любой организации необходимо оценивать риски нахождения на её территории посторонних, имеющих доступ к месту выполнения работ детей.

Руководству высших учебных заведений, первичной профсоюзной организации необходимо дополнить правила внутреннего распорядка запретом приводить детей на работу.

Нарушение правил внутреннего трудового распорядка. Университетскую жизнь регулируют внутренние правила, которые необходимо соблюдать каждому универсанту – от первокурсника до почетных профессоров. Они содержатся в уставе любого университета и других ЛНА (локальный нормативный акт). Их нарушение может обернуться ситуацией, несущей реальную угрозу для жизни и здоровья. Пренебрежение навыками внутреннего распорядка становится поводом к возникновению опасных для окружающих ситуаций.

Один из таких инцидентов произошел 9 сентября 2019 г. Вечером в одном из общежитий СПбГУ загорелся мусоропровод, в результате чего один из этажей заволокло едким дымом. Причинами возгораний становятся непотушенные окурки, хотя курение на территории университета запрещено, или подожженная бумага, которую некоторые из проживающих ради шутки выбрасывают прямо в трубу [7].

Важно систематически проводить со студентами профилактическую работу, чтобы предотвратить поведение, которое может нести риск для всех остальных обучающихся.

Сокрытие несчастных случаев. Нравственная составляющая до сих пор остаётся в тени и не раскрыта до конца. Проблема скорее замалчивается, не рассматривается как человеческая трагедия. Преобладает мнение, что «он сам виноват» – пострадавший. Сокрытие несчастных случаев – это деградация и профанация охраны труда. В сокрытии истинного положения дел невольно помогают сами пострадавшие. Поскольку им, помимо выплат из ФСС РФ, требуются ещё и дополнительные средства на восстановление здоровья, выгоднее сказать правду – где получено увечье. Пострадавшему приходится выбирать: если предприятие признает этот случай как связанный с производством и расследует его, работник сможет лечиться за счёт средств ФСС РФ (Фонд социального страхования Российской Федерации), если все останется шито-крыто, работник будет вынужден выкладывать деньги за лекарства из собственного кармана.

Открытость данных о травматизме в быту и на работе оставляет желать лучшего, и работники продолжают работать в условиях «приемлемого риска».

В статистику обычно попадают только те несчастные случаи, сообщения о которых присылают работодатели. ФСС РФ, в свою очередь, считает только застрахованных.

В России низкие стандарты требований по охране труда. Уголовные дела даже по фактам громких несчастных случаев обычно ничем серьёзным для виновных лиц не заканчиваются.

Любой преподаватель и студент должен учиться постоянно, у всех, не забывая, что каждая ситуация и несчастный случай несут новые проблемы. Только за счёт правильного обучения можно трансформировать человека, поднять его уровень самосознания, мобилизовать здравый смысл, научить разумной предусмотрительности

Проблема безопасности труда далека от разрешения. Основная причина – в недостаточности реальных мер обеспечения безопасности.

Редко можно найти такие организации, предприятия, учреждения, где правила по охране труда соблюдались бы полностью и постоянно. В то же время ситуация у всех разная и обобщения вряд ли помогут. Подход должен быть всесторонним и индивидуальным в каждой организации.

Библиографический список

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019), ст. 212, 214.

2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (ред. от 27.12.2019), ст. 48.

3. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 15.01.2016), часть 3.

4. Федеральный закон от 24.07.1998 № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» ст. 11, п. 2.

5. Приказ Минздравсоцразвития России от 01.03.2012 № 181н «Об утверждении Типового перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда и снижению уровней профессиональных рисков».

6. Постановление Минтруда РФ, Минобразования РФ от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».

7. spbu.ru news- events/novosti/kogda- shalost…slychayu (22.01.2020).

Методика проведения тяговых испытаний на активированном топливе

М. В. Мотовилова [a], Е. Д. Петухович [b]
аспирант кафедры машин и технологии деревообработки [a]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a]
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь [b]
E-mail: mv_motovilova@vyatsu.ru [a], eg.610or@yandex.by [b]

Аннотация. Основная часть транспортных средств, используемых в современной промышленности, оснащена дизельным двигателем. Для выполнения поставленных задач и получения высоких результатов к двигателю предъявляются определенные требования: мощность, высокая производительность, экологическая безопасность. Работа двигателя на активированном топливе позволяет выполнить данные требования. В статье рассмотрены вопросы о необходимости применения активированного топлива, представлено устройство для активации топлива, а также результаты экспериментальных исследований работы топливоподающей аппаратуры на данном виде топлива, обосновано проведение тяговых испытаний трактора на активированном топливе, приведена методика проведения тяговых испытаний в соответствии с ГОСТ 7057-2001. По результатам тяговых испытаний определяются эффективные и экологические показатели работы дизельного двигателя. Работа двигателя на активированном топливе не приводит к снижению КПД и увеличению расхода топлива, давление нарастает постепенно, двигатель работает мягко.

Ключевые слова: тяговые испытания, методика, активированное топливо, эффективные показатели.

В современной промышленности широко используется наземный транспорт, значительная часть которого оснащена дизельным двигателем. В процессе эксплуатации к двигателю предъявляются высокие эксплуатационные и экологические требования по эмиссии отработавших газов. На протяжении достаточно длительного времени проводятся исследования по улучшению рабочего процесса дизельного двигателя [1]. В настоящее время в Вятском государственном университете (ВятГУ) при сотрудничестве с Белорусской государственной сельскохозяйственной академией (БГСХА) также проводятся исследования по данному направлению [2, 3].

Дополнительное тепловое воздействие на топливо перед подачей его в форсунку положительно сказывается на его физико-механических свойствах. Активация топлива достигается локальным воздействием на топливопровод высокого давления, при этом не происходит нагрев остальной системы питания. Нагреваемый объем топлива равен объему цикловой подачи. Вязкость топлива при этом значительно снижается. При подаче активированного топлива в фор-

сунку его распыливание происходит на более мелкие фракции и топливовоздушная смесь перемешивается интенсивнее, при этом характеристики впрыскивания активированного топлива меняются.

Проведенные экспериментальные исследования топливоподающей аппаратуры (ТПА) позволяют сделать вывод о ее работоспособности и соответствии с техническими требованиями ГОСТ 10579-2017 «Форсунки дизелей. Технические требования и методы испытаний» [5]. Топливная форсунка удовлетворяет основным требуемым параметрам при работе на активированном топливе. При испытании форсунки использовался стенд M107-CR [4].

Экспериментальные исследования дизельного двигателя проводились на испытательном стенде RAPIDO SAK N670 с балансирной маятниковой машиной, который был оборудован приборами и устройствами для определения эффективных и экологических показателей работы двигателя на активированном топливе [5, 6].

Следующим этапом исследования работы дизельного двигателя является его испытание при работе на активированном топливе в полевых условиях. Для оценки его основных показателей предполагается провести испытание двигателя на тракторе «Беларус-922» (рис. 1).

Тяговые испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» [7]. Методика проведения испытаний по ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» [8]. Метеорологические условия должны соответствовать параметрам данного ГОСТа. Температуру и относительную влажность воздуха определяют с помощью психрометра. Скорость и направление ветра по отношению к движению машины определяют на высоте 1,5 м от поверхности почвы [8].

Измеренные метеорологические показатели либо данные с ближайшей метеорологической станции фиксируются в протоколе испытаний.

Рис. 1. Внешний вид трактора Белорус-922

Для испытания выбирается ровный горизонтальный участок поля длиной 200 м, допускается небольшой продольный и поперечный уклон (1% и 3% соответственно). Участок поля размечается вешками на основной и вспомогательные участки (рис. 2).

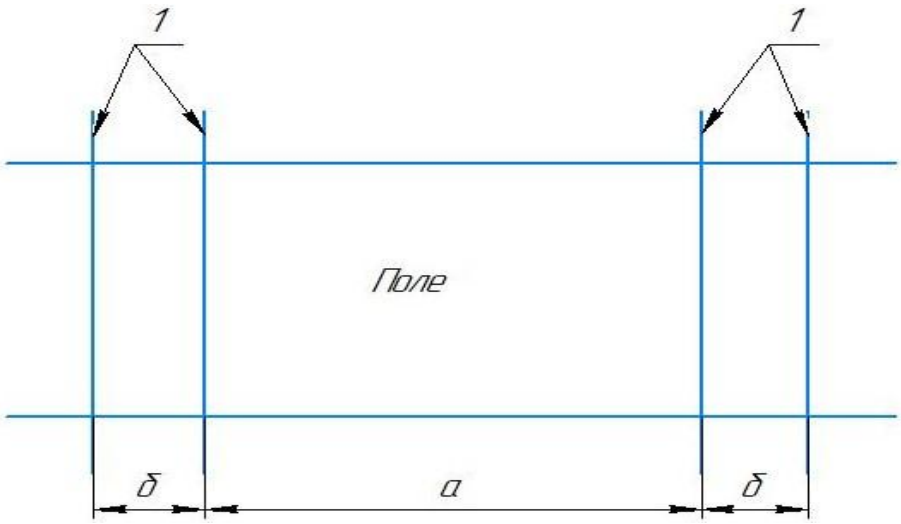


Рис. 2. Схема разметки участка поля (1 – вешки, а – участок измерения, б – вспомогательный участок)

Перед испытаниями трактор должен пройти обкатку в соответствии с рекомендациями изготовителя. Комплектация трактора должна соответствовать руководству по эксплуатации завода-изготовителя. Тяговые испытания колесных тракторов следует проводить при комплектации шинами основного типо-

размера. Давление воздуха в передних и задних колесах устанавливается согласно нормативно-технической документации на данный трактор. При тяговых испытаниях используемое дизельное топливо должно соответствовать ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия» [9]. Скорость движения трактора должна соответствовать его руководству по эксплуатации при испытаниях и обеспечивать стабильный режим работы. Тяговая характеристика снимается на второй и третьей передаче первого диапазона. Загрузка трактора осуществляется навесным оборудованием (плугом) через динамометрическую автосцепку с многоканальным измерительным усилителем.

При проведении тяговых испытаний на активированном топливе к штатной топливной системе трактора добавляется система локального индукционного нагрева топлива [11]. Данное устройство позволяет получить нагрев топлива перед форсункой на линии топливопровода высокого давления (рис. 3).

Рис. 3. Индукционный нагреватель

Схема участка топливной системы при использовании активированного топлива представлена на рис. 4.

При проведении исследования необходимо обеспечить прогрев двигателя до рабочей температуры в пределах 85–95 °С. Испытания проводятся при атмосферном давлении 748 мм рт. ст. и температуре окружающего воздуха 23±7 °С. Скорость движения трактора при испытаниях не должна превышать границ безопасности (35 км/ч).

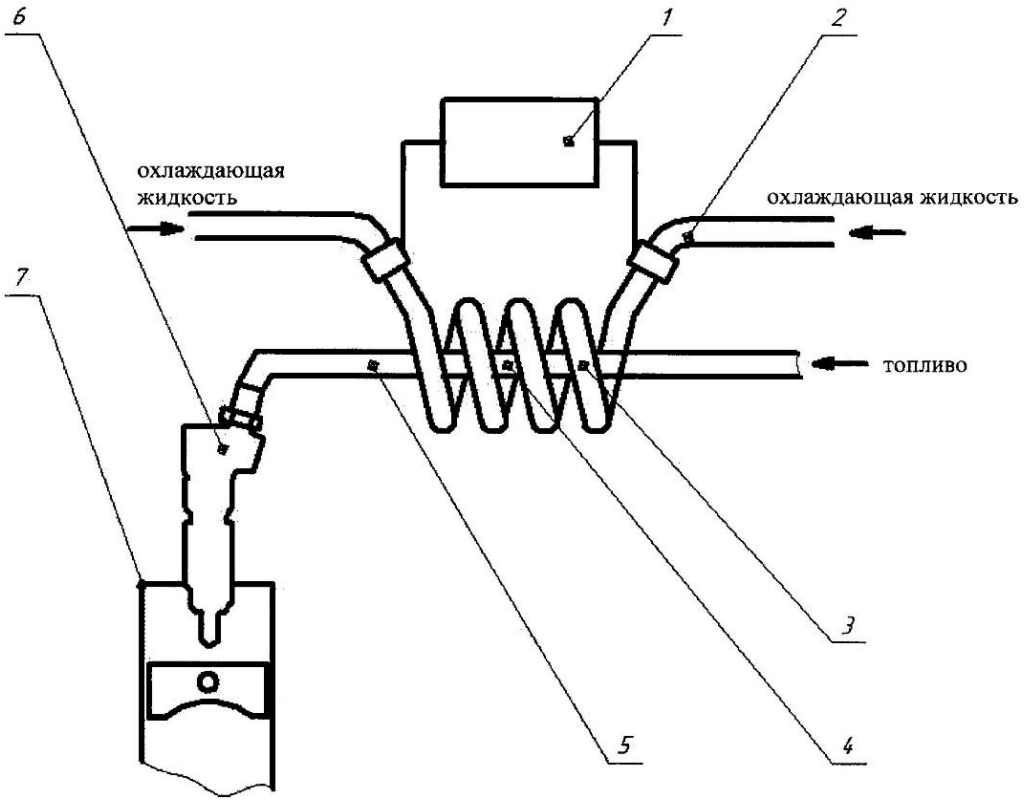


Рис. 4. Схема участка топливной системы (1 – индукционный нагреватель, 2 – индуцирующий провод, 3 – катушка индуктивности, 4 – теплообменник, 5 – топливопровод высокого давления, 6 – форсунка, 7 – головка блока цилиндров)

Трактор разгоняется на вспомогательном участке, проходит участок измерения и следующий второй вспомогательный участок без торможения и останавливается у вешки в конце второго участка. При движении трактора на всем участке измерения фиксируются требуемые показания по измерительным приборам. После фиксации показаний трактор разворачивается за пределами вспомогательного участка. Опыт повторяется в обратном направлении движения трактора. После снятия всех показаний в процессе испытаний производится расчет по ГОСТ Р 52777-2007 «Методы энергетической оценки» [10].

Выводы:

1. Применение активированного топлива не оказывает заметного влияния на работоспособность форсунок и системы питания дизельного двигателя [4].

2. Оптимальный угол опережения впрыскивания топлива при работе двигателя на активированном дизельном топливе составляет 22° до в.м.т.

3. Возможно снижение эмиссии отдельных токсических компонентов в отработавших газах при работе дизельного двигателя.

Библиографический список

1. Ассад М. С., Пенязьков О. Г. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент. Минск : Беларусь, Наука, 2010. 305 с.

2. Исследование показателей работы дизеля с термофорсированием / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, В. Ф. Атаманюк // Журнал Вестник Марийского государственного университета. 2015. С. 39–43.

3. Анализ процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля с предварительной термической подготовкой топлива / С. А. Плотников, Ш. В. Бузиков, А. Л. Бирюков // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 3 (27). С. 114–124.

4. Исследование эффективных показателей тракторного дизеля при работе на активированном топливе / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, М. В. Мотовилова // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2019. № 4 (127). С. 179–186.

5. Оценка регулировочных показателей дизеля при высокотемпературном воздействии на ДТ / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников, М. В. Мотовилова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. Т. 4. № 44. С. 131–136.

6. Токсичность отработавших газов дизелей : монография / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов М. : МГТУ им. Э. Баумана, 2002. 378 с.

7. ГОСТ 7057-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний : принят : принят 01.11.2001 ; действ. 01.01.2003. М. : Госстандарт России, 2001. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200030186 (дата обращения 05.03.2020).

8. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний : принят 29.11.2011 ; действ. 01.01.2013. ФГНУ «РосНИИТиМ», 2011. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200094197 (дата обращения 05.03.2020).

9. 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 05.03.2020).

10. ГОСТ Р 52777-2007 Методы энергетической оценки : принят 13.11.2007 ; действ. 07.01.2008. М. : ФГНУ «РосНИИТиМ», 2008. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200057686 (дата обращения 05.03.2020).

11. 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. 7 с.

Особенности планирования энергосервисного контракта в сетях уличного освещения на основе методики расчета размера экономии электроэнергии

А. Н. Ожегов [a], В. В. Шаповалова [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения [a]
студент группы ЭиЭм-1801-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-maill: ojegov@vyatsu.ru [a], shapovalovalera33@gmail.com [b]

Аннотация. Актуальность темы обосновывается снижением потребления электроэнергии, что положительно влияет на экологию, а также необходимостью стимулировать инновационное развитие технологий в сфере энергосбережения и их внедрение в повсеместное использование. Объектом исследования принят энергосервисный контракт в сетях уличного освещения. Цель статьи – выявление особенностей планирования энергосервисного контракта в условиях отклонений от «идеальных» условий, а именно неполного выполнения Плана энергоэффективных мероприятий. Рассматривается случай, когда энергосервисная компания должна была заменить 14 684 ламп ДРЛ различной мощности на светодиодные светильники. Однако по некоторым причинам были заменены не все светильники, а общее число замененных светильников равнялось 13 490. В работе применяются методы анализа и синтеза. В результате исследования было показано, как производить планирование энергосервисного контракта путем расчета размера экономии электроэнергии в условиях неполного выполнения Плана энергоэффективных мероприятий на основе разработанной методики. Результаты статьи могут быть использованы в практической деятельности при планировании энергосервисного контракта в условиях неполного выполнения Плана энергосберегающих мероприятий.

Ключевые слова: энергосервисный контракт, энергоэффективность, замена ламп, энергосбережение.

Введение. Объектом исследования принят энергосервисный контракт в сетях уличного освещения, в то время как предметом исследования является неполная замена ламп ДРЛ на светодиодные светильники при выполнении энергосервисного контракта.

В стране постоянно растут тарифы на энергоресурсы, поэтому повышение энергоэфективности является одним из самых перспективных направлений инновационного развития. Однако на практике внедрение инноваций в сфере энергосбережения сдерживает ряд барьеров, и прежде всего это экономический фактор. В этом случае применяются энергосервисные контракты (договоры), которые позволяют без капитальных вложений снизить потребление электроэнергии.

В постсоветской России все уличные светильники были оснащены лампами ДРЛ, которые отличаются своей неэкономичностью и другими недостат-

ками. В настоящее время во многих городах нашей страны проводится замена существующих светильников с лампами ДРЛ на светодиодные светильники. Это одно из распространенных энергосберегающих мероприятий в сфере ЖКХ, которое часто (почти традиционно) проводится по энергосервисному контракту, который оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в [1].

Ключевым вопросом как для заказчика, так и для исполнителя на этапе планирования энергосервисного контракта является определение размера экономии электроэнергии, поскольку от его величины зависит размер вознаграждения энергосервисной компании [2, 3]. При возникновении споров стороны обращаются в суд.

Энергосервисная компания (далее – Исполнитель) заключила с владельцем осветительных сетей некого города (далее – Заказчик) энергосервисный контракт (далее – Контракт) на замену светильников уличного освещения с лампами ДРЛ на светодиодные светильники. Мероприятия энергосервисного контракта направлены на энергосбережение и повышение энергетической эффективности использования электрической энергии.

Объектом энергосервиса является комплекс уличного освещения некого города.

В соответствии с Планом энергоэффективных мероприятий энергосервисная компания должна была заменить 14 684 ламп ДРЛ различной мощности на светодиодные светильники. Однако по некоторым причинам были заменены не все светильники, а общее число замененных светильников равнялось 13 490. Указанное число светильников приведено в Акте выполненных работ, который подписан как Исполнителем, так и Заказчиком.

Данное невыполнение Плана энергоэффективных мероприятий не является нарушением Контракта, поскольку в Контракте приводится требование достижения необходимого размера экономии, а каким образом это будет достигнуто, решает Исполнитель. В большинстве контрактов есть прямое указание на то, что перечень мероприятий, указанных в Плане, может подлежать корректировке по согласованию с Заказчиком.

Проблемой в этой ситуации является то, что невыполнение Плана энергоэффективных мероприятий могло уменьшить достигаемый размер экономии электроэнергии.

Цель исследования – оценка влияния на планирование энергосервисного контракта неполного выполнения Плана энергоэффективных мероприятий.

Задачи исследования: 1. Определить, позволяют ли формулы, приведенные в приложении к энергосервисному контракту, планировать размер экономии электроэнергии в условиях неполного выполнения Плана энергоэффективных мероприятий. 2. Произвести расчет размера экономии электроэнергии в условиях неполного выполнения Плана энергоэффективных мероприятий.

Методы исследования. В данной работе для решения поставленных задач применяются методы анализа и синтеза.

Результаты исследований и их обсуждение. Далее приводится расчет размера экономии электроэнергии в условиях неполного выполнения энергосберегающих мероприятий. Исходные параметры для расчета размера экономии электроэнергии приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные параметры для расчета

Обозначения	Период	Численное значение	Ед. изм.	Параметр
$W_{БП}$	Октябрь 2013 Декабрь 2013	1395536 1913654	кВт·ч	Расход электроэнергии в базовый период
$W_{ОП}$	Октябрь 2015 Декабрь 2015	431 091 679 713	кВт·ч	Расход электроэнергии в отчетный период
$P_{УСТ}$	2013 г	4093,3	кВт	Установленная мощность светильников в базовом периоде
$T_{БП}$	Октябрь 2013 Декабрь 2013	412,57 550,29	час	Время работы светильников в базовом периоде
$T_{ОП}$	Октябрь 2015 Декабрь 2015	433,83 551,67	час	Время работы светильников в расчетном (отчетном) периоде
$k_{БП}^{ГОР}$	2013	0,85	–	Коэффициент горения светильников в базовом периоде
$k_{ОП}^{ГОР}$	2015	0,92	–	Коэффициент горения светильников в расчетном периоде
$k_{ПОТ}^{ПРА}$		1,1	–	Коэффициент потерь в ПРА

1. Особенностью уличного освещения с точки зрения энергосбережения являются следующие обстоятельства:

– в отсутствие режима диммирования у светильника есть два состояния: работает (потребляет электроэнергию) и не работает (не потребляет электроэнергию);

– расчет экономии электроэнергии ведется для каждого дня года по графикам горения;

– светильники могут выходить из строя на определенный период времени;

– развитие города (освещение новых улиц).

2. Методика расчета

Для более точного учета всех факторов, влияющих на размер экономии электроэнергии, ранее была разработана методика, по которой был произведен расчет размера экономии электрической энергии [4].

Разработанная методика основывается на подходе, приведенном в ГОСТ Р 56743-2015, который вступил в силу с 1.01.2017 г. [5]

Определение экономии электроэнергии, достигаемой в ходе реализации проекта по энергосбережению, выполняется по следующей формуле:

$$Э = W_{БП} - W_{ОП} \pm Кор, \quad (1)$$

где $Э$ – экономия электроэнергии;

$W_{БП}$ – расход электроэнергии в базовый период (определяется по счетчику);

$W_{ОП}$ – расход электроэнергии в отчетный период (определяется по счетчику);

$Кор$ – корректировка.

В свою очередь, корректировка имеет несколько составляющих, каждая из которых обусловлена некоторым фактором:

$$Кор = Кор_1 + Кор_2 + Кор_3 + Кор_4 + Кор_5 + Кор_6 + Кор_7 + Кор_8, \quad (2)$$

где $Кор_1$ – учет негорящих в базовом периоде светильников;

$Кор_2$ – учет потерь в светильниках в базовом периоде;

$Кор_3$ – учет светильников, установленных дополнительно;

$Кор_4$ – учет светильников, отремонтированных Заказчиком к отчетному периоду (данная корректировка принимается со знаком «минус»);

$Кор_5$ – учет светильников, демонтированных до отчетного периода;

$Кор_6$ – учет изменения графика работы светильников;

$Кор_7$ – учет времени ремонта светильников в отчетном периоде;

$Кор_8$ – учет светодиодных светильников, не горевших в отчетном периоде (данная корректировка принимается со знаком «минус»).

Подробное описание каждой корректировки приведено в [4].

1. Результаты планирования энергосервисного контракта по предложенной методике

Исследование распределения светильников.

Распределение 14 684 светильников по мощности приведено в табл. 2.

Таблица 2

Установленная мощность светильников в базовом режиме

Мощность лампы, Вт	25	100	125	150	250	300	400	500	2000
Кол-во, шт.	260	68	500	31	10127	2	3690	5	1

Преобладают светильники мощностью 250 Вт и 400 Вт. Остальные светильники составляют незначительную часть (рис. 1).

Рис. 1. Распределение светильников по количеству

Распределение светильников по суммарной мощности имеет несколько другой вид, хотя также преобладает суммарная мощность светильников мощностью 250 Вт и 400 Вт (рис. 2).

Рис. 2. Распределение светильников по мощности

Далее с учетом установленного распределения светильников по вышеописанной методике был проведен расчет размера экономии электроэнергии для двух месяцев (табл. 2).

Таблица 2

Расчет размера экономии в октябре и декабре 2015 года

Показатель	Обозначения	Октябрь	Декабрь
Расход электроэнергии в базовый период	$W_{БП}$	1395536	1913654
Расход электроэнергии в отчетный период	$W_{ОП}$	- 431 091	- 679 713
Экономия электроэнергии без учета корректировок.		964 445	1 233 941
Учет не горящих в базовом периоде светильников	$Кор_1$	158 097,3	156 810,23
Учет потерь в светильниках в базовом периоде	$Кор_2$	168 873	225 246
Учет светильников, установленных дополнительно	$Кор_3$	94 976	132 481
Учет светильников, отремонтированных администрацией к отчетному периоду	$Кор_4$	-108 844	-41 011
Учет светильников, демонтированных до отчетного периода	$Кор_5$	-2 223	-2 978
Учет изменения графика работы светильников	$Кор_6$	27 692	1851
Учет времени ремонта светильников в отчетном периоде	$Кор_7$	0	0
Учет светодиодных светильников, не горевших в отчетном периоде	$Кор_8$	-26200	-33317
ИТОГО:	кВт*ч	1 276 816,3	1 673 023,23
Влияние корректировок	кВт*ч	312 371	439 082
Тариф текущего периода достижения доли размера экономии (расчетного периода)	руб./кВт*ч	7,0344	6,9952
Влияние корректировок в денежном выражении	руб.	2197344,673	3071468,015

Анализ экспериментальных данных в виде таблицы расчета размера экономии показывает, что отклонение от плана выполнения энергосервисных мероприятий оказывает значительное влияние на расчетный размер экономии электроэнергии в сопоставимых условиях.

Выводы:

1. Приведенные в приложениях к энергосервисному Контракту формулы не предназначены для планирования энергосервисного контракта в условиях неполного выполнения Плана энергосберегающих мероприятий.

2. Произведен расчет размера экономии электроэнергии, который показывает, что неполное выполнение Плана энергоэффективных мероприятий значительно влияет на размер вознаграждения Исполнителя.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности при планировании на этапе разработки условий и энергосервисного контра и при расчете размера экономии электроэнергии в условиях неполного выполнения Плана энергосберегающих мероприятий.

Библиографический список

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон РФ № 261-ФЗ : федеральный закон от 23.11.2019: ред. от 03.07.2016. Доступ из норматив.-техн. системы «КонсультантПлюс».
2. Постановление Правительства РФ от 18 августа 2010 г. № 636 «О требованиях к условиям энергосервисного договора (контракта) и об особенностях определения начальной (максимальной) цены энергосервисного договора (контракта) (цены лота)» (с изменениями и дополнениями от 1.10.2013 г. и от 1.06.2016 г.): актуализизир. ред. 10.12.2016; принят 18.08.1010; действ. 31.08.2010. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
3. Методика определения расчетно-измерительным способом объема потребления энергетического ресурса в натуральном выражении для реализации мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, утвержденная Приказом Минэнерго России : приказ от 04.02.2016: зарегистрировано в Минюсте России 25.03.2016 № 41575. Доступ из норматив.-техн. системы «КонсультантПлюс».
4. Ожегов А. Н., Шаповалова В. В. Требования к методике расчета размера экономии электроэнергии при выполнении энергосервисного контракта в сетях уличного освещения городов // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : сб. ст. XIX Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2019. С. 131–136.
5. ГОСТ Р 56743-2015 ИЗМЕРЕНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов: принят 20.10.2015 № 120; действ. 01.01.2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Системный анализ пород древесины, используемых для паркета

И. Е. Папулова [a], А. А. Митяшина [b]
старший преподаватель кафедры МТД [a]
студент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00303@vyatsu.ru [a], alena.mityashina@mail.ru [b]

Аннотация. Паркет – это вид деревянного напольного покрытия. Его изготавливают преимущественно из твердых пород древесины. Для художественного паркета используют древесину ценных пород.

Паркетная доска – это многослойная конструкция, нижний и средний слои которого выполнены из древесины хвойных пород или из фанеры, верхний слой из древесины ценных пород. Главное отличие – замковое соединение. Срок службы паркета от 7 до 15 лет.

Паркет делят на такие виды, как штучный, наборный (мозаика), щитовой, дворцовый (художественный) и массивный.

Размеры паркетных досок:

- длина досок колеблется от 1,2 до 2,5 м;
- шириной они выпускаются от 13 до 20 см;
- толщина паркета может варьироваться в пределах от 7 до 25 мм.

Ключевые слова: паркетная доска, порода древесины, ценные породы, текстура древесины.

Введение. Паркет в основном производится из березы, бука и дуба. При выборе древесной породы, которая пойдет на изготовление паркета, нужно провести анализ древесных пород по физико-механическим свойствам, по текстуре и по физическим свойствам, так как каждая порода обладает различными свойствами на предмет использования паркета в различных сферах домостроения. Данная статья помогает сделать определенный выбор древесной породы как материала для изготовления паркета.

Ведущий подход. Данная статья основывается на теоретическом исследовании пород древесины. Началом исследованием является обозначение структуры паркетной доски. Далее проводится сравнительный анализ древесных пород, а также выявление пород, которые подходят для выполнения конкретных задач потребителя.

Рис. 1. Структура паркетной доски

Породы древесины, применяемые для изготовления паркета. Для изготовления паркета используют около 300 различных пород древесины.

В России для изготовления паркета наиболее часто используют такие породы древесины:

- Бамбук (Bamboo)
- Берёза (Betula)
- Бук (Beech)
- Вишня (Cherry)
- Дуб (Oak)
- Клён (Maple)
- Лиственница (Larch)
- Ясень (Ash)

Бамбук

В последнее время для производства паркета наиболее часто используют такой вид древесины, как бамбук. После обработки волокон бамбука они склеиваются по вертикали и горизонтали, покрываются лаком. Бамбук обладает антисептическими свойствами, устойчив к износу, не коробится и не ссыхается. Цвет от кофейного до золотисто-желтого.

Плотность 700 кг/м^3, твердость 4,0 н/мм^2, стабильность 4.

Рис. 2. Текстура бамбука

Береза

Обычно береза используется как декоративная вставка на паркет. Текстура березы привлекательна и приятна на ощупь. При высокой влажности способна к деформации и подвергается гниению. Цвет древесины молочно-белый с оттенками желтого.

Плотность 640–650 кг/м^3, твердость 3,5 н/мм^2, стабильность 3.

Рис. 3. Текстура березы

Бук

Имеет привлекательную и гладкую текстуру, разнообразную палитру цветов (от светлых до красновато-белых). Порода бука тяжелая и прочная. Имеет склонность к деформации не только от воды и температуры, а также от физических повреждений.

Прочность 650–680 кг/м^3, твердость 3,8 н/мм^2, стабильность 1.

Рис. 4. Текстура бука

Вишня

Большую популярность набирает паркет, особенно художественный паркет из вишни. Древесина средней плотности, гибкости и устойчивости к ударным воздействиям. Обладает недостаточной жесткостью. Цвет вишневого паркета от темно розового до черного.

Плотность 590–660 кг/м^3, твердость 3,0 – 3,2 н/мм^2, стабильность 4.

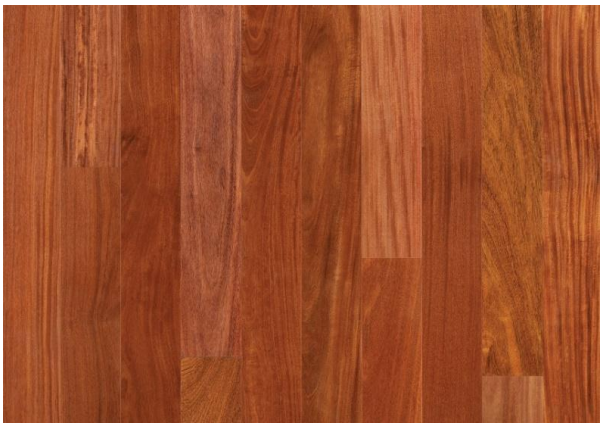


Рис. 5. Текстура вишни

Дуб

Дуб – самый часто используемый вид древесины для изготовления паркета. С годами дуб не только не выцветает, а становится только прочнее. Цвет, твердость и плотность данной породы зависят от места произрастания. Цвет от светло-коричневого до коричневого с красной текстурой на срезе.

Плотность 700 кг/м^3, твердость 3,9 н/мм^2, стабильность 4.

Рис. 6. Текстура дуба

Клен

Древесина клена имеет сильный блеск. Цветовая палитра содержит светлые тона.

Плотность 530–650 кг/м^3, твердость 4,5–4,8 н/мм^2, стабильность 2.

Рис. 7. Текстура клена

Лиственница

Прочность лиственницы почти равна прочности дуба. Порода не склонна к деформации, не гнется из-за присутствия специальных смол. Цвет лиственницы от золотистых оттенков до красновато-бурого.

Плотность 665 кг/м^3, твердость 2,5 н/мм^2, стабильность 4.

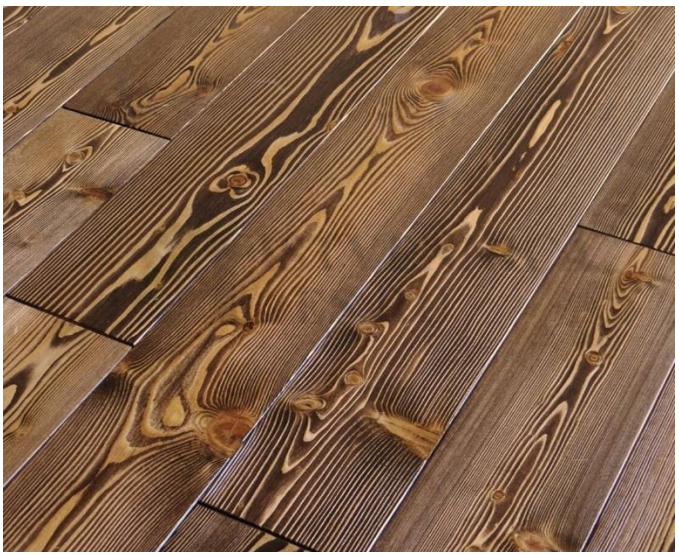


Рис. 8. Текстура лиственницы

Ясень

Данная порода наиболее часто используется при изготовлении паркета, художественного паркета из-за ее особой упругости и пластичности. Поддается любым видам обработки. Цвет от серого до бледно-желтого.

Плотность 700–750 кг/м^3, твердость 4,0 н/мм^2, стабильность 2.

Рис. 9. Текстура ясеня

Выводы. Приведенные породы для изготовления паркета также подходят и для изготовления художественного паркета, так как по текстуре данные породы обладают прекрасными эксплуатационными и декоративными характеристиками. Но для изготовления художественного паркета необходимо применять более дорогостоящие породы, так называемые ценные породы, которые имеют более красивую текстуру.

Библиографический список

1. Породы древесины, используемые для паркета. URL: http://interior-in.ru/parketnye-poly/110-porody-drevesiny-ispolzuemye-dlya-parketa.html#h4-bambuk-bamboo (дата обращения 18.12.19).

2. Из какой породы дерева делают паркет? URL: https://stroy-podskazka.ru/parket/iz-kakih-porod-dereva-delayut/#h3_105837 (дата обращения 18.12.19).

3. Текстура древесины. URL: https://yandex.ru/images/search?text=текстура+дерева (дата обращения 18.12.19).

Системный анализ пород древесины, применяемых для изготовления мебели

И. Е. Папулова [a], К. В. Онучина [b]
старший преподаватель кафедры МТД [a]
студент кафедры МТД [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr00303@vyatsu.ru [a], onuchinak@bk.ru [b]

Аннотация. На протяжении многих столетий древесина являлась единственным материалом для изготовления мебели. Несмотря на торжество технического прогресса, люди продолжают изготавливать мебель из натурального дерева. Мебель – неотъемлемая часть материальной культуры народов мира, а ее изготовление – один из древнейших видов прикладного искусства. Мебель является не только предметом творческой деятельности, но и отражает условия жизни, уровень развития культуры и искусства. В художественно-стилевом отношении мебель имеет общие черты с архитектурой, являясь имманентной частью интерьера, обеспечивая удобства и комфорт человеку в процессе труда и отдыха. Важную роль при изготовлении мебели играет качество материала, который используется для обработки заготовок из древесины. В данной статье рассматриваются выбор древесных пород для изготовления мебели и преимущества каждой из них.

Ключевые слова: мебель, качество, номенклатура, сапелли, венге, дуб.

Введение. Мебель из древесины – это всегда благородный, натуральный акцент в интерьере. При выборе породы древесины необходимо учесть целый спектр факторов, так как каждая порода отлична от другой и обладает различными параметрами и свойствами. В наше время на рынке предлагается огромное многообразие древесных материалов. Данная статья поможет потребителям принять правильное решение при выборе материала для изготовления качественной и долговечной мебели.

Ведущий подход. В данной статье проводится теоретическое исследование пород древесины. Исследование начинается с определения требований, предъявляемых к мебели. Далее проводится сравнительный анализ древесных пород, а также выявление пород, преимущественно подходящих для выполнения конкретных задач потребителя.

Требования, предъявляемые к мебели:

1. Утилитарные требования

Утилитарность изделий – это их наибольшая практическая пригодность к условиям эксплуатации.

Номенклатура мебельных изделий обусловлена площадью помещения, его назначением, а также количественным и возрастным составом пребывающих в нем людей. Так, форма изделий мебели должна в максимальной степени соответствовать их функциональному назначению.

Параметры готового продукта должны обеспечивать удобство и комфорт пользования мебелью, функциональные размеры мебели назначаются действующими стандартами и нормами. Вес изделия также определяется утилитарными требованиями.

2. Технико-экономические требования

Мебель должна конструироваться из современных материалов и быть технологичной (значительно упрощает технологические операции); быть разборной (экономично с точки зрения механизации технологических операций и транспортировки); прочной и долговечной.

При конструировании мебели учитывают ее себестоимость: мебель будет дешевле, если конструкция ее проста, применяемые материалы доступны, и они используются рационально.

3. Эстетические требования

Эстетические требования к мебели определяются задачей создания удобной и красивой обстановки помещения, соответствующей современным эстетическим взглядам и максимально удовлетворяющей потребности людей.

Важность качества материала. Не каждая древесина подходит для изготовления мебели, так как материалы обладают различными свойствами. Поэтому от выбора конкретного варианта зависят:

- визуальная привлекательность изделия;
- простота и быстрота обработки заготовок;
- возможность выполнения мелких и сложных орнаментов;
- долговечность и надежность готовой продукции.

Выбор породы. Для изготовления качественной деревянной мебели используется великое множество пород деревьев.

1. Венге (Wenge)

Венге является уникальной и ценной породой тропической древесины. Заболонь практически белая, шириной около трех сантиметров. Цвет зрелой древесины от янтарно-коричневого до темно-коричневого, с орнаментом из светлых прожилок. Такая древесина тяжелая, достаточно устойчива к давлению и изломам. В ней содержится множество минеральных и маслянистых веществ, затрудняющих ее обработку. Этот материал имеет высокую ценовую категорию.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- высокие декоративные качества;
- устойчивость к давлению, изгибу, а также удару.

2. Лиственница (Larche)

Древесина лиственницы мелкослойная, золотистого и темно-желтого цвета с бледно-коричневыми прожилками. В лиственнице содержатся эфирные масла, а следовательно, она обладает приятным ароматом. Этот материал ценится за необычный красновато-бурый оттенок и высокие эксплуатационные показатели. К недостаткам можно отнести лишь значительное количество смол, что затрудняет обработку материала.

К достоинствам данной породы можно отнести следующие:

- лучшие среди хвойных пород показатели прочности;
- высокая влагостойкость;
- практически не подвержена короблению.

3. Ель (Fir)

Распространенный порок древесины ели – многочисленные сучки, которые затрудняют обработку. В сравнении с сосной древесина ели значительно мягче и лучше впитывает влагу. Благодаря маловыразительной текстуре и малой прочности ель, как правило, используется в мозаике или в конструкциях, которые не испытывают существенных нагрузок в процессе эксплуатации.

Достоинства данной породы:

- легкость склеивания;

- такая древесина практически не подвержена короблению.

Наравне с елью применяется и сибирская пихта – эти два дерева имеют сходные показатели.

4. Секвойя (Sequoia)

Этого представителя флоры также называют мамонтовым деревом. Секвойя считается одной из лучших коммерческих древесин в мире, потому что свободна от узлов. По своим параметрам близка к ели, имеет большую биостойкость. Оттенок древесины изменяется от светло-красного до коричневато-красного. Древесина секвойи плотная, прочная, но в то же время легкая и достаточно мягкая.

К достоинствам данной породы можно отнести следующие:

- легкость обработки;
- славится отличной огнеупорностью;
- устойчивость к гниению и воздействию влаги.

5. Сосна (Pine)

Древесина сосны имеет бурый, белый, а иногда и пшеничный цвет. Свежесрубленная древесина с красноватым оттенком, но под действием внешних факторов меняет свой окрас. Наилучшими свойствами для изготовления мебели обладают сосны, растущие на возвышенностях и холмах. В этом случае годичные кольца будут более выраженными и узкими. Этот материал мягкий и легко повреждается.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость при склеивании;
- податливость в обработке.

6. Палисандр (Palisander)

Также именуется как розовое дерево. Древесина очень разнообразна по рисунку и цвету, варьируется от розовато-коричневого до густо фиолетово-коричневого. Это твёрдая, тяжёлая древесина. Из-за маленького диаметра ствола часто имеет дефекты.

Достоинства данной породы:

- не склонна к короблению;
- высокие декоративные качества.

7. Кедр (Cedar)

Древесина кедра – один из наиболее универсальных материалов. Этот материал имеет желтовато-белый или красно-бурый оттенок. Древесина довольно плотная и тяжелая. Относится к мягким породам. Особенность кедра заключается в том, что он является природным антисептиком.

Достоинства данной породы:

- стойкость к червоточине и гниению;
- легкость в обработке;
- отлично сохнет.

8. Тис (Yew)

Древесине тиса свойственен рубиново-бурый окрас. Характерной приметой является наличие множества черных точек. Тис обладает высокой прочностью и большим количеством сучков. Древесина тиса очень прочна и идет на различные столярные поделки. Обладает высокой стоимостью.

Достоинства данной породы:

- не подвержен червоточине;
- легкость сушки и обработки;
- малочувствителен к атмосферным переменам.

9. Дуб (Oak)

Дуб наиболее широко из лиственных пород используется при изготовлении мебели из массива благодаря сочетанию показателей прочности и красоты текстуры. Зрелая древесина мелкослойная, имеет оттенки от песочного до желтовато-коричневого с красивой текстурой на срезе. Если дуб достаточно долгое время пролежит в воде, его древесина приобретает редчайший темно-фиолетовый окрас с изумрудным отливом – мореный дуб. Древесина дуба прихотлива в плане полировочных работ.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость обработки;
- легкость при гнутье;
- высокую устойчивость к гниению.

10. Ясень (Ash)

Древесина этого дерева светлая, слегка желтоватая, с ясно проявленным рисунком текстуры на срезе. По многим свойствам древесина ясеня схожа с дубовой. Этот материал довольно светлый и не имеет ярко выраженных сердцевинных лучей. Ясень обязательно подвергается антисептической обработке, поскольку в условиях повышенной влажности древесина быстро повреждается червоточиной. По твердости превосходит дуб, но при этом очень эластичен.

Достоинства данной породы:

- после пропаривания отлично поддается гнутью;
- практически не трескается при сушке.

11. Лайсвуд (Lacewood)

«Змеиное дерево» – второе название лайсвуда. Его древесина различна: от светло- вплоть до темно-каштанового цвета с блестящими серебристыми пятнышками. Наиболее точное описание данной породы – крупные сердцевинные лучи, которые образуют характерный шелковистый рисунок волокон. Древесина плотная, твердая и в меру тяжелая.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- высокие декоративные качества;
- легкость обработки;
- легкость при склеивании.

12. Бук (Beech)

Буковая древесина светлая, с красно-желтым или сероватым оттенком. Древесина бука по прочности и твердости не уступает дубовой, зато славится превосходной гигроскопичностью. Такие изделия не предназначены для эксплуатации в условиях повышенной влажности. Бук молниеносно реагирует на

изменение влажности и в этом отношении является так называемой «капризной» древесиной.

Достоинства данной породы:

- высокие декоративные качества;
- быстро сушится, при этом не трескается;
- легкость в обработке: колется, пилится, режется, гнется.

13. Граб (Hornbeam)

Древесина граба имеет твердую плотную древесину серовато-белого цвета. Особенностью граба является свилеватость (скрученность волокон), по этой причине граб сравнительно слабо поддается механической обработке. Граб обладает не выраженной текстурой. Относится к сильноусыхающим породам.

Достоинства данной породы:

- после сушки обладает значительной твердостью;
- не подвергается короблению;
- свилеватость волокон дает неповторимый орнамент.
- высокая износостойкость.

14. Береза обыкновенная (Betula)

Ценность березы – это ее внешний вид: древесина желтовато-белого или розоватого оттенка. Древесина березы обыкновенной характеризуется высокой плотностью, при этом совсем не устойчива к гниению. Такой материал находит широкое применение в изготовлении фанеры, ДСтП и лущеного шпона. Высокая степень коробления, подверженность червоточине и трудности при сушке – первостепенные недостатки этой породы.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- высокие декоративные качества;
- легкость при гнутье.

Отдельно выделяют карельскую березу (Betula verrucosa). Эта порода имеет высокие эксплуатационные показатели. Она известна особой фактурой и розовым оттенком древесины. Но из-за своей стоимости применяется преимущественно для облицовки шпоном мебели из массива.

15. Клен (Maple)

Древесина клена считается ценным материалом и пользуется огромным спросом. Древесина клена имеет белый цвет с легкой желтизной, в отдельных случаях – красноватым или бурым оттенком. Клен обладает эластичной и вязкой структурой и низкой гидростойкостью. Наиболее ценен клен породы «птичий глаз» и «сахарный» из-за характерной красивой неповторимой структуры.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость в обработке;
- высокую износостойкость;
- высокие декоративные качества.

16. Ольха (Alnus)

Древесина ольхи в свежесрубленном состоянии белая, но на воздухе приобретает различный окрас: от оранжево-золотого до желто-красной или красновато-бурой. Ольха не является обладательницей ярко выраженной текстуры. Древесина не отличается особой прочностью, но она подвержена червоточине в сухих местах и устойчива к гниению во влажных условиях.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость в обработке;
- быстроту сушки;
- низкую степень коробления.

17. Акация белая (Acacia white)

Лидер по твердости среди лиственных пород. Свежесрубленная древесина белой акации светлая, но впоследствии темнеет на воздухе. Отличается упругостью и высоким сопротивлением трению. Эта порода затруднена в обработке в сухом состоянии, поэтому обычно применяется для облицовки мягких пород.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость обработки;
- легкость при гнутье;
- высокие декоративные качества.

18. Грецкий орех (Walnut)

Древесина грецкого ореха коричнево-серого цвета. Роскошная текстура образуется за счет извилистых годовых слоев. Наиболее яркую и насыщенную текстуру обеспечивает тангенциальный разрез. С возрастом древесина ореха становится все темнее и ценнее. Самый дорогой сорт – американский черный орех. Превосходная износостойкость и прочность характеризуют грецкий орех. Этот материал относится к сильноусыхающим породам.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- большое разнообразие оттенков;
- легкость обработки;
- высокие декоративные качества.

19. Сапелли (Sapelli)

Цвет древесины варьируется от розоватого до темного красно-каштанового и отличается ярким золотистым блеском. Заболонь различается от белого до бледно-желтого оттенка. Перекрученность волокон сапелли образует узкий узор при радиальном распиле. Материал довольно быстро высушивается, с заметной тенденцией к деформации. По классу прочности соответствует дубу.

Достоинства данной породы:

- высокие декоративные качества;
- хорошо поддается полировке.

20. Липа (Linden)

Древесина липы белая с бледно-розовым оттенком. Обладает неясной текстурой и слабозаметными годичными слоями. Липа хорошо поддается морению. Древесина липы обладает невысокими прочностными показателями, сопоставимыми с показателями осины. Наделить изделие долговечностью можно лишь защитив его от воздействия окружающей среды. Минусом данной породы является подверженность червоточине. Применяется в производстве для изготовления фигурных точеных элементов.

К достоинствам данной породы можно отнести:

- легкость при обработке и гнутье;

- высокие декоративные качества;
- высокую влагостойкость.

Подводя итоги, можно сказать, что у каждой древесной породы есть как сильные, так и слабые стороны. Также существует еще множество пород, используемых для изготовления мебели. Речь идет о таких породах, как абачи, гонкало, груша, тауари, цедер, цитрон, че, осина, лавр, лапачо, вишня, зебрано, лимба и многие другие.

Вывод. Использование определенной породы при изготовлении мебели обусловлено эксплуатационными и декоративными характеристиками того или иного древесного материала. Так, кухонные гарнитуры изготавливаются из сосны, березы, ясеня, дуба, полисандра, тиса, зебрано; спальные гарнитуры – из березы, ясеня, бука, дуба, ели, ольхи, грецкого ореха; гостиные гарнитуры – из ясеня, клена, бука, дуба, венге, лайсвуда; столы, стулья, комоды – из осины, сосны, лиственницы. Таким образом, при выборе древесного материала для изготовления мебели необходимо учитывать не только текстуру пород, но и макро- и микростроение древесины.

Экологическое обоснование. Утилизация отходов – главная экологическая проблема современного мира. Из 100% произведенного человек может переработать только половину, в свою очередь, природа способна перерабатывать 98%, а 2% остается в виде гумуса. В наше время рациональное использование материалов, в том числе древесины, очень актуально.

Библиографический список

1. Бобиков П. Д. Конструирование столярно-мебельных изделий.М., 1989. С. 64–73.
2. Выбор древесины. URL: https://www.forest31.ru/inform/mebel/vibor_drevesini/ (дата обращения 08.11.2019).
3. Гарднер Ф., Бриджуотер А. Мебель для дома и заработка. М., 2010. 12 с.
4. Достоинства и недостатки древесины разных пород для производства мебели из массива. URL: https://vproizvodstvo.ru/klassifikator/dostoinstva_nedostatki_drevesiny_raznyh_porod/ (дата обращения 12.11.2019).
5. Краткая энциклопедия ценных пород древесины. URL: http://woodtools.nov.ru/books/porod_drev/porod_drev.pdf (дата обращения 28.11.2019).

Обоснование методики проведения экспериментальных исследований по разработке экологичных древесных прессовочных масс

В. С. Паскарь [a], О. А. Рублева [b]
аспирант группы ТДа-4801-00-20 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии деревообработки [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: niki-k@mail.ru [a], olga_ru@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Современное производство сегодня невозможно себе представить без композиционных материалов, они применяются многими отраслями промышленности, в частности, древесные композиционные материалы применяются в строительстве и производстве мебели. В настоящее время для предприятий деревообрабатывающей промышленности актуальны экономически оправданные технологии переработки отходов, в том числе с использованием их в качестве сырья. Целью данной статьи является обоснование методики проведения экспериментальных исследований по изготовлению экологичных древесных прессовочных масс. Ведущий подход – описание методики проведения поискового эксперимента по исследованию влияния факторов (фракционный состав, вид связующего, последовательность смешивания ингредиентов смеси) на качество образцов. Проведенные экспериментальные исследования показали, что изучаемые факторы могут влиять на качество образцов из древесных композиционных материалов и могут быть применимы для формирования декоративных рельефных изделий для отделки древесных, столярно-строительных и других материалов и мебели.

Ключевые слова: древесные композиционные материалы, переработка отходов, экспериментальные исследования.

Введение. В настоящее время вопросами создания древесных композиционных материалов занимаются специалисты по всему миру, эти материалы являются универсальными и могут заменять многие материалы, такие как цельная древесина, пластмасса и некоторые другие, улучшая их свойства. Меняя соотношение компонентов состава: вида связующих и матрицы, а также варьируя технологические режимы, мы имеем возможность добиться некоторых заданных свойств и физико-механических характеристик древесных композиционных материалов.

Известны работы Ю. А. Сангалова, С. Г. Карчевского, В. И. Ионова по применению дисперсной древесины, в частности использованию древесного сырья совместно с живичной смолой, которая, являясь «дочерней» по отношению к целлюлозно-лигнинному материалу, становится эффективным гидрофобизирующим агентом, который снижает водопоглощение древесной муки [1].

Проводятся исследования по нахождению новых связующих в производстве древесных материалов; так, способом снижения токсичности композитных материалов является применение смол на основе меламина в производстве плитных древесных материалов, который прорабатывается специалистами Казанского национального исследовательского технологического университета и Московского государственного университета леса [2, 3]. Полимерными композиционными материалами из переработанного термопласта с использованием натуральных волокон методом экструзии занимаются специалисты D. D. P. Moreno, C. Saron. В своих работах они исследуют режимы получения композиционных материалов и их свойства [4]. Вопросами влияния термической обработки на древесные волокна, их свойствами в прессованных древесно-пластиковых композитах занимается Nadir Ayrilmis [5].

Прогрессивными направлениями в области переработки древесных отходов являются технологии, связанные с изготовлением новых экономически выгодных современных материалов из древесины с улучшенными свойствами [6]. В связи с ужесточением экологических требований по применению древесных композитов, связанных со снижением токсичности продукции, повышением требований к нормативно-техническим документам, оговаривающим содержание токсичных веществ в древесной продукции, ее энерго- и материалоемкости и повышением экологической безопасности процессов, стали актуальны работы по созданию новых высококачественных и экологически безопасных материалов. Поэтому на данном этапе задача исследователей состоит в том, чтобы найти альтернативу синтетическим смолам, которые являются основным видом связующего при производстве древесных плит и прочих древесных композиционных материалов, и создать экологически чистые древесные композиционные материалы либо снизить их токсичность.

Объектом данного исследования является технология формирования декоративных деталей из древесных композиционных материалов на основе нетоксичных связующих для отделки древесных, столярно-строительных и других материалов и мебельных изделий, предметом – поиск состава древесного композиционного материала.

Целью данного исследования является обоснование технологических возможностей способа изготовления рельефных декоративных изделий из древесных композиционных материалов на основе отходов деревообрабатывающих производств путем формования изделия или детали из экологичных древесных прессовочных масс.

В задачи исследования входило исследование влияния таких факторов, как фракционный состав, вид связующего, а также последовательность смешивания ингредиентов смеси на качество образцов, к которым относятся внешний вид, деформация, стабильность размеров, дисперсия, остаточная деформация.

К проектируемому нами древесному композиционному материалу применимы требования как для композитов полимерных, так и для древесных плит и мебельных деталей, так как он имеет ряд схожих показателей с указанными группами изделий. В связи с этим требования, предъявляемые к испытываемым нами образцам из древесных прессовочных масс на основе древесных композиционных материалов, разрабатывались исходя из следующих стандартов: ГОСТ 11368-89, ГОСТ 5689-79, ГОСТ 33345-2015, ГОСТ 32274-2013, ГОСТ 10633-2018 [6]. На то, что описываемый древесный композиционный материал является композиционным, указывает ГОСТ 32794-2014, где говорится: «композиционный материал – это сплошной продукт, состоящий из двух или более материалов, отличных друг от друга по форме и/или фазовому состоянию и/или химическому составу и/или свойствам, скрепленных, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и ее наполнителями» [7].

В перечисленных выше документах нормируются требования к показателям качества изделий на основе измельченной древесины.

Методы исследования. В качестве основы для изготовления смесей экспериментального исследования были взяты отходы деревообрабатывающего производства – древесные опилки хвойных пород, примерной влажности 10–14%, фракцией от 7 мм до 0,36 мм и менее. В процессе составления смесей ингредиенты смешивались в определенной последовательности (см. рисунок).

Крахмал (ГОСТ 32902-2014), канифоль (ГОСТ 19113-84), жидкое стекло на натриевой основе (ГОСТ 13078-81), эпоксидная дефенилолпропановая смола ЭД-20, (ГОСТ 10587-84) использовались в смесях качестве связующего.

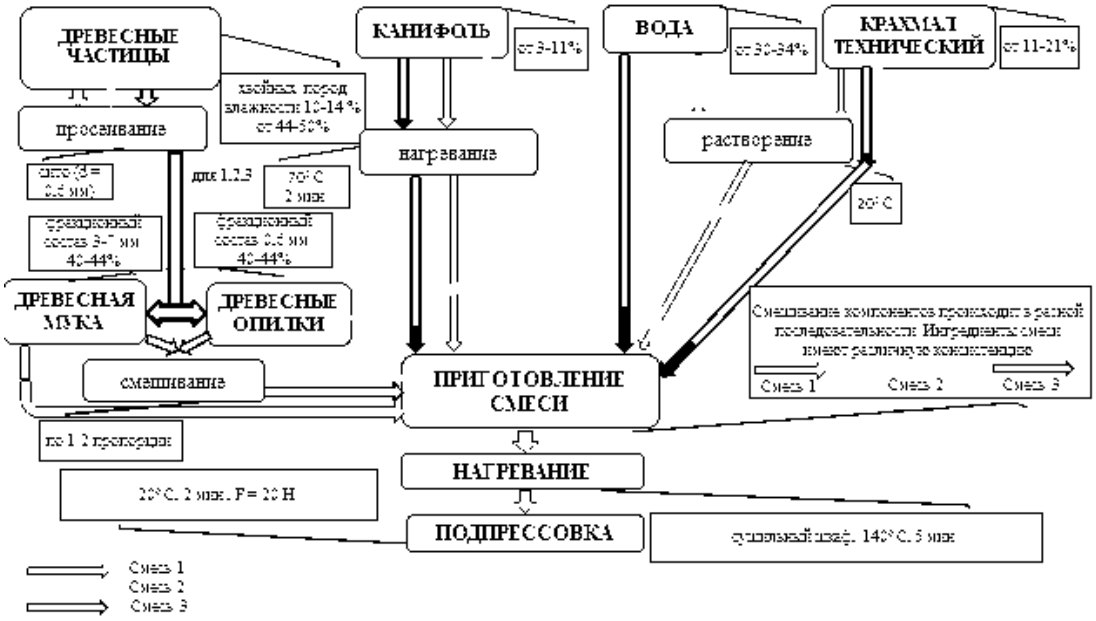


Схема приготовления смесей

В (табл. 1) представлена методическая сетка эксперимента по исследованию влияния вида связующих, фракционного состава древесного наполнителяи последовательности смешивания ингредиентов на качество получаемых древесных прессовочных масс.

Таблица 1

Эксперимент по формированию смесей (МДП) из древесных частиц

Цель	Контролируемые факторы		Варьируемые факторы		Выходные факторы	Количество	
						опытов	наблюдений
Исследование влияния вида связующих, фракционного состава древесного наполнителя и последовательности смешивания ингредиентов на	Порода древесных частиц	Хвойные	Фракция древесных частиц	0,01–0,7 мм		Количество опытов	Количество наблюдений
				3–7 мм			
	Влажность древесных частиц	10%	Вид связующего	Крахмал + канифоль	Внешний вид	1	2
				Жидкое стекло			
				Смола + отвердитель			

качество получаемых древесных прессовочных масс.	Выдержка в сушильном шкафу, мин	2 мин	Консистенция канифоли	Жидкая	Стабильность размеров	1	2
				Порошок			
	Температура нагрева смеси, С	170^0	Консистенция крахмала	Раствор	Деформация	1	2
				Порошок			
	Давление прессования	8 МПа	Последовательность смешивания компонентов	1	Остаточная деформация	1	4
				2			
				3			
				4			
				5			
	Время прессования	2 мин		6	Дисперсия	1	2
				7			

Древесные опилки хвойных породфракцией от 7 мм до 0,36 мм и менее составляли матрицу смесей. В процессе исследования древесные частицы просеивались через сито (размер радиуса ячейки 0,31 мм) для разделения фракций древесных частиц. В процессе составления смесей ингредиенты смешивались в определенной последовательности, при этом канифоль в смесях 1, 2, 3 применялась в виде раствора. Для этого она помещалась в шкаф сушильный ШСП-Щ до полного ее расплавления. Затем в смесь № 1 добавлялся крахмал технический также в виде водного раствора. Фракционный состав смесей 1 и 2 отличался от остальных: смесь № 1 имела в составе только мелкодисперсные частицы от 0,36 мм и менее (древесную муку), а в смеси № 2 фракция древесных частиц составила 3–7 мм (древесные опилки). Остальные смеси: 3, 4, 5, 6, 7 – имели одинаковый фракционный состав древесных частиц – по 20% древесной муки и древесных опилок от общего состава. В смесь 2 и 3 крахмал добавлялся в виде порошка, что позволило повысить дисперсию смесей. Смеси 4 и 5 имели сходный состав компонентов, но имели разное процентное соотношение связующих. В составах 6 и 7 кардинально менялся вид связующего, вместо канифоли и крахмала использовались жидкое стекло на натриевой основе в одном варианте и эпоксидная смола – в другом. После смешивания всех ингредиентов смеси нагревались в сушильном шкафу ШСП-Щ при температуре 170 °С в течение 2 минут, а затем на основе изготовленных смесей были выполнены объ-

емный (диаметром примерно 20–25 мм) и плоский (диаметром примерно 180–200 мм) образцы для изучения влияния на качество получаемых древесных прессовочных масс таких факторов, как фракция древесных частиц, вид связующего, процентное соотношение компонентов и их консистенция, последовательность смешивания.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате проведенного поискового эксперимента было установлено, что имеется зависимость качества древесных прессовочных смесей от фракционного состава древесных частиц, вида связующих, их консистенции и состояния ингредиентов смеси (жидкое или порошкообразное), а также от температуры нагрева смеси и последовательности соединения ингредиентов, смешивания.

Экспериментальные образцы в процессе изготовления оценивались по таким показателям: внешний вид, стабильность размеров, деформация, остаточная деформация, дисперсия, так как, согласно нормативно-правовым документам, образцы из масс древесных прессовочных рассматриваются на основании ГОСТ 11368-89 «Массы древесные прессовочные. Технические условия». А экспериментальные массы древесные прессовочные относятся к типу МДПО – массы древесные прессовочные (МДП), содержащие опилки [8]. По прошествии 10 дней смеси вновь наблюдались, оценивался такой показатель, как остаточная деформация. Исходя из всех указанных выше показателей, образцы оценивались по балльной системе от 0 до 5, где 0 баллов – самый низкий (худший) показатель, а 5 – самый высокий.

Таблица 2

Оценка образцов смесей из древесных частиц по балльной системе

№ составов	Плоский образец	Объемный образец
1	0	1
2	1	2
3	3	3
4	1,5	4
5	2,5	5
6	4	2
7	1,5	1

Вывод. Проведенные экспериментальные исследования показали, что такие факторы, как фракционный состав, вид связующего, а также последовательность смешивания ингредиентов, оказывают влияние на качество образцов. Фракционный состав влияет на плотность смеси и ее способность к деформации; так, увеличение доли мелкодисперсных частиц (древесной муки) увеличивает прочность объемных образцов. Однако использование при создании смесей только древесной муки (смесь 1), наоборот, приводит к потере прочности. Поэтому целесообразно использование в смесях древесных частиц разных фракций. Связующие также оказывают влияние на способность смеси к деформации, вязкоупругости и остаточной деформации. Хорошие показатели по указанным параметрам показали смеси, имеющие в своем составе эпоксидную смолу ЭД-20 (смесь 6) и канифоль с крахмалом (смеси 3, 4, 5). Консистенция связующих влияет на равномерность распределения мелкодисперсных частиц одного материала (канифоли, крахмала) в другом (древесной муке), что повышает пластичность древесной смеси и остаточную деформацию. Результаты приведенных экспериментальных исследований могут учитываться и быть применимы для формирования декоративных рельефных изделий из экологичных древесных композиционных материалов, предназначенных для отделки древесных, столярно-строительных и мебельных изделий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния режимных параметров (давления прессования, температуры прессования и др.) на показатели качества получаемых образцов.

Библиографический список

1. Сангалов Ю. А., Карчевский С. Г., Ионов В. И. Дисперсная древесина как перспективное химическое сырье //Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2014. Т. 19. № 4.

2. Хасаншин Р.Р. Обзор современных исследований по снижению токсичности древесно-клееных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 6.

3. Обливин А. Н., Лопатников М. В., Тарасов С. М. Древесные композиционные материалы на неорганическом связующем //Лесной вестник/Forestry bulletin. 2016. Т. 20. № 4.

4. Moreno D. D. P., Saron C. Low-density polyethylene waste/recycled wood composites // Composite Structures. 2017. Т. 176. С. 1152–1157.

5. Ayrilmis N. etal. Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites // Polymer Degradation and Stability. 2011. Т. 96. № 5. С. 818–822.

6. Паскарь В. С., Рублева О. А. Разработка требований к декоративным изделиям из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Екатеринбург, 2019. С. 56–59.

7. ГОСТ 32794-2014 Композиты полимерные. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2015. С. 30.

8. ГОСТ 11368-89. Массы древесные прессовочные. Технические условия. М. : Издательство стандартов, 1989. 24 с.

Методы литья магниевых сплавов в металлургическом центре АО «ВМП «АВИТЕК»

С. А. Плотников [a], А. А. Шалаева [b]
доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения [a]
магистрант кафедры технологии машиностроения, группа КТМм-2801-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: Plotnikovsa@bk.ru [a], a_shalayeva@mail.ru [b]

Аннотация. В статье описаны производственно-технологические возможности металлургического центра АО «ВМП “АВИТЕК”» по изготовлению отливок из магниевых сплавов. Рассмотрены особенности данных сплавов, и приведены характеристики отработанных сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч. Отмечена специфика каждого вида литья: гравитационного в земляные формы, гравитационного в стержни из холодно-твердеющих смесей, литья под низким давлением. Одним из условий получения качественных отливок является состав формовочных смесей и режимы приготовления форм. Важно соблюдение всех условий плавки магниевых сплавов. В статье рассмотрено функциональное назначение флюсов при плавке и способы очистки от них при заливке. Заливка магниевых сплавов также отмечена некоторой специфичностью.

Ключевые слова: магниевые сплавы, гравитационное литьё в землю, гравитационное литьё в стержневые формы ХТС, литьё под низким давлением.

Предприятие АО «ВМП “АВИТЕК”», выпускающее широкий спектр техники гражданского и специального назначения, работает по замкнутому производственному циклу, начиная с литейного и кузнечно-прессового производства, заканчивая сборкой готовых изделий и их испытаниями.

Металлургический центр АО «ВМП “АВИТЕК”» является производителем высококачественных отливок авиационного и гражданского назначения, в том числе деталей из магниевых сплавов, используемых для изделий, испытывающих ударные и вибрационные нагрузки. В качестве конструкционного материала магний применяют в первую очередь в тех случаях, когда масса изделия имеет большое значение, ведь наряду с высокими прочностными характеристиками он обладает малым весом.

В чистом виде магний не применяется, так как обладает низкими значениями пределов прочности и текучести. Легирование различными добавками существенно повышает его механические свойства.

В настоящее время наибольшее применение в металлургическом центре АО «ВМП “АВИТЕК”» получили сплавы МЛ5 и МЛ5п.ч. ГОСТ 2856-79, обладающие низкой склонностью к образованию горячих трещин, технологичностью и удовлетворительной коррозионной стойкостью [1]. Сплав МЛ5п.ч. от-

личается повышенной коррозионной стойкостью благодаря меньшему содержанию вредных примесей в сплаве и применению специальных флюсов при плавке. Основные характеристики сплавов представлены в табл. 1 [2].

Таблица 1

Механические свойства сплавов, определяемые на отдельно отлитых образцах

Марка сплава	Вид термической обработки	Временное сопротивление, МПа (кгс/мм)	Предел текучести, МПа (кгс/мм)	Относительное удлинение при $l = 5d$, %
МЛ5	–	160	90	2
	Т2	160	85	2
	Т4	235	90	5
	Т6	235	100	2
МЛ5п.ч.	–	160	90	2
	Т2	160	85	2
	Т4	235	90	5
	Т6	235	110	2

Производственно-технологические возможности литейного цеха АО «ВМП “АВИТЕК”» позволяют получать отливки из магниевых сплавов следующими методами: гравитационное литьё в землю, гравитационное литьё в формы из холодно-твердеющих смесей и литьё под низким давлением. Характеристики магниевых заготовок представлены в табл. 2 [3]. В основе получения тем или иным способом лежат: габаритные размеры отливки, минимальная толщина стенки и требуемая чистота поверхности.

Таблица 2

Основные характеристики литейных заготовок АО «ВМП “АВИТЕК”»

Методы литья	Марки сплавов	Развес отливок, кг	Габаритные размеры отливки, мм	Минимальная толщина стенок, мм	Класс точности отливок по ОСТ 1 41154-86, ГОСТ Р 53464-2009
Гравитационное литьё в землю	МЛ5 МЛ5п.ч. ГОСТ 2856-79	0,015…40	min 30x30x20 max 500x500x400	5	Лт5
Гравитационное литьё в формы ХТС		0,015…60	Min 500x500x400 Max 800x600x400	5	
Литьё под низким давлением		9…90	Min Ø280x180 Max Ø800x950	10	

Для получения заготовки с высокими механическими свойствами и хорошей антикоррозионной стойкостью необходимо учитывать следующие особенности магниевых сплавов:

– Низкие значения пределов упругости и текучести магниевых сплавов, а также высокая чувствительность к местным концентрациям напряжений требуют введения рёбер жёсткости и увеличения радиусов перехода в отливке.

– Высокая реакционная способность магния по отношению к кислороду требует применения флюсов при плавке и защитных присадок в землю при заливке [4].

– Использование алюминиевых холодильников для направленной кристаллизации отливки.

– Минимальная длинна струи металла при ручной заливке.

– Небольшое гидростатическое давление, широкий интервал кристаллизации затрудняют пропитываемость отливки и способствуют появлению микрорыхлот, снижающих механические свойства сплавов [4].

В литейном цехе АО «ВМП “АВИТЕК”» отработано два вида гравитационного литья магниевого сплава: в землю и в формы из холодн-твердеющих смесей. Отличие в формовочных составах и способах подготовки форм.

Литьё в землю производится в литейную форму, изображённую на рис. 1. Песчано-глинистые полуформы формируются в металлических опоках: на модель наносится облицовочная мелкозернистая смесь, затем остальной объём опоки заполняют наполнительной смесью.

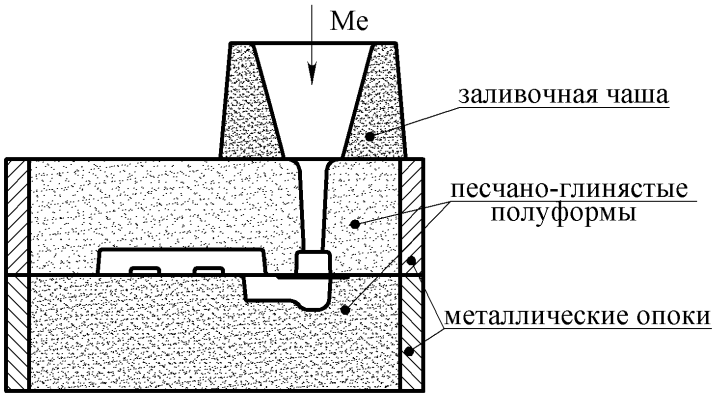


Рис. 1. Форма для гравитационного литья в землю

К формовочным смесям предъявляются высокие требования:

1) Высокая газопроницаемость (не ниже 30 см/мин).

2) Минимально возможная влажность (4,5–5,5% днём, до 6,5% вечером, влажность в зимнее время держать не более 5,5%).

3) Равномерное распределение защитных присадок в формовочных смесях и отсутствие загрязнений посторонними примесями.

4) Минимально возможная плотность набивки формы.

5) Предел прочности 0,4–0,8 кг/см ^{2} (проверять на 1-м образце).

При заливке магний реагирует с влагой формы с образованием окиси магния и выделением свободного водорода. Кроме того, в зазор между формой и отливкой, образовавшийся в результате усадки сплава при кристаллизации, проникает воздух, способствующий загоранию. Чтобы избежать горения металла, при литье вводят защитные присадки или смесь мочевины с борной кислотой [5].

Литьё в стержневые формы изображено на рис. 2. Данный вид литья предполагает изготовление элементов песчано-полимерных форм из холодно-твердеющих смесей по Pep-set процессу. Этот процесс предполагает введение в основной компонент – кварцевый песок – необходимой дозировки связующего, ингибитора и катализатора.

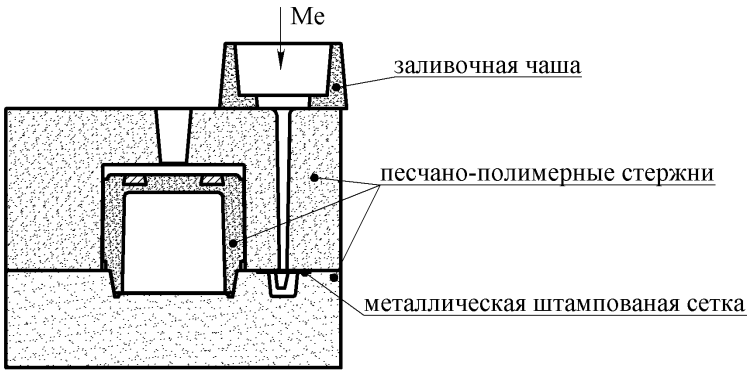


Рис. 2. Форма для гравитационного литья в стержневые формы

Требования к песку:

1) Фракция 0,2–0,3 мм.

2) Влага < 0,1%.

3) Нейтральный pH (кислотный уменьшает скорость затвердевания форм, щелочной сокращает время живучести смеси).

Перед заполнением формовочной смесью модельную оснастку покрывают разделительным покрытием. Модель должна иметь уклоны для лёгкого извлечения после отверждения смеси, так как она становится неподатлива, в отличие от песчано-глинистых форм. Все элементы литейной формы в местах контакта с металлом необходимо покрыть тонким равномерным слоем противопригарной краски на основе борной кислоты. Покрытие производится из пневматического краскопульта. Затем стержни сушатся в печах камерного типа при температуре 150 °С в течение 2 часов.

Плавку магниевых сплавов проводят в стальных тигельных печах. В сплав добавляют модификаторы, измельчающие зерно и повышающие механические свойства сплава, а также различные виды флюсов. Назначение флюсов:

1) Предупреждение окисления и возгорания твёрдой шихты в процессе плавки.

2) Создание на поверхности жидкой металла сплошного флюсового покрова, который изолирует сплав от контакта с воздухом.

3) Вследствие большой плотности в сравнении с расплавом флюс постепенно осаждается на дно тигля, очищая сплав от неметаллических включений (нитридов и окислов) [4].

При проведении заливки принимают меры, исключающие попадание флюса в отливку и окисление расплава во время заливки. Для этого струю расплава припудривают порошком серы, образовавшийся CO_2 становится изолятором от атмосферного кислорода. Равномерному заполнению формы способствует расширяющаяся литниковая система. Заливку магниевого расплава ведут через магнезитовый фильтр и металлические штампованные сетки для того, чтобы уменьшить скорость заполнения формы и исключить попадание в неё шлака. Засыпка магнезитовой крошки в заливочную чашу осуществляется непосредственно перед заливкой металла. Магнезит должен быть прокалён при температуре 900 °С в печи не менее 2 часов до темно-красного цвета.

Изготовление отливок из магниевых сплавов литьём под низким давлением предполагает получение элементов литейной формы на установке ХТС по системе Pep-set, описанной ранее, а также с применением системы Cold-box амин на пескострельном автомате. Формовочная смесь, состоящая из кварцевого песка и системы связующих, после застрела в стержневой ящик продувается катализатором – амином. У процесса Cold-box имеются следующие требования к песку –

1) Плотность 90-120 см^2/г.
2) Фракция 0,2–0,3 мм.
3) Влага < 0,1%.

Смесь в данном случае должна использоваться быстро, так как её живучесть гораздо меньше системы Pep-set.

Заливка при таком методе (рис. 3) осуществляется на машине ЛНД. Собранная форма устанавливается на заливочную плиту в камеру машины. Внизу располагается керамический тигель с расплавом, куда начинают подавать давление, оно давит на зеркало металла. Металл по подогреваемому металлопроводу поступает в литейную форму. Такая технология удовлетворяет высокие требования к качеству литья: герметичность не даёт окислиться расплаву, питание жидким металлом, обеспечивается идеально направленная кристаллизация отливки.

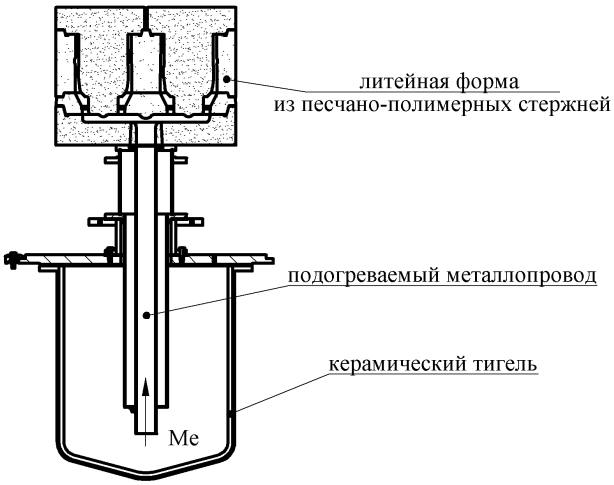


Рис. 3. Литьё под низким давлением

В настоящее время производственно-технологические возможности металлургического центра АО «ВМП “АВИТЕК”» обеспечивают изготовление широкого спектра необходимых отливок из магниевых сплавов.

Библиографический список

1. Трофимов Н. В., Леонов А. А., Дуюнова В. А., Уридия З. П. Литейные магниевые сплавы // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». 2016. № 12. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1038 (дата обращения 01.12.2016).

2. ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки (с изменениями № 1, 2): принят 24.09.1979; действ. с 01.01.1981. М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200009202 (дата обращения 01.05.2004).

3. Презентация «Производственно-технологические возможности металлургического производства АО «ВМП «АВИТЕК». URL: http://www.vmpavitec.ru/about/production/liteynoe-proizvodstvo.php (дата обращения 21.08.2018).

4. Колобнев И. Ф., Крымов В. В., Мельников А. В. Справочник литейщика. Цветное литьё из лёгких сплавов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : «Машиностроение», 1974. 416 с.

5. Крымов В. В. Технология литья магниевых сплавов. Всесоюзный ордена Ленина Научно-исследовательский институт авиационных материалов, ОБОРОНГИЗ 1947. 29 с.

Проектирование шарнирного соединения для трансформируемых мебельных изделий с использованием аддитивных технологий

Е. С. Рублева [a], Н. А. Тарбеева [b]
студент группы ПТКс-2801-02-00 [a]
инженер-лаборант кафедры «Машины и технология деревообработки» [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud106784@vyatsu.ru [a], nataly.ntar534@yandex.ru [b]

Аннотация. Современные технологии 3D-печати могут быть использованы для проектирования конструкций шарнирных соединений в мебельных изделиях. Анализ конструкций аналогов показал, что проектируемое изделие отличается от аналогов способом крепления и углом раскрытия, что вызывает необходимость апробации разрабатываемого прототипа путем изготовления макета. Масштабный макет изготовлен с помощью программ для 3D-моделирования “Autodesk-Inventor”, “Simplify 3D” и оборудования для 3D-печати “Prusa I3”. Полученный прототип из ABC-пластика позволяет оценить рабочие и прочностные характеристики изделия. Модель шарнира требует усиления ребер жесткости и правильного подбора толщины стенок. Результаты данного исследования могут быть применены при разработке комплекта конструкторской документации на трансформируемую мебель, включающей модели мебельных шарниров для печати на 3D-принтерах и использования в индивидуальном производстве мебели.

Ключевые слова: проектирование, 3D-печать, шарнирное соединение, мебель.

Введение. Современные технологии 3D-печати различных изделий используются для решения многих бытовых и технических задач. Данный метод изготовления продукции постепенно становится одной из ведущих технологий для производства деталей и конструкций различного назначения. Преимуществами 3D-печати являются легкость изделий, цветовая и структурная вариативность, зависящая от материала, используемого для печати, а также возможность масштабировать изделия в зависимости от нужд потребителя.

Целью данной работы является исследование возможности применения аддитивных технологий для изготовления деталей подвижных соединений мебели.

Задачи исследования:

– разработка технического задания на проектирование шарнирного соединения для трансформируемого стола;

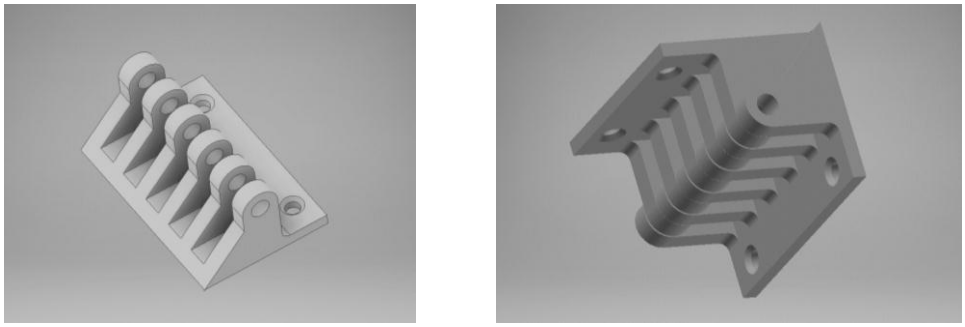
– изготовление отмасштабированного макета для получения прототипа изделия;

– оценка качества прототипа.

Методы исследования. Сравнение характеристик конструкций существующих аналогов проведено с использованием методов анализа. Разработку требований к конструкции проектируемого шарнира производили на основе синтеза исходных данных из научно-технических источников. Проектирование 3D-модели шарнира проводили в программе “Autodesk-Inventor”. Подготовку модели к 3D-печати выполнили в программе “Simplify 3D”. Отмасштабированный макет шарнира изготовили с помощью 3D-принтера модели “Prusa I3”.

Результаты исследований, их обсуждение. Шарнирное соединение входит в узел трансформации откидного стола для малогабаритных помещений. Проектируемое шарнирное соединение должно фиксироваться под углом 90 °. На первом этапе проектирования изделия изучали аналоги конструкции. Прямых аналогов не обнаружено. Складные крышки столов, как правило, навешивают на ломберные или карточные петли [1]. Угол раскрытия ломберной петли составляет 180 °, в сложенном состоянии плоскости крепления параллельны друг другу, как и в проектируемом изделии. Ломберная крепится к кромке изделия и выглядит малоэстетично. Карточная петля также не фиксируется, угол раскрытия составляет 180 °. Таким образом, проектируемое соединение отличается способом крепления (в пласть) и углом раскрытия (90 °).

На следующем этапе работы провели эскизирование и обсуждение вариантов изделия. Далее разработали 3D-модель в программе Autodesk-Inventor (рис. 1а). Затем проведена виртуальная сборка конструкции (рис. 1б) и проверка ее работоспособности.



а б

Рис. 1. 3D-модель: а – детали основного крепления,
б – детали основного и дополнительного крепления в сборе

Для подготовки 3D-модели к печати на 3D-принтере сохранили файл модели в формате stl. Далее, запустив программу “Simplify 3D”, отмасштабировали детали и произвели разбивку на слои (рис. 2) в соответствии с установками печати.

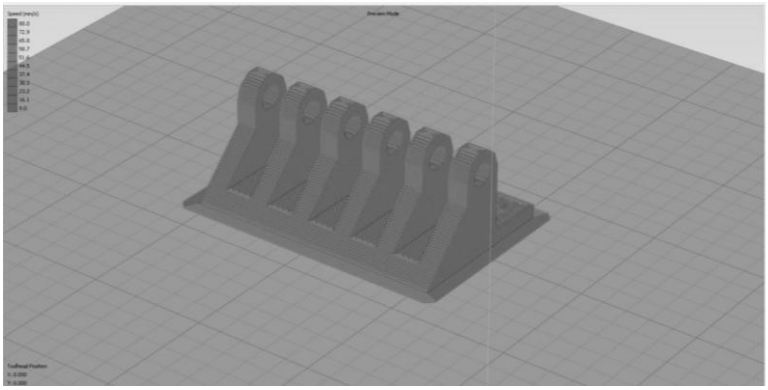
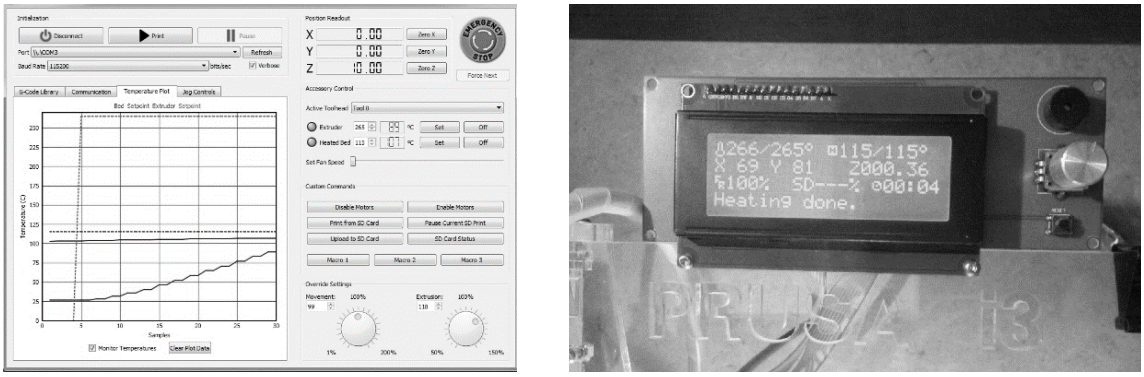


Рис. 2. 3D-модель основного крепления при разделении на печатаемые слои в программе “Simplify 3D”

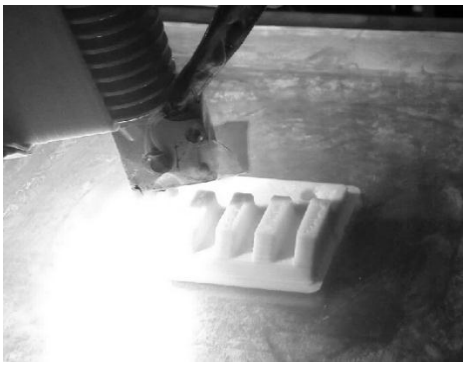
Печать 3D-модели в масштабе 1:2 осуществляли на принтере модели “Prusa I3”. Для начала работы необходимо разогреть стол для печати и экструдер. Данная операция выполняется и настраивается также в программе “Simplify 3D”. Для пластика ABC температуру стола выставим на значение 115 °C, для экструдера – на значение 265 °C (рис. 3а, б). Это необходимо для правильного закрепления печатной детали на столе и уменьшения вероятности ее отсоединения в процессе печати. В процессе печати контролировали температурный режим с помощью графиков нагревания устройств и данных на экране принтера.



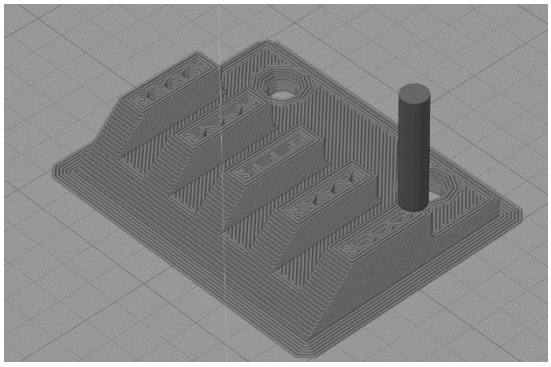
а б

Рис. 3. Контроль температурных режимов: а – графики нагрева стола для печати и экструдера, б – данные о температуре на экране принтера

Процесс печати обеих деталей шарнира суммарно занял 6 часов. Каждая из деталей печаталась по отдельности. Печать дополнительной детали проводилась под наблюдением для выявления технологических особенностей данного процесса (рис. 4а, б).



а



б

Рис. 4. Процесс печати дополнительной детали:
а – в реальном времени, б – в программе

Полученную масштабную модель подвергали шлифованию по внутренней поверхности стоек и закруглений. Данная операция необходима по причине расширения пластика во время печати. При сборке макета появилась трещина, которая возникла на одном из закруглений по причине тонкостенности конструкции макета. Модель шарнирного крепления в сборе (рис. 5) является рабочей и заявленные функции выполняет.

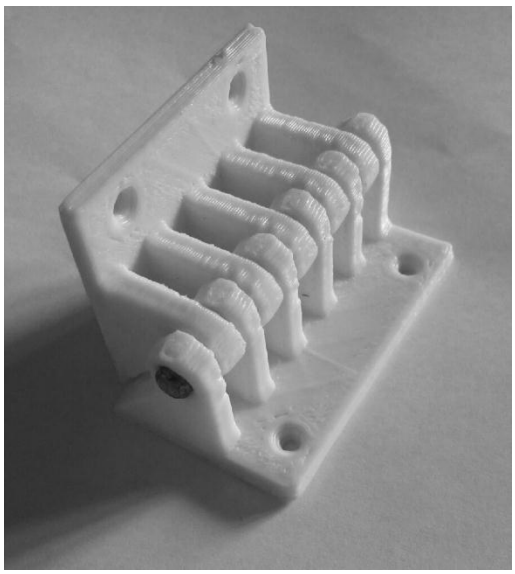


Рис. 5. Масштабная модель шарнирного соединения в сборе

Выводы. В результате проведенного исследования сделаны следующие заключения:

– техническое задание на разработку конструкции шарнира должно включать требования как к способу перемещения трансформируемых узлов, так и к способу крепления шарнира, а также к его прочности;

– процесс изготовления макета с помощью программ для 3D-моделирования и оборудования для 3D-печати хорошо управляем, процессы настройки позволяют изготовить рабочие прототипы изделия в необходимом масштабе;

– оценка полученного изделия из ABC-пластика показывает, что изделие получается легким, вариативным по цвету и размеру; отмасштабированный макет шарнирного соединения в сборе выполняет заявленные функции, конструкция требует доработки с точки зрения усиления ребер жесткости, подбора толщины стенок.

Результаты данного исследования могут быть применены при разработке комплекта конструкторской документации на трансформируемую мебель, включающей модели мебельных шарниров для печати на 3D-принтерах и использования в индивидуальном производстве мебели.

Библиографический список

1. Бобиков П.Д. Конструирование мебели // Установка дверей и навесных крышек столов. М. : Высшая школа, 1972. С. 201.

2. Мебельные соединения деревянных конструкций // stylelife-mebel.com. URL: https://stylelife-mebel.com/mebelnye-soedineniya-derevyannyh-konstruktsiy/#i-10 (дата обращения: 08.03.2020).

Моделирование процесса прессования прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны

О. А. Рублева [a], Н. Н. Демидов [b]
кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии деревообработки [a]
студент группы ТДа-2801-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: olga_ru@vyatsu.ru [a], victimlight@mail.ru [b]

Аннотация. Процесс формирования элементов шиповых соединений новым способом торцового прессования имеет ряд преимуществ перед традиционными способами изготовления шипов с использованием процессов резания. Выбор параметров технологической системы, предназначенной для прессования шипов, требует аналитического и экспериментального обоснования. В частности, проектирование пуансонов затрудняется отсутствием рекомендаций по выбору материала для их изготовления, рекомендаций по размерам выступов, формирующих проушины. Целью исследования являлась оценка напряженного состояния обрабатываемой заготовки и инструмента. Проведено моделирование процесса прессования проушин двумя типами пуансонов: с одним и пятью выступами. Полученные результаты показывают, что в заготовках из древесины сосны могут быть получены отпечатки в виде проушин за счёт пластической деформации древесины под их нижней гранью, без разрушения соседних участков древесины, формирующих стенки шипов. Максимальные значения напряжений на кромках пуансона для формирования многократных шипов, изготовленного из стали Ст3сп, не превышают предела прочности, что позволяет использовать данный инструмент для серийной обработки заготовок шиповых соединений.

Ключевые слова: древесина, шиповые соединения, прессование, моделирование, метод конечных элементов.

Введение. В настоящее время для формирования шиповых соединений используются энергоемкие операции обработки резанием, в том числе фрезерованием, что в итоге увеличивает стоимость изделий. В работе [1] предложена инновационная технология формирования элементов шиповых соединений на поверхности деревянных заготовок способом торцового прессования. Данный способ упрощает процесс изготовления шипов в заготовках из древесины и не требует затрат на регулярную заточку дорогостоящего фрезерного инструмента. Внедрение процесса формирования шипов способом прессования в существующие технологические потоки изготовления клееной продукции требует исследования параметров технологической системы, включающей инструмент и заготовку.

В настоящее время разработаны в основном рекомендации, касающиеся выбора параметров пуансонов для местного прессования древесины поперек волокон, включая процессы тиснения. Так, в работе [2] изложены результаты

исследований различных форм сечений клиновых пуансонов. Данные результаты неприменимы в случае торцового прессования древесины пуансонами других форм, поэтому данные вопросы требуют проведения отдельных исследований. В частности, проектирование пуансонов затрудняется отсутствием рекомендаций по выбору материала для их изготовления, рекомендаций по размерам выступов, формирующих проушины.

Древесина является анизотропным материалом сложного строения, в связи с чем получение аналитических моделей многих процессов затруднено и требует введения ряда эмпирических коэффициентов, зависящих от состояния древесины. В то же время численные методы моделирования на основе компьютерных программ позволяют получить достаточно точные оценки для напряженных состояний и деформаций исследуемых материалов.

Известно, что для процесса прессования значимы такие факторы, как порода, влажность древесины, начальная плотность, степень прессования и др. [3] Следовательно, в качестве исходных данных для моделирования процесса торцового прессования прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны вдоль волокон необходимы значения следующих характеристик: плотность, предел прочности при сжатии и растяжении, модуль упругости и сдвига, коэффициент Пуассона.

В данной работе проведено исследование напряженного состояния материала инструмента и заготовок из древесины сосны при прессовании прямоугольных проушин с целью выработки рекомендаций по выбору параметров конструкции клеевых соединений на многократный прямоугольный шип, параметров пуансонов, прогнозирования их свойств.

Задачи исследования:

– провести моделирование на основе метода конечных элементов для процесса прессования прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны на примере формирования одной и пяти проушин;

– оценить напряженное состояние материала инструмента и заготовки, проанализировать результаты и дать рекомендации по выбору параметров конструкции пуансонов.

Методы исследования. Моделирование процесса прессования прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны проведено в системе КОМПАС-3D. Данное программное обеспечение позволяет реализовать решение инженерных задач по оптимизации конструкций на основе метода конечных элементов. Прочностной конечно-элементный анализ для твердотельных деталей включал этапы:

– разработка схемы процесса прессования;

– геометрическое моделирование пуансонов и заготовки;

– создание набора исходных данных;

– задание закреплений и приложение нагрузки;

– генерация конечно-элементной сетки;

– выполнение расчётов;

– анализ полученных результатов в виде карт напряжений.

Результаты исследований, их обсуждение. Схема процесса прессования (рис. 1) включает заготовку из древесины, в торец которой внедряется пуансон с выступами прямоугольной формы сечения. Профиль пуансона соответствует форме и размерам получаемых в древесине прямоугольных шипов и проушин [1].

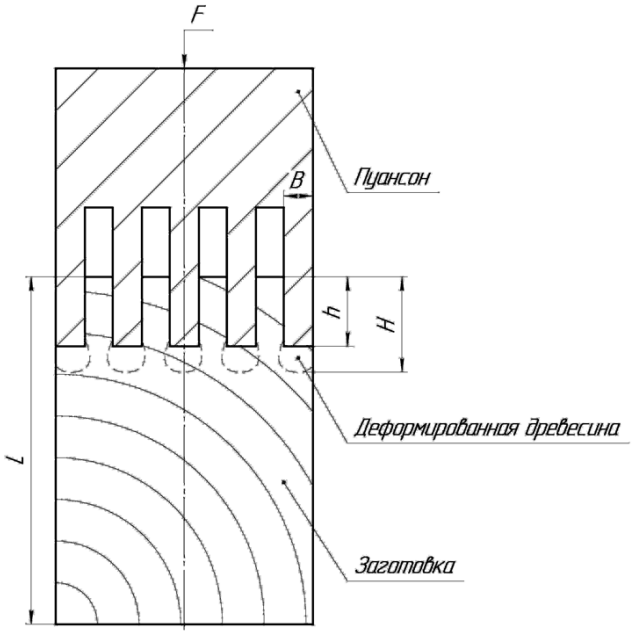
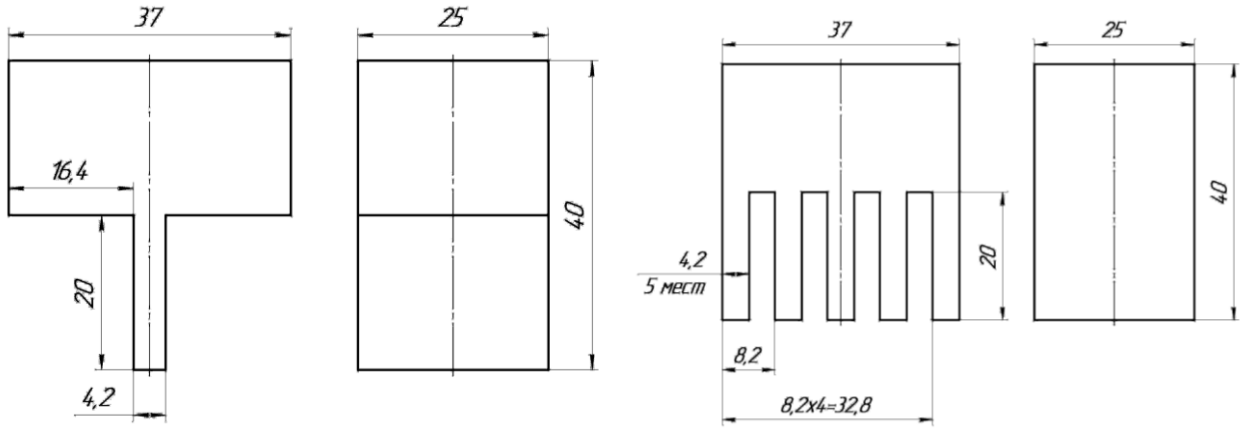


Рис. 1. Схема формирования проушины пуансоном: F – усилие прессования, B – ширина проушины, h – глубина проушины, H – зона расположения деформированной зоны, L – высота заготовки

Для подготовки к моделированию разработаны модели пуансона и заготовки. Их формы и размеры приведены на рис. 2 и 3.



а б

Рис. 2. Форма и размеры моделей пуансонов:
а – с пятью выступами, б – с одним выступом

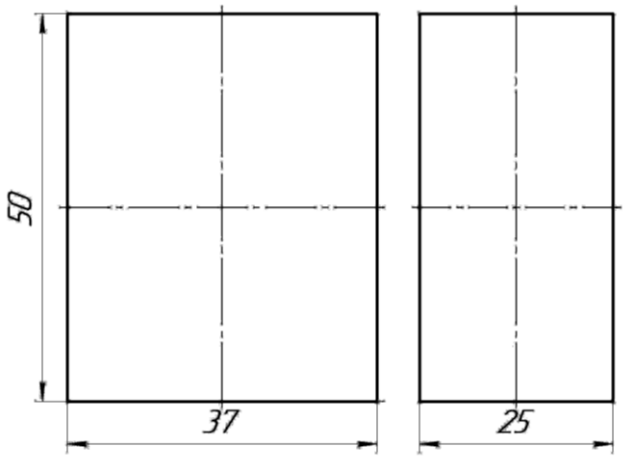


Рис. 3. Форма и размеры модели заготовки

Исходные данные:

– температура помещения, инструмента и заготовки – 20 °С;

– материал пуансона – Ст3сп ГОСТ 380-2005;

– удельное усилие прессования F=50 МПа;

– материал заготовки – сосна;

– удельное усилие обжима заготовки F_1=0,05 МПа;

– влажность древесины заготовки W=12 %.

Для создания конечно-элементной сетки выбраны следующие характеристики:

– длина стороны конечных элементов – тетраэдров равная 1,25 мм;

– максимальный коэффициент сгущения на поверхности – 1;

– коэффициент разрежения в объёме – 1,5.

Механические свойства материалов заготовки [4] и пуансона [5], принятые в процессе моделирования, приведены в таблице.

В результате моделирования процесса прессования получены значения напряжений по Мизесу, представленные на рис. 4.

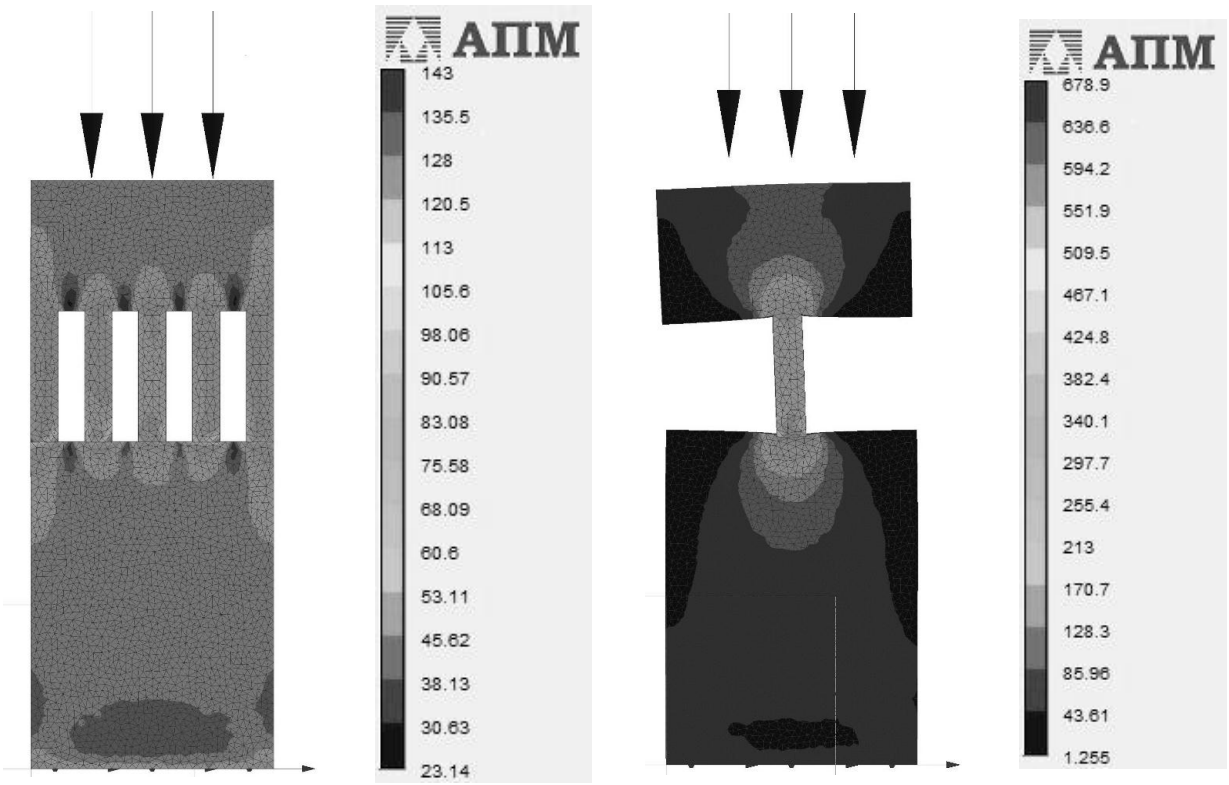
Максимальные значения напряжений (для пуансона с одним выступом – 678,9 МПа, для пуансона с пятью выступами – 143 МПа) сконцентрированы на кромках выступов.

Для пуансона с одним выступом полученные напряжения превышают предельно допустимые для испытуемого материала – Ст3сп (см. таблицу), в связи с чем существует риск деформации кромок выступа пуансона при изготовлении одной проушины. На этом основании можно рекомендовать использование инструмента с многократными выступами.

Механические свойства материалов

Характеристика	Ед. изм.	Вид материала	
		Древесина сосны W=12%	Ст3сп ГОСТ 380-2005
Модуль упругости вдоль волокон	МПа	11900	–
Модуль упругости поперек волокон в тангенциальном направлении	МПа	550	–
Модуль упругости поперек волокон в радиальном направлении	МПа	670	–
Модуль упругости	МПа	–	210000
Коэффициент Пуассона (торцевая плоскость)	–	0,030	–
Коэффициент Пуассона (радиальная плоскость)	–	0,380	–
Коэффициент Пуассона (тангенциальная плоскость)	–	0,037	–
Коэффициент Пуассона	–	–	0,28
Плотность	кг/м^3	505	7850
Предел прочности при растяжении поперек волокон в радиальном направлении	МПа	3,5	–
Предел прочности при растяжении поперек волокон в тангенциальном направлении	МПа	5,4	–
Предел прочности при сжатии в радиальном направлении	МПа	7,5	–

Предел прочности при сжатии в тангенциальном направлении	МПа	5,1	–
Предел прочности при сдвиге в тангенциальном направлении	МПа	7,4	–
Предел прочности	МПа	–	380
Предел текучести	МПа	–	220
Модуль сдвига	МПа	–	81000
Модуль сдвига (радиальная плоскость)	МПа	500	–
Модуль сдвига (торцовая плоскость)	МПа	1230	–
Модуль сдвига (тангенциальная плоскость)	МПа	800	–



а б

Рис. 4. Напряжения, возникающие в заготовке и пуансоне в процессе прессования проушин: а – модель пуансона с пятью выступами; б – модель пуансона с одним выступом

Выводы. В ходе исследования получены следующие результаты:

– геометрическое моделирование и прочностной конечно-элементный анализ для процесса формирования одной и пяти прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны позволили установить точки концентрации максимальных напряжений: в заготовках – под рабочей поверхностью пуансона, в инструменте – на кромках выступов;

– показатели напряженного состояния древесины заготовки подтверждают возможность получения качественного отпечатка в виде проушины без раз-

рушения прилегающих боковых граней шипов; максимальные значения напряжений на кромках пуансона для формирования многократных шипов, изготовленного из стали Ст3сп, не превышают предела её прочности, что позволяет использовать данный инструмент для серийной обработки заготовок шиповых соединений.

Библиографический список

1. Рублева О. А. Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок // Пат. 2741614 Рос. Федерация. № 2011116271/13; заявл. 25.04.2011; опубл. 10.01.2013, приоритет 25.04.11.
2. Гафф М., Гашпарик М., Квиеткова М., Самусевич А., Елена М. Анализ кривой напряжений в древесине при тиснении // Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 1. С. 24–31.
3. Куницкая О. А., Шапиро В. Я., Бурмистрова С. С., Григорьев И. В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов // Лесной вестник. 2012. № 4. С. 110–115.
4. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М., 2007. 352 с.
5. Марочник стали и сплавов. URL: http://www.splav-kharkov.com/main.php (дата обращения: 06.02.2020).

Влияние режимов импульсной лазерной сварки на прочность стыкового сварного шва

Н. А. Смирнов [a], А. А. Минин [b], А. Н. Яковлев [c], А. Л. Флаксман [d]
студент группы ПТКс-5801 [a, b, c]
кандидат технических наук, доцент кафедры ИТМ [d]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c, d]
E-mail: stud070249@vyatsu.ru [a], stud071159@vyatsu.ru [b],
stud09141@vyatsu.ru [c], flaksman@vyatsu.ru [d]

Аннотация. В статье раскрыто влияние режимов сварки на прочность сварного шва и выбран наилучший режим методом полного факторного эксперимента.

Рассмотрены: сущность и виды лазерной сварки, их особенности и практическая применимость.

В ходе эксперимента были проведены: расчет режимов сварки для деталей толщиной 0,5 мм из углеродистой стали; составлена матрица планирования эксперимента с помощью таблицы случайных чисел для обеспечения достоверности эксперимента и минимизации влияния случайных факторов на механические свойства сварного шва при данном режиме; получена математическая модель влияния различных факторов на прочность стыкового соединения; сваренные образцы подверглись испытанию на разрыв; собранные результаты испытания обработаны, и сделаны выводы о влиянии режимов сварки на прочность сварного шва, а также был определен наилучший режим.

Ключевые слова: импульсное лазерное излучение, стыковой шов, полный факторный эксперимент, прочность, механические характеристики.

Введение. Возможность высокой концентрации энергии в локальном объеме пространства, высокоскоростного управления изменением энергии во времени и ее перемещения в пространстве открыли принципиально новые перспективы в сфере обработки материалов [1, с. 37].

Суть лазерной сварки состоит в получении неразъемного соединения с помощью расплавления материала потоком энергии с его последующим затвердеванием [2, с. 3].

Лазерная сварка характеризуется меньшей площадью термического воздействия на деталь, что позволяет избежать образования широкой зоны материала с плохими механическими свойствами (остаточные напряжения и др.), сваривать тонкие листовые заготовки (толщиной до 50 мкм). Также станки лазерной сварки обеспечивают высокую точность и позволяют управлять процессом в ручном режиме.

В зависимости от задачи может использоваться непрерывный или импульсный лазерный луч. В данном исследовании используется импульсная лазерная

сварка, что обусловлено обрабатываемыми деталями. Для обработки тонких материалов, например бритвенных лезвий, используются миллисекундные импульсы лазерного излучения, так как здесь мы можем регулировать количество теплоты, воспринимаемое материалом детали, в единицу времени, что позволяет получить сварной шов, сохраняя структурную целостность детали. Для получения более глубоких сварных швов, как следствие, на деталях большей толщины используются системы на основе лазеров непрерывного действия.

Используемый лазерный луч обычно характеризуется плотностью потока энергии. Таким образом, концентрированное тепло лазерного луча воздействует на сравнительно небольшие участки поверхности. Например, ширина лазерного луча может варьировать от 0,2 мм до 13 мм. Глубина проникновения тепла, генерируемого лазерным лучом, пропорциональна количеству приносимой им энергии, а также зависит от положения точки фокусировки лазерного луча. Максимальная глубина проникновения достигается при оптимальном выборе положения точки фокусировки лазерного луча [3, с. 4].

Методы исследования. Предметом исследования стало влияние режимов импульсной лазерной сварки на прочность стыкового сварного шва, для образцов из углеродистой стали толщиной 0,5 мм произведен расчет значений режимов сварки.

Для выбора оптимальных условий процесса сварки находятся: энергия импульса (1.1); период импульса (1.2); мощность импульса (1.3); мощность импульса средняя (1.4); площадь пятна (1.5); плотность мощности (1.6).

Исходя из опыта и возможностей станка, подбирались значения некоторых величин, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Используемые значения режимов станка

№	ϑ, мм/с	f, Гц	τ, мс	I, A	S, мм
1	50	10	5	200	0,3
2	75	12	6,7	200	0,3

Сварка образцов в соответствии с выбранными режимами произведена на станке лазерной сварки TST W-200. Для проверки прочности полученных сварных швов образцы были подвергнуты испытанию на разрывной машине.

Результаты исследований, их обсуждение. Расчет режима сварки будет выглядеть следующим образом:

Энергия импульса находится по формуле (1.1):

$$E_и = I \cdot V \cdot \tau \cdot k, \tag{1.1}$$

где I – величина тока, (А);

V – напряжение на конденсаторах, принимается равным 600 В;

τ – время импульса, (мс);

k – коэффициент, зависящий от тока накачки (0,018...0,023).

$$E_и = 200 \cdot 600 \cdot 5 \cdot 0{,}02 = 12000 \text{ мДж} = 12 \text{ Дж}.$$

Время между импульсами:

$$T = \frac{1}{f}, \tag{1.2}$$

где f – частота импульса, (Гц);

$$T = \frac{1}{10} = 0{,}1 \text{ с}^{-1} = 10 \text{ с}.$$

Мощность импульса:

$$P_{имп} = \frac{E_и}{\tau}, \tag{1.3}$$

где $E_и$ – энергия импульса, (Дж);

τ – время импульса, (с).

$$P_{имп} = \frac{12}{0{,}005} = 2400 \text{ Вт}.$$

Средняя мощность излучения:

$$P_{имп.ср.} = \frac{E_и}{T}, \tag{1.4}$$

где $E_и$ – энергия импульса, (Дж).

$$P_{имп.ср.} = \frac{12}{10} = 1{,}2 \text{ Вт}.$$

Площадь пятна:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (1.5)$$

где d – диаметр пятна лазерного луча, (мм).

$$S = \frac{\pi \cdot 0{,}3^2}{4} = 0{,}07 \text{ мм}^2 = 0{,}0007 \text{ см}^2.$$

Плотность мощности:

$$q = \frac{P_{\text{имп.ср.}}}{S}; \quad (1.6)$$

$$q = \frac{1{,}2}{0{,}0007} = 1714{,}3 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}.$$

Остальные режимы формируются как определение граничных условий для каждой величины исходя из условий возможностей станка.

По рассчитанным режимам с помощью метода полного факторного эксперимента составлена математическая модель, приведенная в табл. 2.

Таблица 2

Режимы сварки

№ опыта	V, мм/с	f, Гц	$E_и$, Дж	τ, мс	I, А
1	50	10	12	5	200
2	75	10	12	5	200
3	50	12	12	5	200
4	75	12	12	5	200
5	50	10	16	6,7	200
6	75	10	16	6,7	200
7	50	12	16	6,7	200
8	75	12	16	6,7	200

Для более достоверного исследования эксперимент повторяется 2–5 раз. В данном эксперименте было выбрано три повторения. Порядок опытов в эксперименте определяется по таблице случайных чисел. В ячейках указаны номера режимов. Результаты занесены в табл. 3.

Таблица 3

Порядок выполнения опытов

№ эксперимента	Порядок выполнения опытов							
1	4	2	3	7	8	1	5	6
2	2	1	8	5	7	6	4	3
3	1	3	4	2	7	8	6	5

Результаты испытания проверки прочности швов занесены в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты испытания прочности сварного шва

№ опыта	Сила разрыва, кН			
	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Среднее арифметическое
1	1,5	1,14	1,4	1,34
2	0,8	0,4	0,5	0,56
3	0,9	1,3	1,33	1,17
4	1,4	1	0,9	1,1
5	1,3	1,6	1,2	1,26
6	1,45	1,65	1,1	1,4
7	1,1	1,85	1,6	1,52
8	1,4	1,4	1,7	1,5

Выводы. В ходе данного опыта выявлено, что режим № 7 имеет наибольшее усилие разрыва, а режим № 2 – наименьшее усилие разрыва. Это связано с тем, что режим № 7 имеет самую высокую концентрацию энергии по площади сварного шва, а именно: малая скорость и высокие показатели частоты, энергии импульса и времени импульса, что характеризует плотность пятен лазерного луча. Режим № 2, наоборот, имеет самую низкую концентрацию энергии, следовательно, низкую плотность лазерного излучения.

Библиографический список

1. Технологии импульсной лазерной сварки / В. В. Мелюков, А. М. Чирков, А. В. Орехов // ДОАО «Центрэнергогаз», ОАО «Газпром». URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12987978 (Дата обращения 04.07.2019).

2. Малащенко А. А., Мезенов А. В. Лазерная сварка металлов. М. : Машиностроение, 1984. 44 с.

3. Система для лазерной сварки и способ сварки с помощью лазерного луча : пат. 2532689 Рос. Федерация: МПК B23K 26/067, G02B 27/30, G02B 5/00, H01S 3/105 / М. Бляйхер, М. Хааг; заявитель и патентообладатель «Тайко электроникс АМП ГМБХ» – № 2011149136/02 ; заявл. 26.04.2010 ; опубл. 10.11.2014.

Концепция благоустройства территории ленточного парка в районе Ежовского озерно-родникового комплекса на территории муниципального образования «Город Киров»

И. А. Соболева [a], А. А. Мезенцева [b]
доцент кафедры архитектуры и градостроительства [a]
студент группы ГСб-4801-01-00 (специализация 07.03.04.01 «Градостроительство») [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr20436@vyatsu.ru [a], stud085320@vyatsu.ru [b]

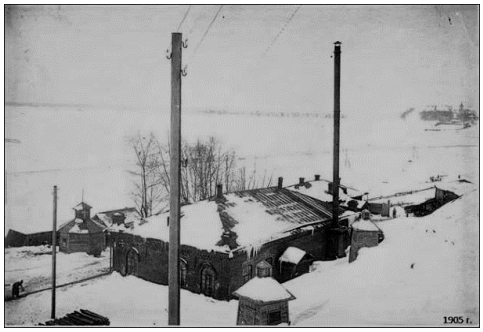
Аннотация. Объектом градостроительного исследования является территория Ежовского озёрно-родникового комплекса – уникального гидрологического памятника природы регионального значения в восточной части города Кирова, на особо охраняемой природной территории (ООПТ). В данной статье предпринята попытка раскрыть основные причины загрязненности и непосещаемости выбранной территории, находящейся в историческом центре города, в то время как потенциально она может являться центром досуга и отдыха жителей города, а также точкой привлечения туристов, поскольку в границах данного ООПТ в XX веке функционировала первая в истории Вятки водонапорная башня. В ходе предметного исследования был проведен градостроительный анализ территории путем фотофиксации местности и исследования детального описания границ территориальной структуры ООПТ. На основе изученного материала авторы приходят к выводам о трансформации городского пространства в условиях адаптации градостроительной системы к социально-экономической реальности и процессах поиска инструментов эффективного правового регулирования в градостроительстве посредством разработки концепции создания ленточного парка «Ежовский» с благоустройством территории.

Ключевые слова: градостроительная ситуация, памятник природы, благоустройство территории, ленточный парк «Ежовский», водонапорная башня.

Введение. С появлением на Вятке к середине XIX века первых крупных фабрик и мануфактур потребность города в воде резко возросла, это и послужило причиной тому, что ключевая вода из Кикиморской горы стала рассматриваться как основной источник для первого Вятского водопровода (рис. 1). Именно там на поверхность выходят множество источников ключевой воды, которую, безо всякой очистки, собирали в специальную емкость и уже затем при помощи насоса перегоняли в водонапорную башню, откуда она под давлением собственной силы тяжести попадала на фабрики, в дома зажиточных вятчан и в специальные пункты продажи воды. На протяжении почти семидесяти лет, с начала 1900 по 1968 год, вятчане пользовались этой водой для своих бытовых, хозяйственных и противопожарных нужд. Однако на сегодняшний день состояние водонапорной башни расценивается как критическое, помимо

того, сам озерно-родниковый комплекс утопает в мусоре и нечистотах. Именно поэтому авторами была поставлена задача разработать концепцию благоустройства данной территории, которая поможет решить ряд существующих проблем.

а



б

Рис. 1. Первый Вятский водопровод (а, б), фотографии 1905 года [1]

Материалы и методы исследования. В настоящее время территория Ежовского озёрно-родникового комплекса как уникального гидрологического памятника природы регионального значения имеет статус *особо охраняемой природной территории* (*ООПТ*). Следует добавить, что особую важность этой местности придает ее территориальное расположение в границах исторического центра города и близость к ансамблю Успенского Трифонова монастыря – памятнику архитектуры XVI–XIX веков [2, с. 109]. Исследуемая территория располагается в восточной части города Кирова, в Первомайском районе, вблизи микрорайона Вересники, однако она не сформирована как архитектурно-ландшафтный объект и не отвечает современным требованиям общественного пространства как специальной природной среды для отдыха и прогулок. С учетом того что «проектирование архитектурно-ландшафтных объектов ведется с учетом закономерностей формообразования, присущих другим архитектурным объектам, но особенности восприятия и динамичность качеств отдельных элементов архитектурно-ландшафтных объектов требует особых композиционных приемов, а на становление художественного образа помимо особенностей функционального назначения объекта, его градостроительного значения, значительное влияние оказывают природные качества местности и характер окружа-

ющей застройки» [3, с. 127], авторами был проведен градостроительный анализ территории путем фотофиксации местности и исследования детального описания границ территориальной структуры ООПТ.

Уникальной природной особенностью *особо охраняемой природной территории является* озёрно-родниковый комплекс, который представляет собой каскад из более чем 20 родников с дебитом 0,3–35 л/сек, вытекающих из обрыва левого коренного берега р. Вятки (Кикиморской горы), именно они наполняют запрудный водоем между насыпью железной дороги (Ежовский пруд) и береговым обрывом. Образовавшееся родниковое озеро не замерзает зимой и служит местом зимовки уток-крякв (до 70 особей) [4]. Кроме того, это единственный в городе и в области пруд с родниковой водой, считается, что благодаря этому в водоёме можно разводить форель. (рис. 2).

а

б

Рис. 2. Фотография (а, б) запрудного водоема между береговым обрывом и насыпью железной дороги (Ежовский пруд)

Однако вся уникальность и важность этой территории зачастую недоступна, так как за время, прошедшее с момента последней ее эксплуатации, на данной местности образовался ряд следующих проблем:

1. *Неподобающий вид селитебной территории* – в большинстве случаев ветхие дома, огороды и отсутствие ограждений как таковых.

2. *Озеро загрязнено стоками* автомастерской и конюшни, располагаемых по адресу ул. Пристанская, 4, и ул. Лесная, 2г, соответственно, что нарушает «режим особой охраны территории памятника природы» [5, с. 4].

3. Не предусмотрены специализированные места сбора мусора, следствие – *загрязненность* анализируемой части исторического центра (рис. 3).

а б

Рис. 3. Фотография (а, б) несанкционированной свалки
на территории озёрно-родникового комплекса

4. *Отсутствие связи* между Ленинским (микрорайон Вересники) и Первомайским районами – нет обустроенной асфальтированной дорожно-тропиночной сети для пешеходов.

5. *Непривлекательность данного исторического места* – несмотря на близость с прогулочной зоной набережной и открывающийся вид на ансамбль Успенского Трифонова монастыря, сумма факторов, описанных выше, не позволяет расценивать территорию как памятник природы и не привлекает граждан.

Сформулировав ряд проблем, влияющих на состояние Ежовского озерно-родникового комплекса, авторы был произвели анализ путей их решения, для чего были использованы материалы и рекомендации администрации города Кирова в лице МКУ «Архитектура»; Генеральный план муниципального образования «Город Киров»; Постановление правительства от 21.05.2015 № 49/394 «О перечне исторических поселений, имеющих особое значение для истории и культуры Кировской области»; данные, представленные на портале ООПТ РФ Департаментом экологии и природопользования Кировской области [4], а также использовались собственные материалы фотофиксации для создания проекта по благоустройству данной территории.

По мнению авторов, существует лишь одно правильное предложение, способное изменить существующее положение, – это создание комфортного городского паркового пространства с реконструкцией первой водонапорной башни в качестве музея и информационно-туристического центра, что позволит решить сразу все вышеперечисленные проблемы.

Предложенные решения:

1. *Высадка ивника.* Данное решение позволит:

- создать живую изгородь между парковым пространством и частными владениями для функционального разделения рекреационной и селитебной зон;
- ограничить личное пространство владений собственников ИЖС;
- привести в надлежащий вид градостроительную развертку, что позволит облагородить вид на ансамбль Успенского Трифонова монастыря со смотровой площадки.

Выбор данного вида растения обусловлен:

- эстетическим восприятием парковой зоны посетителями;
- высокой степенью инсоляции частных владений и их огородов по сравнению с другими видами деревьев, имеющих большую крону, что непосредственно влечет за собой повышенную затененность.

2. *Санитарная очистка озера Ежово с последующей защитой экосистемы водоёма.* Создание парка предполагает предварительную очистку водоема для размещения лодочной станции и разведения уток-крякв и лебедей.

Помимо того что парковая зона будет ограждена забором, загрязнение охраняемой территории влечет за собой штраф, что защитит водоем от попадания в него вредных отравляющих веществ и бытовых стоков.

3. *Ликвидация свалки.* Перед началом строительства парковой зоны будет произведена очистка данной территории путем проведения субботников и экологических акций. Территория после ее облагораживания будет находиться под муниципальным контролем, а это значит, что, помимо установления мусорных контейнеров, будет проводиться плановая уборка территорий клининговыми компаниями.

4. *Прокладка дорожно-тропиночной сети для пешеходов.* Создание парка решит проблему отсутствия пешеходного сообщения данных городских районов, так как для привлечения посетителей парка необходимо продумать маршруты связи с городом.

5. *Повысить привлекательность, путем создания паркового пространства.* Благоустройство и озеленение территории позволят привлечь большее

количество людей и может создать единую рекреационную зону, которая будет включать в себя, помимо озерно-родникового комплекса, набережную и Трифонов монастырь. Кроме того, создание музея и информационно-туристического центра в здании первой Вятской водонапорной башни привлечет не только жителей Кирова, малознакомых с таким уникальным местом их малой родины, но и гостей города, так как история данной территории обычно не отражается в путеводителях по историческим и знаковым местам города Кирова.

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам проведенного градостроительного анализа авторами была составлена схема развития данной территории как ландшафтно-рекреационной зоны.

С учетом того что «для современного периода общественного развития характерно повышение требований к качественным параметрам среды жизнедеятельности людей; в настоящее время благоустройству и озеленению городской среды уделяется особое внимание, о чем говорит принципиальный переход от решения чисто утилитарных задач к созданию гармоничной среды, имеющей определенную эстетическую ценность вне зависимости от величины и значения объекта в структуре города» [3, с. 294], авторами предлагается концепция архитектурно-планировочного решения ленточного парка «Ежовский».

Разработанная концепция благоустройства территории ленточного парка «Ежовский» (рис. 4) – многофункциональный туристический комплекс с реконструкцией первой водонапорной башни в качестве музея и туристско-информационного центра. Для парка отводится территория площадью около 45,0 га, вокруг которой группируется существующая индивидуальная жилая застройка. В свою очередь, на архитектурно-планировочное решение парка повлияло расположение прилегающих улиц и направление основных пешеходных потоков. Парк имеет геометрически правильную планировку с выраженной симметричностью и регулярностью композиции. Наряду с этим озеро Ежово является пространственной доминантой паркового ландшафта. Концепция благоустройства предусматривает круглогодичное функционирование, решение вопросов зонирования и пространственной организации. При этапах создания и

благоустройства парка предусмотрены комплексные мероприятия по санитарной зачистке территории, в том числе и водоема; подготовка территории к общестроительным работам; вертикальная планировка; работы по прокладке коммуникаций, в том числе для освещения и полива; работы по укреплению берега и строительство набережной; устройство ротонд, мостиков и др.; установка малых архитектурных форм и городской скульптуры.

Рис. 4. Концептуальный проект ленточный парк «Ежовский»

Концептуальный проект не только предусматривает архитектурно-планировочное решение, но и предлагает рекомендации по приведению в надлежащий вид селитебной территории – частной застройки (рис. 5), которая формирует эстетическое визуальное восприятие со стороны прогулочной зоны парка за счет организации зелёных ограждений. В качестве живой изгороди на берегу озера Ежово со стороны частной застройки авторами рекомендуется высадка влаголюбивых саженцев ивы, которые не дают большой тени на земельные участки.

Рис. 5. Фотография. Панорамный вид селитебной территории – частной застройки со стороны Ежовского пруда

Выводы. Для жизнедеятельности человека нужен организованный ландшафт, структурно и эстетически отвечающий современным потребностям общества. Эти задачи решает одна из областей архитектурной деятельности – ландшафтный дизайн городской среды. В настоящее время нет устоявшегося термина для этого материально-пространственного объекта. Наибольшее распространение получили два определения: «открытые городские пространства» и «городской интерьер» [6, с. 17]. Поэтому основная идея концептуального проекта заключается в том, чтобы в условиях сложившейся градостроительной ситуации создать открытое городское пространство – удобный многофункциональный туристический комплекс для привлечения туристов и горожан к истории родного города при учете исторического контекста и режимных мероприятий памятника природы регионального значения «Ежовский озерно-родниковый комплекс»; провести реставрационные работы кирпичного здания первой Вятской водонапорной башни путем создания музея и туристско-информационного центра, тем самым преобразовав территорию в комфортное городское парковое пространство.

Библиографический список

1. Вятский водопровод. URL: http://www.adsl.kirov.ru/projects/articles/2015/09/12/vyatskiy_vodoprovod/ (дата обращения 05.03.2020).
2. Безверхова Л. Б. Архитектурный студенческий центр : науч.-метод. изд. 2011. 248 с. : ил.
3. Кашкина Л. В., Кашкин В. А. Основы градостроительства. Дизайн городской среды. М. : Издательский центр Академия», 2017. 352 с.
4. ООПТ России. URL: http://oopt.aari.ru/oopt/ (дата обращения 07.03.2020).
5. Постановление правительства Кировской области от 23.05.2011 № 105/214 «Об утверждении границ и режима особой охраны территорий памятников природы регионального значения «Ежовский озерно-родниковый комплекс» и «Филейская популяция кортузы Маттиоли».
6. Шимко Т. В. Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды. М. : Архитектура-С, 2006. 384 с.

Реализация безопасности труда в BIM-модели проектных работ

Е. А. Солодянкина [a], А. Н. Беляев [b]
студент группы ТБм-1801-01-00 [a]
кандидат технических наук, доцент кафедры
промышленной безопасности и инженерных систем [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: stud114369@vyatsu.ru [a], belyaev@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Строительная площадка является одним из объектов, на котором происходит большинство случаев производственного травматизма. Обеспечение безопасности – одно из важнейших условий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Возникающие проблемы охраны труда часто бывают не учтены при проектировании объектов. По этой причине планирование и проектирование безопасности является значимым фактором для предотвращения травматизма и оценки проблем безопасности строительства. Внедрение информационного моделирования зданий (BIM) в строительной отрасли может являться верным решением обеспечения безопасности строительных площадок и учета опасных производственных факторов на стадии проектирования.

Современные технологии и цифровая модель помогут контролировать технику безопасности и снизить количество случаев производственного травматизма на строительных объектах, а также при эксплуатации зданий.

Ключевые слова: BIM, 3D, техника безопасности, информационное моделирование зданий, охрана труда

Введение. Строительную отрасль можно назвать одной из наиболее травмоопасных отраслей. Управление производственным травматизмом – актуальный вопрос, решение которого позволит уменьшить количество несчастных случаев на строительной площадке. Кроме того, повышение качества условий труда улучшит уровень производственной деятельности.

Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, по данным Федеральной службы государственной статистики [1] за последние пять лет, составляет:

– на 2018 год – 23,6 тыс. человек, в том числе со смертельным исходом – 1,07 тыс. человек;

– на 2017 год – 25,4 тыс. человек, в том числе со смертельным исходом – 1,14 тыс. человек;

– на 2016 год – 26,7 тыс. человек, в том числе со смертельным исходом – 1,29 тыс. человек;

– на 2015 год – 28,2 тыс. человек, в том числе со смертельным исходом – 1,29 тыс. человек;

– на 2014 год – 31,3 тыс. человек, в том числе со смертельным исходом – 1,46 тыс. человек.

Таким образом, совершенствование контроля безопасности строительного производства является важным аспектом сокращения числовых значений данной статистики. Для достижения положительного результата в снижении производственного травматизма требуется курировать весь процесс производства. Ввод информационного моделирования зданий (BIM) в строительную отрасль может стать решением многих проблем, начиная с проектирования и заканчивая охраной труда.

Результаты исследований, их обсуждение. Несмотря на уменьшение численности пострадавших при несчастных случаях на производстве, по данным Федеральной службы государственной статистики [1] за последние пять лет, проблема все еще остается актуальной, так как численность пострадавших при несчастных случаях все еще высокая.

Современные технологии постоянно совершенствуются. Одной из новейших технологий является BIM. Информационное моделирование зданий (BIM) – это процесс создания информационной модели и ее использования, с помощью которой можно управлять всеми ступенями проекта. Кроме того, можно сократить проектные сроки, продлить срок службы объекта, а также учесть опасные производственные факторы.

Реализация безопасности труда в BIM-модели проектных (монтажных) работ является высокоперспективным направлением развития строительного производства.

В исследовании [2] рассмотрены ситуации по охране труда и промышленной безопасности. Приведены статистические данные по травматизму в производстве в зависимости от вида хозяйственной деятельности, а также расходы на обеспечение правильных условий труда.

Переход к BIM упоминается на уровне законодательства РФ. 29 декабря 2014 года Министерство строительства и жилищно-коммунального и гражданского строительства (Минстрой России) подписало приказ № 926/пр

«Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» (в ред. Приказа Минстроя России от 04.03.2015 № 151/пр) [3]. Кроме того, Минстрой России разработал поправки в Градостроительный кодекс Российской Федерации о технологиях информационного моделирования. Также выпущено поручение Президента РФ от 19 июля 2018 г. № Пр-1235 о переходе к системе управления жизненным циклом объектов капитального строительства путем внедрения технологий информационного моделирования [4].

Методика оценки охраны труда и техники безопасности с применением BIM-технологии при оцифровке основных опасных и вредных производственных факторов по видам строительно-монтажных работ рассматривается в статье [5]. Данная методика позволяет выявить опасные производственные факторы в зависимости от вида строительно-монтажных работ с их классификацией.

Вывод. Применение BIM позволяет контролировать процессы на рассматриваемом объекте и предотвращать появление опасных ситуаций. Развитие в этой области принесет огромный вклад в эффективное осуществление проектной деятельности по планированию безопасности объектов, позволит снизить количество случаев производственного травматизма. Кроме того, внедрение BIM поможет оценить уровень охраны труда и вычислить недочеты.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/

2. Кофанов А. В. Безопасность труда в строительном комплексе России // Строительство: наука и образование. 2011. № 2. С. 1–8.

3. Приказ министерства строительства и ЖКХ РФ от 04.03.2015 г. № 151/пр «О внесении изменений в план поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, утвержденный приказом министерства строительства и ЖКХ РФ № 926/приказ от 29 декабря 2014 г.».

4. Поручение президента РФ от 19 июля 2018 года № Пр-1235. URL: http://docs.cntd.ru/ document/550966183. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/.

5. Шарманов В. В. Методика оценки факторов достижения безопасности на строительной площадке на основе информационного моделирования // Академический вестник УралНИИ. 2017. № 3. С. 72–79.

Оценка КПД ГТУ с энергетическим впрыском пара с использованием котла-утилизатора

Д. М. Суворов [a], В. М. Сущих [b], Т. Х. Содикзода [c]
кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплотехники и гидравлики [a]
доцент кафедры теплотехники и гидравлики [b]
студент группы ТиТм-1801-01-00 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: dmilar@mail.ru [a], vimis608@gmail.com [b], tima-ti.97@mail.ru [c]

Аннотация. Актуальность работы определяется решением задачи повышения энергетической эффективности ГТУ с энергетическим впрыском пара. Цель исследования – выявление для таких ГТУ наиболее эффективных зон использования котла-утилизатора обычного типа и конденсационного типа. Основным методом являются сопоставительные расчетные исследования с использованием разработанной авторами математической модели ГТУ в широком диапазоне параметров режимов ее работы. Результаты работы позволили установить экстремальный характер зависимости электрического КПД ГТУ от температуры газов на входе в турбину при различных степенях повышения давления. Установлено, что в области реальных степеней повышения давления использование котла-утилизатора конденсационного типа позволяет получить увеличение КПД ГТУ более чем на 2 процентных пункта и достичь значений КПД, близких к 50%, при установленной оптимальной температуре газов на входе в турбину в диапазоне от 900 до 1100 °С. Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности практической реализации схем ГТУ с котлами-утилизаторами конденсационного типа.

Ключевые слова: ГТУ с впрыском пара, конденсация пара, котел-утилизатор, КПД, эффективность работы.

Введение. Данная работа продолжает тематику расчетных исследований ГТУ с энергетическим впрыском водяного пара (ГТУ STIG), рассмотренную в работах [1–3]. Математическая модель построена на основании расчетных соотношений, представленных в [4, с. 376–378]. В процессе работы ГТУ любого типа значительная доля энергетических потерь приходится на уходящие газы. В этой связи эффективным является использование котла-утилизатора (КУ), причем в данном случае производимый в нем пар подается в камеру сгорания этой же ГТУ [2, с. 350]. В данном расчетном исследовании в случае, если в котле-утилизаторе производится больше пара, чем необходимо для охлаждения камеры сгорания, этот излишний расход пара относится к тепловым потерям схемы. В уходящих газах, поступающих из газовой турбины, содержится значительное количество водяных паров. Очевидно, что неиспользование теплоты этих паров неэффективно. В связи с впрыском водяного пара в камеру сгорания количество водяных паров в уходящих газах увеличивается.

Цель исследования – выявить наиболее эффективные зоны использования котла-утилизатора обычного типа и конденсационного типа при применении ГТУ STIG по критерию максимума электрического КПД установки.

В качестве задач расчётного исследования модно выделить, во-первых, определение факторов, влияющих на энергетическую эффективность ГТУ; во-вторых, совершенствование математической модели для расчета с КУ конденсационного типа, чтобы оценить сравнительную эффективность использования котла-утилизатора обычного и конденсационного типа; в-третьих, проведение сопоставительных расчетов и анализ их результатов.

Методы исследования. Основным методом исследования является расчетное исследование на доработанной для реализации возможности расчета КУ конденсационного типа математической модели, которая описана в [2, с. 350–352]. При этом основным расчетным параметром является КПД ГТУ STIG по выработке электроэнергии. В ходе работы производится сопоставление полученных результатов при работе с КУ обычного типа и конденсационного типа. При этом диапазон исходных данных несколько расширен по сравнению с работой [2]; в частности, рассматриваются температуры на входе в газовую турбину от 700 °С до 1500 °С.

Результаты исследования и их обсуждение. Основные результаты расчетных исследований представлены на рис. 1, 2 и в таблице.

На рис. 1 приведена зависимость КПД ГТУ от температуры газов на входе в газовую турбину (t_3=700÷1500 °С) при различных степенях повышения давления (π=8÷30). Температура наружного воздуха t_1=20 °С. Минимальный коэффициент избытка воздуха α=1,05. Температура газов после котла-утилизатора принята на минимально допустимом уровне t_5=100 °С, причем при расчете предполагается, что теплота водяного пара полностью теряется.

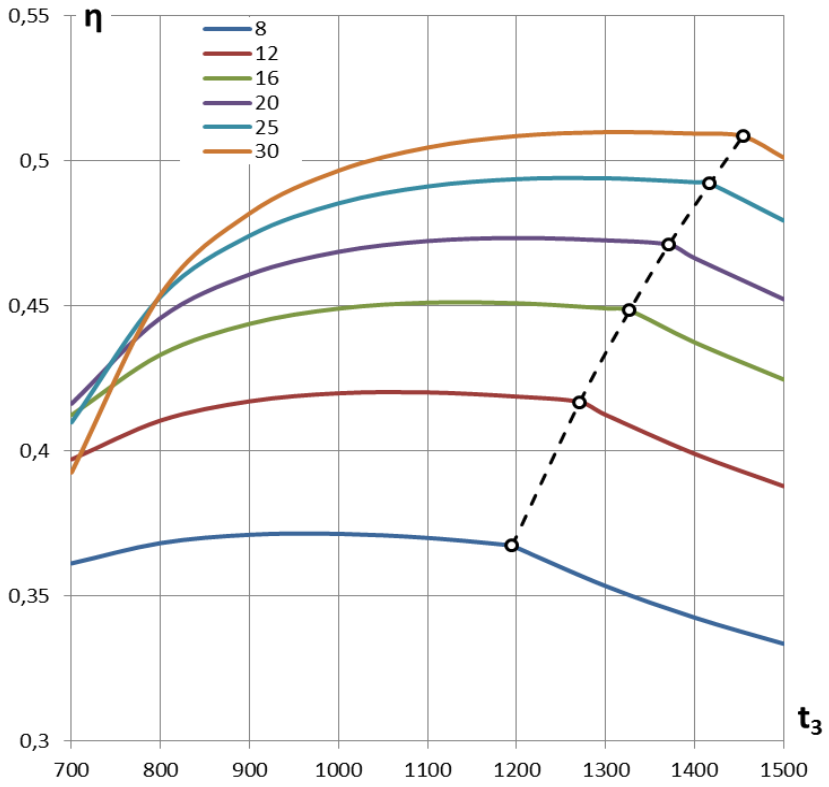


Рис. 1 – Электрический КПД ГТУ η при работе с котлом-утилизатором без конденсации

В широком диапазоне изменения степени повышения давления характер зависимости остается постоянной. Явно выраженный максимум КПД ГТУ при увеличении степени повышения давления смещается в область более высоких температур на входе в газовую турбину.

Пунктирной линией на графике (рис. 1) обозначена граничная температура t_3, при которой котлом-утилизатором вырабатывается количество пара, необходимое для охлаждения камеры сгорания. Повышение температуры приводит к потерям теплоты с излишне вырабатываемым паром и снижению КПД.

На рис. 2 приведена зависимость КПД ГТУ от температуры газов на входе в газовую турбину (t_3=700÷1500 °С) при различных степенях повышения давления (π=8÷30) и использовании КУ с частичной конденсацией водяных паров из уходящих газов. Принята температура наружного воздуха t_1=20 °С. Минимальный коэффициент избытка воздуха α=1,05. Расчеты проведены при температуре газов после котла-утилизатора, также задаваемой на уровне t_5=100 °С; при расчете предполагается, что 30% водяного пара в нем конденсируется.

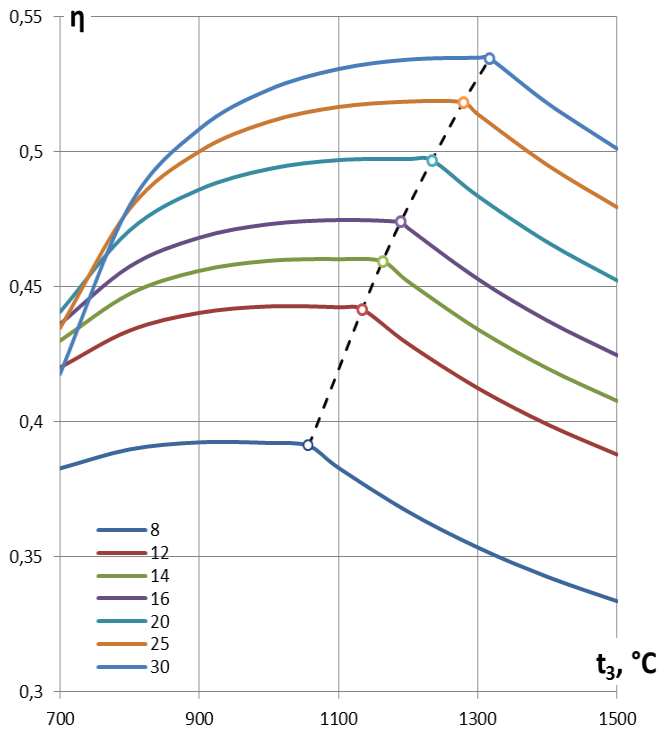


Рис. 2. Электрический КПД ГТУ η при работе с котлом-утилизатором с конденсацией

Увеличение выработки пара в котле-утилизаторе в этом случае приводит к смещению границы предельного расхода влево, в область более низких температур на входе в газовую турбину.

Для сравнения в таблице приводятся значения КПД ГТУ с котлами-утилизаторами двух типов.

Коэффициент полезного действия газотурбинной установки при различных котлах-утилизаторах

π	t_3	700	900	1100	1300	1500
8	А	0,3613	0,3711	0,3700	0,3534	0,3335
	Б	0,3827	0,3924	0,3829	0,3534	0,3335
12	А	0,3971	0,4171	0,4202	0,4125	0,3879
	Б	0,4201	0,4404	0,4424	0,4125	0,3879
16	А	0,4124	0,4438	0,4511	0,4492	0,4246
	Б	0,4362	0,4682	0,4747	0,4529	0,4246
20	А	0,4163	0,4609	0,4724	0,4726	0,4523
	Б	0,4407	0,4860	0,4970	0,4836	0,4523
30	А	0,3926	0,4819	0,5046	0,5099	0,5011
	Б	0,4177	0,5084	0,5307	0,5349	0,5011

Примечание. Вариант «А» – котел-утилизатор без конденсации водяных паров. Вариант «Б» – котел-утилизатор конденсационного типа.

Использование котла-утилизатора конденсационного типа приводит к росту КПД ГТУ на 2–3 процентных пункта в большинстве реальных режимов работы. При высоких температурах на входе в газовую турбину и малых степенях повышения давления изменения КПД не происходит, что объясняется тем, что в этих режимах уже без конденсации водяного пара в котле-утилизаторе в нем производится количество пара, достаточное для охлаждения газов на входе в газовую турбину.

Выводы:

1. Зависимость КПД ГТУ от температуры газов на входе в газовую турбину носит экстремальный характер, причем ее максимум расположен в области практически освоенных параметров работы оборудования как по давлениям, так и по температурам.

2. В области реальных степеней повышения давления при одноступенчатом сжатии, не превышающих 20, использование КУ конденсационного типа позволяет получить увеличение КПД ГТУ более чем на 2 процентных пункта и достичь значений КПД, близких к 50%, при установленной в работе оптимальной температуре газов на входе в газовую турбину в диапазоне от 900 до 1100 °С.

3. Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности практической реализации схем с котлами-утилизаторами конденсационного типа в ГТУ STIG и позволяют определить технические параметры для проектирования как новых установок такого типа в целом, так и их котлов-утилизаторов.

Библиографический список

1. Содикзода Т. Х., Суворов Д. М. Исследование эффективности циклов газотурбинных установок с энергетическим впрыском пара // Энерго- и ресурсосбережения. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений Екатеринбург, 10-14 декабря 2018 г. Екатеринбург, 2018. С. 4194–22.

2. Суворов Д. М., Сущих В. М., Содикзода Т. Х. Расчётная модель ГТУ с энергетическим впрыском водяного пара // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : сб. ст.: XIX Всерос. науч.-практ. конф., 1–26 апреля 2019 г. : в 4 т. Т. 2. Технические и физико-математические науки. – Киров, 2019. – С. 349–354.

3. Суворов Д. М. и др. Energy and economic efficiency of gas turbine units and heat pumps in power-supply systems in the Arctic regions of Russia // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 1 (33). С. 66–76.

4. Паровые и газовые турбины для электростанций : учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний: под ред. А. Г. Костюка. М. : Издательский дом МЭИ, 2016. С. 372–399.

Основные дефекты и способы их предотвращения в изделиях на основе древесины и эпоксидной смолы

Н. А. Тарбеева [a], Е. С. Рублева [b]
инженер-лаборант кафедры «Машины и технология деревообработки» [a]
студент группы ПТКс-2801-02-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: nataly.ntar534@yandex.ru [a], stud106784@vyatsu.ru [b]

Аннотация. При изготовлении деталей и изделий из древесины природную уникальность материала сводят к правильным формам и бездефектным текстурам. Технологии изготовления продукции на основе эпоксидной смолы и древесины позволяют использовать низколиквидное древесное сырье, а также части деревьев без специальной механической обработки. Процесс формирования отливок осложняется особенностями взаимодействия эпоксидного состава с древесиной. Ошибки при подготовке сырья, в режимах заливки и обработки заготовок приводят к образованию пузырей, незаливов, короблению и прочих дефектов. В связи с этим целью данного исследования является анализ технологических ошибок, приводящих к образованию дефектов при формировании отливок. Благодаря экспериментальным исследованиям, а также методам анализа и синтеза разработана классификация дефектов, образующихся в отливках, установлены требования к подготовке сырья и эпоксидного состава, разработаны рекомендации по формированию отливок и извлечению их из форм.

Ключевые слова: обработка древесины, эпоксидная смола, декорирование, способы предотвращения дефектов.

Введение. Древесина – уникальный природный материал, обладающий неповторимыми природными формами и текстурой. Традиционно в промышленности естественную уникальность древесины сводят к правильным геометрическим формам и бездефектным текстурам для изготовления деталей разнообразного назначения [1]. При этом своеобразная красота наростов, кривизны ствола, свилеватости, сучков и прочих дефектов часто не учитывается и подлежит вырезке, что объясняет образование большого количества отходов [2]. Вместе с тем то, что обычно считается пороками древесины, может быть использовано в качестве украшения при создании деталей и изделий мебели и декора. Технологии производства изделий на основе древесины и эпоксидных смол позволяют использовать древесину с пороками, необработанные криволинейные заготовки и прочее древесное сырье (ветви, сучья, хвоя, шишки) для изготовления высококачественной продукции, обладающей значительной прочностью, водостойкостью и уникальным внешним видом [3]. Это позволяет существенно повышать эффективность использования древесного сырья.

По причине того что древесина – пористый материал [4], ее соединение со смолой часто приводит к образованию дефектов, не только снижающих качество готовой продукции, но и приводящих к образованию неустранимого брака.

В связи с этим целью данной работы является анализ ошибок, приводящих к образованию различного рода дефектов при формировании отливки на основе древесины и эпоксидной смолы, и разработка рекомендаций, направленных на их предотвращение.

Задачами данного исследования являются:

1) определение и классификация основных дефектов, влияющих на качество изделий на основе древесины и эпоксидных смол;

2) анализ причин, приводящих к образованию дефектов;

3) разработка приемов и рекомендаций, направленных на предотвращение появления дефектов.

Методы исследования. Исследование основывается на использовании общенаучных логических и эмпирических методов. Для выявления и систематизации дефектов, а также причин, приводящих к их образованию, применяли методы анализа и синтеза, в том числе классифицирования. Данные, полученные по итогам анализа, проверяли экспериментально. Образцы изготавливали на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 с отвердителем ТЭТА. В результате наблюдения за визуальными характеристиками образцов подтверждали справедливость результатов теоретического исследования, устанавливали дополнительные технологические требования для изготовления изделий на основе древесины и эпоксидной смолы.

Результаты исследований, их обсуждение. Анализ источников [5–7], а также комплекс экспериментальных исследований по изготовлению отливок позволили установить, что наиболее часто встречающимися дефектами деталей и изделий на основе древесины и эпоксидных смол являются воздушные пузыри, незаливы, посторонние включения, образование восковой (аминной) пленки, смещение элементов композиции, коробление и др.

Классифицируя дефекты по причинам их возникновения, можно выделить следующие группы:

- дефекты, связанные с ошибками при подготовке древесного сырья;
- дефекты, связанные с ошибками при подготовке эпоксидного состава;
- дефекты, связанные с ошибками формирования отливки;
- дефекты, связанные с ошибками извлечения отливок из форм.

В таблице представлен перечень часто встречающихся дефектов, возникающих при изготовлении изделий на основе древесины и эпоксидной смолы с указанием причин их возникновения, а также методов, направленных на их предупреждение и недопущение.

Классификация дефектов и причин их возникновения

Группа дефектов	Вид дефекта	Причины	Методы предупреждения
Дефекты, связанные с ошибками при подготовке древесного сырья	Воздушные пузыри (белые/прозрачные)	• Повышенная влажность древесного сырья; • открытые поры древесного сырья	• Тщательная сушка древесного сырья; • предварительное покрытие древесины тонким слоем смолы
	Посторонние включения	• Некачественная обработка/ очистка сырья	Тщательная очистка древесного сырья
Дефекты, связанные с ошибками при подготовке эпоксидного состава	Воздушные пузырьки	• Интенсивное перемешивание смолы с отвердителем	• Плавное перемешивание; • нагрев
	Неравномерность распределения пигментов и наполнителей	• Неравномерное перемешивание состава по объему; • резкое введение пигментов и наполнителей	• Тщательное и плавное перемешивание состава; • плавное и постепенное введение наполнителей в смолу
Дефекты, связанные с ошибками формирования отливки	Незаливы	• Сложная конфигурация форм для отливки; • высокая вязкость смолы; • загрязнение формы	• Использование форм простых конфигураций; • снижение вязкости смолы нагревом; • тщательная очистка форм перед заливкой
	Коробление	• Недостаточная жесткость форм; • перемещение неотвержденного состава; • использование неровного основания	• Использование жестких форм; • изготовление жесткой опалубки; • исключение перемещения форм с отливкой
	Прилипание отливки к форме	Адгезия материала формы со смолой	Использование антиадгезивов, силиконовых форм (молдов)

	Смещение элементов отливки	Всплывание древесного сырья и пигментов	• Многослойная заливка; • предварительное закрепление элементов; • введение пигментов в состав до заливки в форму, тщательное перемешивание
	Вскипание смолы	• Однослойная заливка (толстый слой); • использование высоких, узких форм; • разовое наведение больших объемов составов	• Многослойная заливка; • приготовление небольшого объема смолы; • использование нескольких широких емкостей; • отведение теплоты
	Преждевременное отверждение		
	Видимость границы раздела слоев	• Разное соотношение компонентов составов слоев; • недостаточная жесткость форм	• Тщательный контроль соотношения компонентов, наполнителей; • использование жестких форм
	Липкая аминная пленка	Отверждение при пониженной температуре и повышенной влажности воздуха, в присутствии углекислого газа и паров воды	Исключение колебания температуры и влажности, воздействия углекислого газа
Дефекты, связанные с ошибками извлечения отливок из форм	Сколы, вмятины, царапины	• Неаккуратное и преждевременное извлечение отливки из формы; • использование острых инструментов для извлечения отливки	• Выдержка отливки до полного отверждения; • плавное и аккуратное изъятие отливки из формы

Дефекты, связанные с ошибками при подготовке древесного сырья, – это, прежде всего, пузыри и посторонние включения. Очистка (промывка) и сушка используемого сырья поможет избежать данных дефектов. Для предотвращения образования пузырьков, образующихся вследствие выхода воздуха из пор древесины, деревянные заготовки предварительно следует покрыть тонким слоем смолы для запечатывания пор.

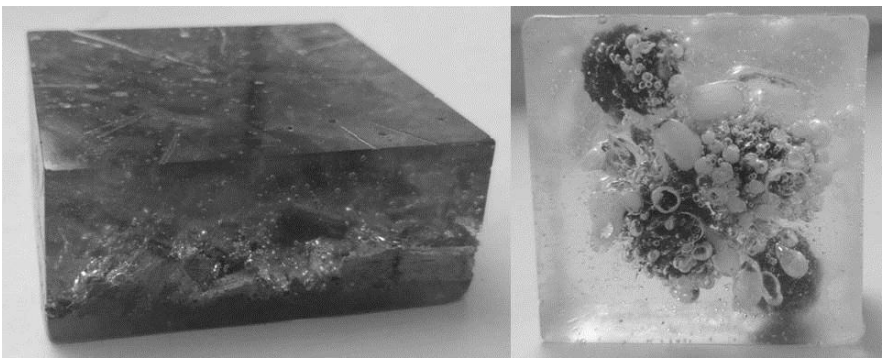
Образование пузырьков воздуха в отливках может быть также связано с неправильной подготовкой эпоксидного состава, а именно интенсивным смешением смолы с отвердителем. Постепенное введение отвердителя и плавное, но тщательное перемешивание уменьшит количество образующихся пузырей. При этом дополнительный нагрев снизит вязкость смолы, тем самым облегчит выход мелких пузырьков воздуха на поверхность до отверждения. При введении в состав смолы пигментов тщательное перемешивание также крайне необ-

ходимо. Разнородность включений и окраски часто ухудшает внешний вид изделий на основе эпоксидной смолы. Кроме того, наводить состав смолы предпочтительно в небольших объемах в широких емкостях.

Ошибки при формировании отливок в формах также являются причинами дефектов. Незаливы, коробление, смещение элементов, нарушение композиции и преждевременное отверждение, в том числе вскипание, смолы приводят в лучшем случае к необходимости дополнительной механической обработки отливок после отверждения, в худшем – к неустранимому браку. Для избежания этого рекомендуется придерживаться следующих правил. Предпочтительно использовать формы простых конфигураций или перед заливкой в сложные формы снижать вязкость смолы нагревом. Элементы, обладающие меньшей по сравнению со смолой плотностью, предварительно закреплять (склеивать между собой, фиксировать ко дну каплями смолы). Для крупных отливок использовать жесткие формы и многослойную заливку (оптимальная толщина слоя – 1 см). Перед заливкой формы необходимо устанавливать на ровное и жесткое горизонтальное основание. Неотвержденные отливки не рекомендуется перемещать для исключения коробления. Предотвратить образование аминной пленки на поверхности отливок можно исключением температурных и влажностных колебаний окружающей среды, воздействия углекислого газа.

Извлечение отвержденной отливки из формы требует особой аккуратности. Вмятины от пальцев часто образуются в результате преждевременного извлечения отливок из форм, когда смола не набрала максимальную прочность. Сколы и вмятины являются результатом использования различных острых инструментов при извлечении.

Рассмотренные ошибки привели к образованию дефектов декоративных деталей, представленных на рис. 1а, б. Благодаря соблюдению описанных приемов удалось получить более качественную деталь (рис. 2).



а б

Рис. 1. Декоративные детали с дефектами: а – на основе эпоксидной смолы и щепы дуба, б – на основе эпоксидной смолы и ольховых шишек

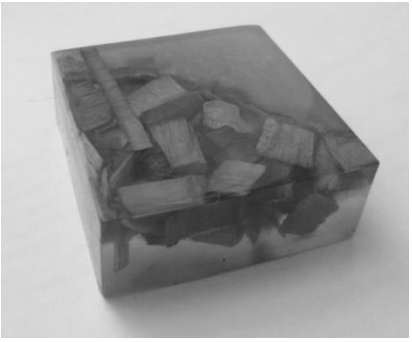


Рис. 2. Отливка без дефектов на основе эпоксидной смолы и щепы яблони

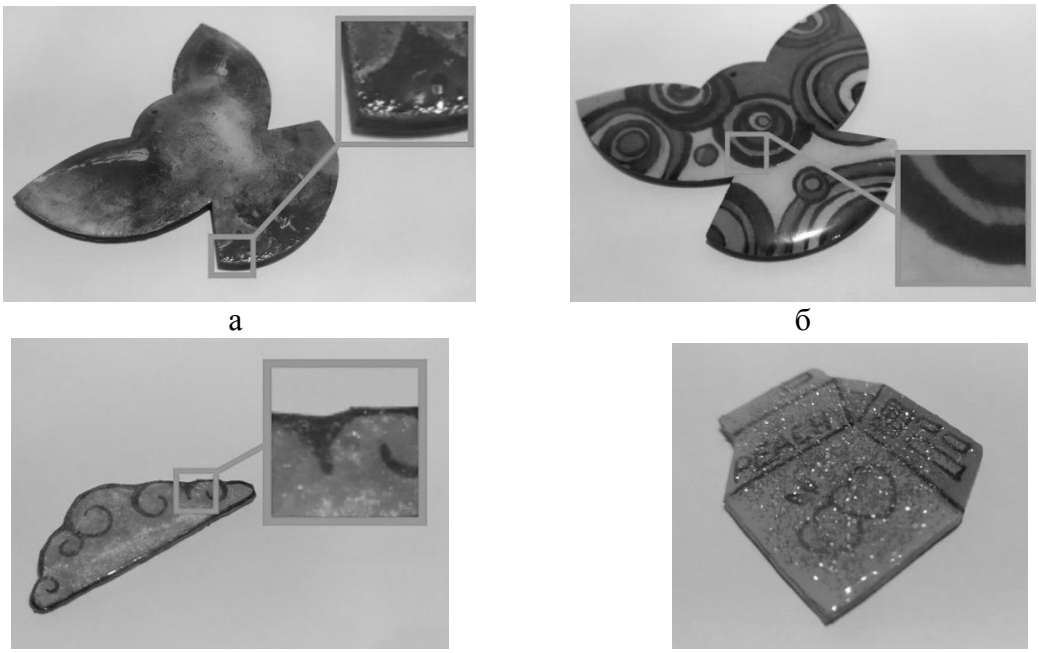
Кроме дефектов, приведенных в таблице, при обработке эпоксидной смолой предварительно окрашенных заготовок могут встретиться также дефекты, зависящие от состава лакокрасочного материала. Испытания проводили на образцах, окрашенных гуашью, матовой темперой и глянцевым акрилом.

При заливке заготовки с нанесенным одним или более слоями гуаши получили гладкую, прозрачную, глянцевую поверхность без пузырей. Это может быть связано с грунтованием краской. Вместе с тем отмечено неполное смачивание и низкая адгезия на краях заготовки (рис. 3а), а также увеличение яркости декоративного покрытия после застывания смолы, которое следует учитывать при выборе цветовой гаммы изделия. Окрашивание подложки гуашью можно применять, проводя обработку кромок заготовки.

При нанесении эпоксидной смолы на заготовки, окрашенные матовой темперой, покрытие имеет качество ниже, чем при окрашивании гуашью. Эпоксидный слой имеет низкую прозрачность, внутри заготовки наблюдаются мелкие пузыри (рис. 3б). Данные дефекты являются неустранимыми и могут

возникать вследствие малой проникающей способности темперы. Использовать темперу для окрашивания поверхности заготовки перед заливкой эпоксидной смолой нежелательно.

При покрытии эпоксидной смолой заготовки, расписанной глянцевым акрилом, поверхность изделия выглядит прозрачной и гладкой, однако имеются дефекты в виде пробелов в заливке (рис. 3в). Они возникают в процессе застывания смолы. Дефект может быть устранен путем нанесения второго слоя эпоксидной смолы либо дополнительного покрытия быстроотвердевающим в УФ-излучении составом на основе акриловых смол (рис. 3г).



а б в г

Рис. 3. Результат покрытия заготовки: а – гуашью, б – матовой темперой, в – глянцевым акрилом, г – глянцевым акрилом с дополнительным слоем УФ-смолы

Выводы. В результате исследования технологий изготовления изделий на основе древесины и эпоксидной смолы установлены основные технологические ошибки, приводящие к образованию дефектов. Классификация данных ошибок по группам позволила во всей полноте рассмотреть причины их возникновения и сформулировать обобщённые требования к подготовке древесного сырья, смолы, технике формирования отливки и ее извлечения. Соблюдение на практике установленных в данной работе рекомендаций позволит

получать качественные бездефектные отливки для изготовления элементов мебели, дизайна и декора.

Библиографический список

1. Гончаров Н. А., Башинский В. Ю., Буглай Б. М. Технология изделий из древесины : учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М. : Лесная пром-сть, 1990. 528 с.

2. Волынский В. Н., Пластинин С. Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Архангельск : Изд-во Арх. гос. техн. университета, 2004. 270 с.

3. Особенности мебели выполненной из эпоксидной смолы, обзор моделей // MBLX.RU. URL: https://mblx.ru/materialy/846-mebel-iz-epoksidnoj-smoly.html (дата обращения 17.02.2020).

4. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учебник. М. : ГОУ ВПО МГУ Л, 2007. 351 с.

5. 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.

6. Возникающие проблемы и их решение // UA-Marine professionals in yachting. URL: https://ua-marine.com.ua/katalog/epoksidnaya-smola-west-system/instrukcii-po-primeneniu/voznikayshie-problemi-i-ih-reshenie/ (дата обращения 19.02.2020).

7. Дефекты, проблемы, их профилактика и устранение // Магазин эпоксидных смол. URL: https://ru-smola.com (дата обращения 19.02.2020).

Оценка выбора ценовых категорий электроэнергии на примере предприятий Кировской области и Республики Коми

В. М. Холманских [a], Н. А. Васильева [b], А. С. Козлов [c]
Кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжение [a]
студент группы ЭиЭм-1801 [b, c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: usr00445@vyatsu.ru [a], stud118541@vyatsu.ru [b], stud118544@vyatsu.ru [c]

Аннотация. Сегодня нет ни одного промышленного сектора или какой-либо другой сферы, в которой электричество не используется. Тем не менее немногие руководители считают, что экономия денег на оплате услуг электроэнергии возможна не только благодаря энергосберегающим технологиям. Актуальность данной статьи подтверждается тем, что в ней анализируется эффективность одного из организационных вопросов по энергоснабжению. Цель статьи – дать предприятиям рекомендации по оптимизации ценовых категорий электроэнергии для формирования договоров на энергопотребление. В работе проводился статистический анализ реального расхода электроэнергии предприятий за отчетные периоды. В результате предприятиям рекомендованы наиболее выгодные ценовые категории электроэнергии. Как оказалось, для предприятий с разрешенными 4-й и 6-й ценовыми категориями экономический эффект от их выбора незначительный, в то время как для предприятий с разрешенными 1, 3 и 4-й ценовыми категориями целесообразно выполнить сравнительные расчеты для каждой категории и выбрать из них оптимальную. Результаты данной работы полезны для оптимизации тарифных планов на электроэнергию предприятиям с разрешенными 1, 3, 4, 6-й ценовыми категориями.

Ключевые слова: ценовые категории электроэнергии, выбор категорий, тарифные планы, энергосбережение.

Введение. Объектом исследования являлись предприятия в гг. Кирове и Сыктывкаре. Разрешенные ценовые категории (далее категории) электроэнергии для них 1, 3, 4 и 4, 6 соответственно.

Предмет исследования – категории электроэнергии. Сейчас потребителям электроэнергии предлагается 6 категорий [1]. Предприятия могут выбирать любую из них с учетом ограничений.

1-я категория – учет электроэнергии в целом за месяц по показаниям обычного эл. счетчика (счетчиками электрической энергии). 2-я категория – ведется дифференцированный учет электроэнергии: либо двухзонный (день/ночь), либо трехзонный: день/ночь/пик многотарифными эл. счетчиками. Для оплаты по 3, 4 и 6-й категориям используют эл. счетчики почасового учета. Это приборы учета с наличием встроенной памяти, в которую записываются архивы потребления электроэнергии.

Тариф на электроэнергию включает в себя плату за электроэнергию и плату за услуги по ее передаче. Данные составляющие являются одноставочными либо двухставочными. Одноставочные содержат в себе оплату только лишь за энергию, а двухставочные – еще и за мощность (в ставке на электрическую энергию – генераторная мощность, в ставке на передачу – транспортная мощность). Генераторная – это среднее арифметическое из величин мощности, определенных в рабочие дни месяца в часы пиковой нагрузки гарантирующего поставщика (ГП); транспортная – среднее арифметическое из максимальных величин мощности, определенных в рабочие дни месяца в часы пиковой нагрузки, установленные системным оператором. Эти часы заранее публикуются на год вперед. По этой причине предварительно установлено, в какие часы будет рассчитана транспортная мощность. Пиковые часы ГП становятся известны только в следующем месяце [3].

Все почасовые тарифы предполагают двухставочный учет электроэнергии. Итак, 3-я категория – если к оплате предъявляется не только электроэнергия, а также генераторная мощность. 4-я категория – если к оплате предъявляется электроэнергия, генераторная и транспортная мощности. По 3-й и 4-й категориям нет предварительного планирования электропотребления. 5-я и 6-я категории предусматривают его планирование.

Кроме того, на цену электроэнергии влияют диапазон мощности потребителей и уровень питающего напряжения. Предусмотрены две группы потребителей в зависимости от максимальной присоединенной мощности: с мощностью менее 670 кВт; с мощностью более 670 кВт. Потребители 1-й группы могут выбрать любую категорию, а потребители 2-й только 3, 4, 5 и 6-ю категории.

Согласно уровням напряжения предусмотрена градация потребителей: ГН – потребители, присоединенные напрямую от генерирующей компании; ВН – присоединение на сетях 110 кВ и выше; СН1 – присоединение на сетях от 35 кВ, однако не более 110 кВ; СН2 – присоединение на сетях от 1 кВ, однако не более 35 кВ; НН – присоединение на сетях до 1 кВ. Чем выше уровень напряжения, тем ниже тариф. Есть ограничения, связанные с выбором катего-

рии. Потребители осуществляют этот выбор сами путем уведомления ГП в течение одного месяца с даты принятия решения об установлении тарифов на услуги по передаче электрической энергии в своем регионе. При этом выбранная категория применяется для расчетов с даты введения в действие указанных тарифов на услуги по передаче электрической энергии. Изменение категории осуществляется путем направления уведомления гарантирующему поставщику за 10 рабочих дней до начала расчетного периода, с которого предполагается изменить категорию.

Получается, перейти с 1, 2, 3 и 5-й категорий (одноставочный тариф на передачу) на 4-ю и 6-ю категории (двухставочный тариф) возможно только раз в год в течение одного месяца после утверждения тарифов на передачу электрической энергии. В течение года возможен переход каждый месяц в пределах 1, 2, 3 и 5-й категорий.

Цель исследования – показать предприятиям, как самостоятельно выполнить оптимальный выбор категорий.

Задачи исследования: 1. На основе нормативных документов выполнить реальные сравнительные расчеты эффективности отдельных категорий.

2. Сделать выводы о необходимости таких расчетов.

Ведущий подход. Теоретический анализ статистических данных объемов потребления электроэнергии. Сравнение стоимости потребленной электроэнергии при расчете по нескольким ценовым категориям.

Результаты исследования и их обсуждение. Первоначально предполагалось на примере нескольких предприятий в г. Кирове выбрать оптимальные для них категории. Для этой цели необходимо было провести расчеты и сравнить стоимость электроэнергии, рассчитанной для разных категорий. В Кировской области нет предприятий 5-й и 6-й категорий, кроме того, согласно законодательству РФ, предприятия с мощностью более 670 кВт не могут рассчитываться по 1-й или 2-й категориям. Имеются цены для каждого часа электроэнергии и одна для мощности в целом. Цены на электроэнергию для 3-й категории включают в себя только составляющую транспортировки ее до потребителя. Расчет

3-й ценовой категории для одного дня показан в табл. 1, при расчете по 4-й категории (см. табл. 2) должна быть известна электроэнергия по каждому часу, а ее цена включает оплату транспортировки только частично.

Расчет 1-й категории прост – расход за месяц умножается на цену. Расчет 2-й категории невозможен, так как недостаточно данных.

В табл. 3 дано сравнение 1, 3 и 4-й категорий за октябрь 2019 г.

Таблица 1

Расчет третьей ценовой категории (* – отчетный час)

День	Час*	Расход	Цена	Цена передачи	Сбытовая надбавка	Иные	Цена в час	Стоимость
–	–	*кВтч*	*руб./кВтч*	*руб./кВтч*	*руб./кВтч*	*руб./кВтч*	*руб./кВтч*	*руб.*
1	0	7,67175	0,91539	4,23916	0,30047	0,00255	5,45757	41,87
1	1	9,57127	0,84958	4,23916	0,30047	0,00255	5,39176	51,61
1	2	8,27724	0,80225	4,23916	0,30047	0,00255	5,34443	44,24
1	3	7,92138	0,83251	4,23916	0,30047	0,00255	5,37469	42,57
1	4	8,29839	0,94857	4,23916	0,30047	0,00255	5,49075	45,56
1	5	8,17689	1,00368	4,23916	0,30047	0,00255	5,54586	45,35
1	6	11,48528	1,20974	4,23916	0,30047	0,00255	5,75192	66,06
1	7	13,81862	1,27115	4,23916	0,30047	0,00255	5,81333	80,33
1	8	13,66535	1,26452	4,23916	0,30047	0,00255	5,8067	79,35
1	9*	14,05526	1,33302	4,23916	0,30047	0,00255	5,8752	82,58
1	10	14,61758	1,32855	4,23916	0,30047	0,00255	5,87073	85,82
1	11	14,46494	1,30762	4,23916	0,30047	0,00255	5,8498	84,62
1	12	14,4396	1,28962	4,23916	0,30047	0,00255	5,8318	84,21
1	13	16,44499	1,29922	4,23916	0,30047	0,00255	5,8414	96,06
1	14	14,29932	1,29777	4,23916	0,30047	0,00255	5,83995	83,51
1	15	13,52445	1,27349	4,23916	0,30047	0,00255	5,81567	78,65
1	16	14,66829	1,26239	4,23916	0,30047	0,00255	5,80457	85,14
1	17	14,26237	1,26402	4,23916	0,30047	0,00255	5,8062	82,81
1	18	14,39214	1,2943	4,23916	0,30047	0,00255	5,83648	84,00
1	19	14,88184	1,33277	4,23916	0,30047	0,00255	5,87495	87,43
1	20	14,95618	1,2315	4,23916	0,30047	0,00255	5,77368	86,35
1	21	14,16995	1,25794	4,23916	0,30047	0,00255	5,80012	82,19
1	22	14,17541	1,21207	4,23916	0,30047	0,00255	5,75425	81,57
1	23	9,74171	1,06382	4,23916	0,30047	0,00255	5,606	54,61

Таблица 2

Расчет четвертой ценовой категории

День	Час	Расход	Цена	Цена передачи	Сбытовая надбавка	Иные	Цена в час	Стоимость
–	–	*кВт·ч*	*руб./кВт·ч*	*руб./ кВт·ч*	*руб./ кВт·ч*	*руб./ кВт·ч*	*руб./ кВт·ч*	*руб.*
1	0	7,67175	0,91539	0,70007	0,30047	0,00255	1,91848	14,72
1	1	9,57127	0,84958	0,70007	0,30047	0,00255	1,85267	17,73

1	2	8,27724	0,80225	0,70007	0,30047	0,00255	1,80534	14,94
1	3	7,92138	0,83251	0,70007	0,30047	0,00255	1,8356	14,54
1	4	8,29839	0,94857	0,70007	0,30047	0,00255	1,95166	16,2
1	5	8,17689	1,00368	0,70007	0,30047	0,00255	2,00677	16,41
1	6	11,48528	1,20974	0,70007	0,30047	0,00255	2,21283	25,41
1	7	13,81862	1,27115	0,70007	0,30047	0,00255	2,27424	31,43
1	8	13,66535	1,26452	0,70007	0,30047	0,00255	2,26761	30,99
1	9	14,05526	1,33302	0,70007	0,30047	0,00255	2,33611	32,83
1	10	14,61758	1,32855	0,70007	0,30047	0,00255	2,33164	34,08
1	11	14,46494	1,30762	0,70007	0,30047	0,00255	2,31071	33,42
1	12	14,4396	1,28962	0,70007	0,30047	0,00255	2,29271	33,11
1	13	16,44499	1,29922	0,70007	0,30047	0,00255	2,30231	37,86
1	14	14,29932	1,29777	0,70007	0,30047	0,00255	2,30086	32,9
1	15	13,52445	1,27349	0,70007	0,30047	0,00255	2,27658	30,79
1	16	14,66829	1,26239	0,70007	0,30047	0,00255	2,26548	33,23
1	17	14,26237	1,26402	0,70007	0,30047	0,00255	2,26711	32,33
1	18	14,39214	1,2943	0,70007	0,30047	0,00255	2,29739	33,06
1	19	14,88184	1,33277	0,70007	0,30047	0,00255	2,33586	34,76
1	20	14,95618	1,2315	0,70007	0,30047	0,00255	2,23459	33,42
1	21	14,16995	1,25794	0,70007	0,30047	0,00255	2,26103	32,04
1	22	14,17541	1,21207	0,70007	0,30047	0,00255	2,21516	31,4
1	23	9,74171	1,06382	0,70007	0,30047	0,00255	2,06691	20,14

Таблица 3

Сравнение ценовых категорий (ЦК)

Расход	Цена 1ЦК	Стоимость						
		1ЦК	э/э 3ЦК	Мощности 3ЦК	3ЦК	э/э 4ЦК	Мощности 4ЦК	4ЦК
кВт·ч	*руб./кВт·ч*	*руб.*	*руб.*	*руб.*	*руб.*	*руб.*	*руб.*	*руб.*
9261	6,99504	64781,07	53673,89	11611,55	65285,44	20898,36	36365,22	57263,58

В Республике Коми электроэнергия отпускается по регулируемым ценам. Расчеты выполнялись для ООО «Промтехинвест» с заявленной мощностью 1200 кВт по уровню напряжения СН2, 4-я категория. Для него не предусмотрен выбор 1, 2, 3 и 5-й категорий. Поэтому выполняем расчеты для 4-й и 6-й категорий.

Используем ведомости энергопотребления за ноябрь 2019 г. Почасовые ставки и ставки за генераторную и транспортную мощности берем с сайта [3].

В табл. 4 представлен расчет почасового потребления. Его стоимость составила 245 122,67 руб. В табл. 5 даны стоимости сетевой и транспортной мощностей. Оплата потребителем за электроэнергию по 4-й категории составила 755 340,59 руб. В табл. 6 приведен расчет для 6-й категории. Стоимость почасового потребления составила 243 959,29 руб.

Величина сетевой и транспортной мощности для данной ценовой категории такая же, как и для 4-й ценовой категории (см. табл. 5).

Итоговая сумма по 6-й категории составила 754 177,03 руб. (без *НДС)*.

Таблица 4

Расчет почасового потребления
за 1 ноября 2019 г.

Дата (ноябрь 2020 г.)	Часы	Расход, кВт·ч	Ставка, руб.	Стоимость эл. энергии, руб.
1 22 222	0	54	2,077930	112,20822
	1	58	2,070830	120,10814
	2	53	2,062420	109,30826
	3	55	2,071060	113,9083
	4	49	2,067000	101,283
	5	51	2,076730	105,91323
	6	61	2,033550	124,04655
	7	73	2,019630	147,43299
	8	87	1,987240	172,88988
	9	95	2,006750	190,64125
	10	77	2,017690	155,36213
	11	68	2,014590	136,99212
	12	56	2,007570	112,42392
	13	64	2,008880	128,56832
	14	73	2,015120	147,10376
	15	65	2,023320	131,5158
	16	63	2,037200	128,3436
17	17	61	2,032130	123,95993
	18	60	2,029650	121,779
	19	59	2,021470	119,26673
	20	63	2,008000	126,504
	21	52	2,010220	104,53144
	22	56	2,045740	114,56144
	23	48	2,021090	97,01232

Таблица 5

Расчет стоимости
за мощности сетевую и транспортную

Мощность сетевая	243 кВт	286,8007 руб/кВт	69692,56 руб.
Мощность транспортная	284 кВт	1551,145 руб/кВт	440525,18 руб.

Таблица 6

Расчет почасового потребления
на примере 1 ноября 2019 г.

Расчет по 6 ЦК				
Дата (ноябрь 2020 г.)	Часы	Расход, кВт·ч	Ставка, руб.	Сумма без НДС, руб.
1	0	54	2,07589	112,09806
	1 1	58	2,06707	119,89006
	2 2	53	2,06051	109,20703
	3 3	55	2,06791	113,73505
	4 4	49	2,06536	101,20264
	5 5	51	2,07509	105,82959
	6 6	61	2,03026	123,84586
	7 7	73	2,01713	147,25049
	8 8	87	1,98505	172,69935
	9 9	95	2,00817	190,77615
	10 10	77	2,01729	155,33133
	11 11	68	2,013	136,884
	12 12	56	2,00572	112,32032
	13 13	64	2,00472	128,30208
	14 14	73	2,00693	146,50589
	15 15	65	2,01982	131,2883
	16 16	63	2,03536	128,22768
	17 17	61	2,02797	123,70617
	18	60	2,02656	121,5936
	19	59	2,01849	119,09091
	20	63	2,00342	126,21546
	21	52	2,00873	104,45396
	22	56	2,04032	114,25792
	23	48	2,01473	96,70704

Выводы. 1. Анализ наиболее значимых ограничений при выборе категорий показывает, что предприятиям надо учитывать совокупность нормативных ограничений. Только при их правильной оценке можно оптимизировать ценовую категорию электроэнергии.

2. а) Предприятию X, с разрешенными 1, 2, 3 и 4-й категориями, целесообразно перейти с 1-й и 3-й на 4-ю категорию. При равномерном потреблении электроэнергии экономия составит 8021,86x12=96262,32 руб. в год. Таким образом, подобным предприятиям целесообразно выполнить сравнительные расчеты для всех разрешенных категорий.

б) Предприятию Y с разрешенными 4 и 6-й категориями можно перейти с 4-й на 6-ю ценовую категорию. Однако при равномерном потреблении электроэнергии годовая экономия составит всего 1163,59x12=13963,08 руб. Таким образом, подобным предприятиям нецелесообразно менять категории.

Результаты данной работы полезны для оптимизации тарифных планов на электроэнергию предприятиям с разрешенными 1, 3, 4, 6-ми ценовыми категориями.

Библиографический список

1. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии : Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 № 442. Доступ из справ.-поисков. системы «КонсультантПлюс».

2. Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности : Постановление Правительства РФ от 27.12.2010 № 1172. Доступ из справ.-поисков. системы «КонсультантПлюс».

3. Тарифы на электрическую энергию. URL: https://vk.com/away.php?utf=1&to=http%3A%2F%2Fkomiesc.ru%2Flegal_entities%2Ftariffs2018%2Felectricity-tariffs%2F (дата обращения 05.11.2019).

4. Энергомарт. URL: https://en-mart.com/ (дата обращения 27.11.2019).

Расчетный анализ эффективности использования детандер-генераторной установки на Кировской ТЭЦ-5

А. Г. Шемпелев [a], Д. К. Поздеев [b], В. Ю. Тарасов [c]
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и гидравлика» [a]
студент группы ТиТб-4801-01-00 [b], студент группы ТиТб-4801-01-00 [c]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b, c]
E-mail: agshem@mail.ru [a], dearke@mail.ru [b], elow.kain@gmail.com [c]

Аннотация. Использование перепада давления газа, дросселируемого перед его сжиганием, является одним из эффективных способов энергосбережения. Для реализации этого способа получения электроэнергии в России и мире используются детандер-генераторные агрегаты (ДГА). Целью настоящей работы является проведение расчетного анализа эффективности использования детандер-генераторного агрегата на Кировской ТЭЦ-5. Исследования проводились на основе представленных в научной литературе расчетных методик и данных по эксплуатации подобных установок на ТЭЦ. В ходе проведения исследований проведена оценка потенциала избыточного давления транспортируемого газа, выбран выпускаемый промышленностью тип ДГА, предложена новая схема его подключения к ГРП и оборудованию ТЭЦ, произведен расчет теплообменников в составе этой схемы. Проведена оценка экономической эффективности проекта. Проведенные исследования показали возможность и целесообразность использования на Кировской ТЭЦ-5 детандер-генераторного агрегата ЭТДА-400, установленной электрической мощностью 4 МВт. Технико-экономические расчеты позволили установить срок окупаемости проекта не более трех лет, что является вполне привлекательным для инвестиций.

Ключевые слова: газораспределительная станция, турбодетандер, вторичные энергоресурсы, сетевая вода, эффективность.

Введение. В настоящее время все более актуальным становится получение электроэнергии на основе бестопливных инновационных технологий. Одним из направлений использования таких технологий является применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА), монтируемых на газопроводах непосредственно вблизи потребителей газового топлива. В этом случае появляется возможность преобразования потенциальной энергии дросселируемого газа в электроэнергию без его сжигания [1–6]. Особенно эффективно применение таких установок на ТЭС, потребляющих большое количество газообразного топлива. В течение длительного периода времени ДГА используются в странах Западной Европы (Германия, Италия и др.) [1], на Лукомльской ГРЭС и Минской ТЭЦ-4 в Белоруссии [7], на ряде российских ТЭЦ [8]. В этом случае ДГА, устанавливаемый параллельно газораспределительным станциям (ГРС) и газорегуляторным пунктам (ГРП), выполняет их функции в части снижения давления газа до значений, необходимых потребителю.

Процесс расширения газа в ДГА близок к изоэнтропийному и сопровождается существенным снижением температуры [9]. Так, при степени расширения 4,16 перепад температур составляет 100 °С, а при степени расширения 5,28 – 120 °С. Использование газа с отрицательными температурами недопустимо, так как это приводит к выходу из строя газового оборудования, выпадению гидратов, увеличивающих эрозионный износ; по этой причине необходима установка дополнительных подогревателях газа перед ДГА, обеспечивающих температуру газа на выходе из ГРП (ГРС) выше температуры точки росы.

Использование ДГА на ТЭЦ позволяет без затрат топлива увеличить их мощность на 1–10 МВт, снизить затраты удельные расходы топлива на 0,5–0,6 кг условного топлива на вырабатываемый МВт·ч электроэнергии при сроке окупаемости менее трех лет [6].

Сравнительные данные по инвестиционной и эксплуатационной стоимости установок ДГА представлены в табл. 1

Таблица 1

Сравнительные данные по эксплуатационной стоимости

	Тип оборудования	ДГА	ГЭС	ТЭС/ТЭЦ
Инвестиционная и эксплуатационная стоимость установок ДГА существенно меньше, чем у других традиционных источников электроэнергии	Капитальные затраты USD/кВт	300–500	1000–3000	650–14000
	Операционные затраты USD/кВт ч	< 0,01	< 0,01	0,05

Целью настоящей работы является проведение расчетного анализа эффективности использования детандер-генераторного агрегата на Кировской ТЭЦ-5.

Ведущий подход. В качестве объекта исследований принята система газоснабжения Кировской ТЭЦ-5. Схема газоснабжения представлена на рис. 1.

Из представленной схемы видно, что имеется возможность установки ДГА параллельно ГРП-1 и ГРП-2. В первом случае в ДГА срабатывается перепад давлений от 0,6 до 0,15 МПа, а во втором – от 1,2 до 0,15 МПа.

Обзор научно-технической литературы показал, что существует ряд ограничений по использованию ДГА на ТЭЦ [8, 12].

1. По данным заводов-изготовителей температура на входе ДГА не должна превышать 80 ^{o}С, а на выходе должна быть не ниже минус 20 ^{o}С.

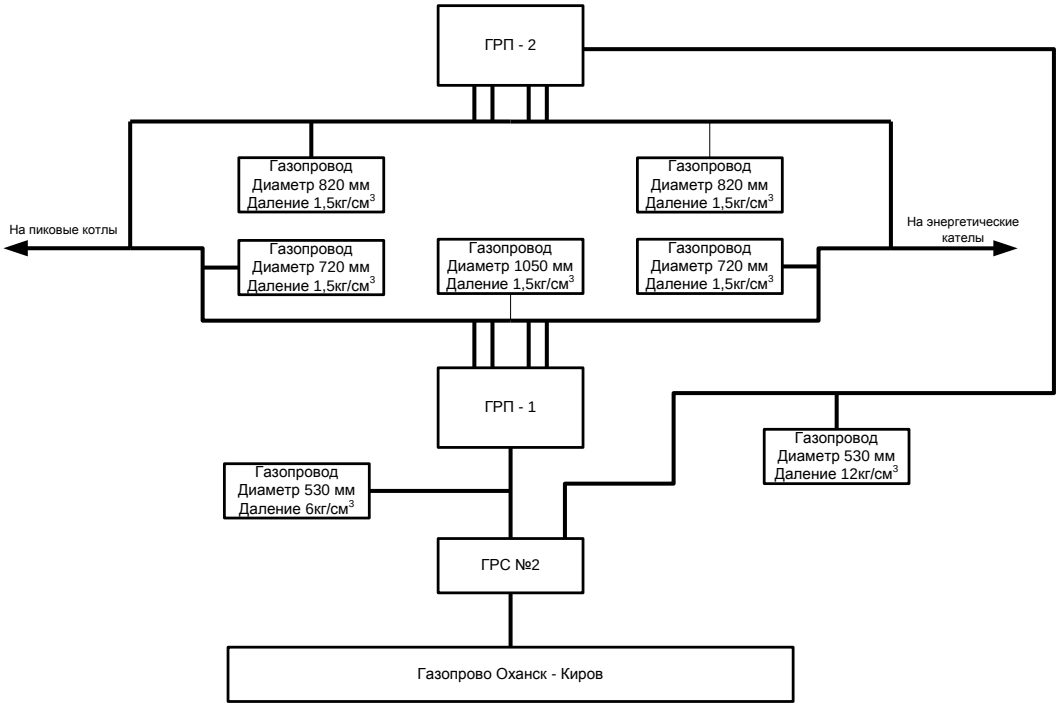


Рис.1. Схема газоснабжения Кировской ТЭЦ-5.
Максимальная потребность ТЭЦ–5 в газе (энергетические + пиковые котлы) 200 тыс. нм^3/ч.
Расход газа на ТЭЦ-5 ограничен пропускной способностью ГРС № 2, равной 160 тыс. нм^3/ч

2. Согласно ГОСТ 5542-2014 «Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения» температура газа на выходе из ГРС должна быть не ниже минус 10 ^{o}С.

3. Использование ДГА на ТЭЦ не должно накладывать каких-либо ограничений на режимы эксплуатации ТЭЦ

Исходя из этих ограничений, для эффективного использования ДГА на ТЭЦ необходимо:

– для выбранной ТЭЦ по методикам [10, 11] произвести расчетную оценку потенциала вторичных энергетических ресурсов избыточного давления транспортируемого газа;

– определить исходные данные и по результатам расчетов выбрать детандер-генераторный агрегат и предложить схему его подключения к ГРП;

– по существующим методикам произвести расчет подогревателя газа, устанавливаемого перед ДГА;

– оценить эффективность использования ДГА на ТЭЦ.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведены серии расчетов по оценке энергетических потенциалов от использования энергии газового потока, поступающего на ТЭЦ для случаев установки ДГА на ГРП-1 и ГРП-2.

Результаты расчетов приведены на рис. 2а и 2б.

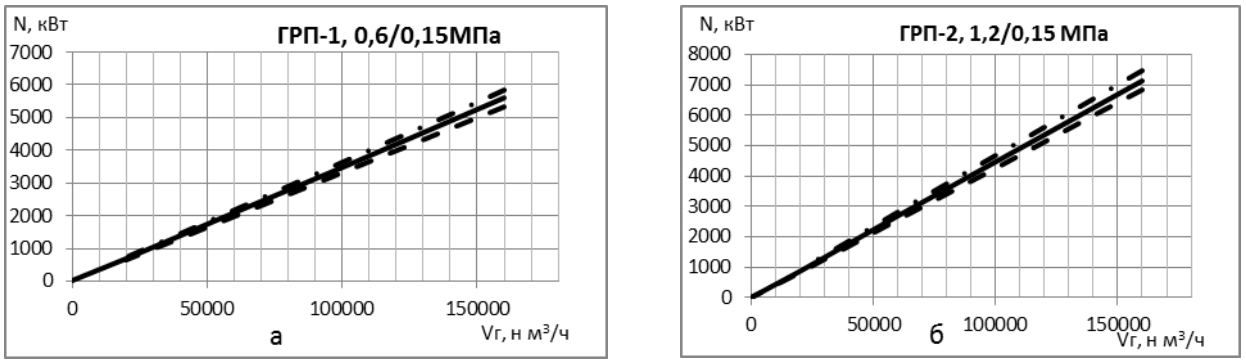


Рис. 2. Зависимость располагаемой мощности от расхода газа через ГРП.
— ● — ● — – температура газа перед ДГА – 100 °С;
—— – температура газа перед ДГА – 80 °С; – – – – температура газа перед ДГА – 50 °С;
внутренний КПД ДГА – 85%; электрический КПД ДГА – 0,95%

Проведенный анализ с помощью h-s диаграммы природного газа показал, что использование имеющегося перепада давлений на ГРП-2, при ограничениях температуры газа на входе в ДГА приводит к недопустимо низким его температурам на выходе. Указанное обстоятельство требует установки дополнительного подогревателя газа после ДГА, что существенно усложняет тепловую схему его использования.

Более приемлемой является установка ДГА на ГРП-1. В этом случае при требуемой температуре газа на входе 80 °С температура газа на выходе будет около 0 °С, что вполне допустимо.

В соответствии со средней величиной расхода газа на ТЭЦ порядка 110 тыс. нм^3/ч по данным, представленным на рис. 2а, определена мощность ДГА – 4000 кВт.

Указанным требованиям удовлетворяет выпускаемый промышленностью агрегат ЭТДА-4000 с характеристиками, представленными в табл. 2

Таблица 2

Характеристики агрегата ЭТДА-4000

Модель	ЭТДА-4000
Расход газа мин/номин, н $м^3$/ч	70 000/140000
Давление на входе МПа	0,2–1,6
Давление на выходе МПа	0,05–0,2
Мощность генератора, КВт	4000
Частота вращения вала, об/мин	3000 (50Гц)
Напряжение, кВ	6,3

На рис. 3 представлена предложенная авторами принципиальная схема включения детандер-генераторного агрегата в тепловую схему ТЭЦ. Схема предполагает использование в качестве агента для подогрева газа прямой сетевой воды с последующим ее отводом в трубопровод обратной сетевой воды. Следует отметить, что в период работы системы теплоснабжения в режиме количественного регулирования температура прямой сетевой воды поддерживается около 75 ^{o}С при требуемых для эффективного подогрева газа 100 ^{o}С, поэтому для этого случая предусмотрен ее дополнительный подогрев уходящими газами в газоходе энергетических котлов. Основным преимуществом предложенной схемы является ее минимальное влияние на режимы эксплуатации ТЭЦ. Кроме того, ее использование предполагает дополнительную эффективную выработку электроэнергии турбоустановками ТЭЦ на тепловом потреблении и снижение потерь теплоты с уходящими газами энергетических котлов.

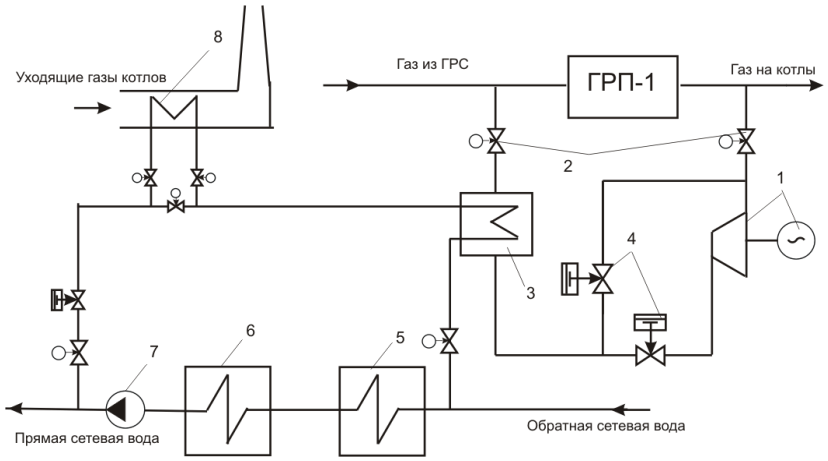


Рис. 3. Принципиальная схема подключения ДГА:
1 – ДГА; 2 – отсечные задвижки; 3 – подогреватель газа; 4 – регуляторы расхода газа; 5 – нижний подогреватель сетевой воды; 6 – верхний подогреватель сетевой воды; 7 – сетевой насос; 8 –газоводяной подогреватель греющей воды

Проведены балансные тепловые расчеты предложенной схемы для наиболее неблагоприятных условий эксплуатации. Определены расходы теплоты на подогрев сетевой воды и газа (4400 кВт), при его температуре на входе минус 8 ^{o}C и соответствующий расход сетевой воды (не более 75 т/ч).

Проведены расчеты теплообменных аппаратов, представленных на схеме. Установлено, что наиболее компактными и экономичными являются аппараты с оребренными поверхностями теплообмена со стороны газа.

Оценка экономической эффективности показала, что использование ДГА на ТЭЦ позволяет дополнительно вырабатывать до 2,56 млн кВт ч в год практически без затрат топлива. Срок окупаемости ДГА зависит, кроме разовых инвестиционных затрат, от двух основных величин:

– доход: стоимость электроэнергии (собственное потребление или продажа электросетям);

– расход: затраты на подогрев газа (стоимость теплоносителя).

Срок изготовления и строительства установки ДГА составляет 1–2 года (от подписания контракта до пуска в эксплуатацию).

На рис. 4 представлен график окупаемости ДГА для рассматриваемых условий.

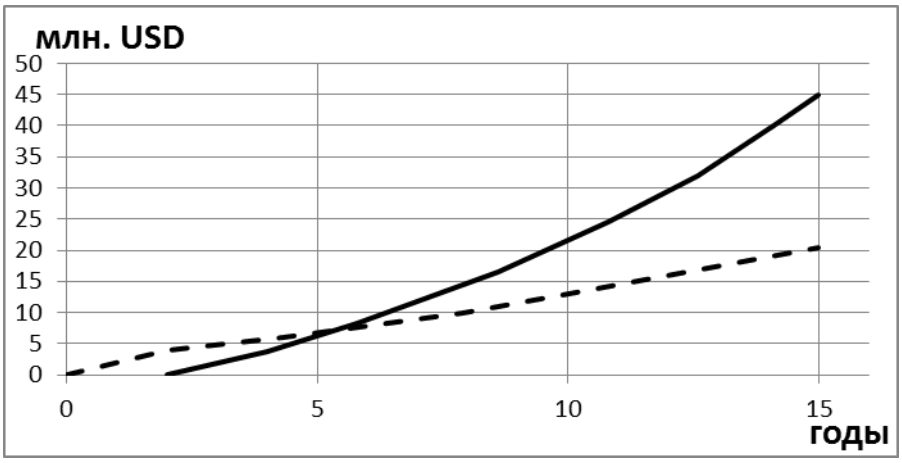


Рис. 4. График окупаемости ЭТДА, с учетом инфляции и амортизационных отчислений:
—— – доходы; – – – – расходы

Срок окупаемости ДГА составляет не более трех лет после пуска в эксплуатацию.

Выводы:

1. Произведена расчётная оценка потенциала вторичных энергетических ресурсов избыточного давления транспортируемого газа для условий Кировской ТЭЦ-5.

2. С учетом имеющихся ограничений выбраны исходные данные для проведения расчетов, по их результатам предложен к установке детандер-генераторный агрегат ЭТДА-4000 мощностью 4 МВт и предложена высокоэкономичная схема его подключения к ГРП и оборудованию ТЭЦ.

3. Произведены балансные тепловые расчеты предложенной схемы и подогревателя газа и дополнительного подогревателя сетевой воды. Установлено, что для подогрева газа при принятых исходных данных требуется не более 4400 кВт тепла и при использовании в качестве горячего теплоносителя прямой сетевой воды ее расход составит не более 75 т/ч.

4. Оценена экономическая эффективность проекта. Установлено, что при выработке электроэнергии 2,56 млн кВт ч в год срок окупаемости проекта составит не более трех лет. Таким образом, предложенный проект является вполне привлекательным для инвестиционных вложений.

Библиографический список

1. Bergmann R. Stromerzeugung durch Erdgas-Entspannung am Beispiel eines groessener Erdgas-Verbrauchers. // Сборник тезисов докладов научной конференции в Бранденбургском Техническом Университете (Котбус-Зенфтенберг, Германия), 2016. S. 19–20.

2. Гуськов Ю. Л., Кудрявый В. В., Аракелян Э. К., Агабабов В. С. Методика определения термодинамической эффективности включения детандер-генераторного агрегата в тепловую схему ТЭЦ // Вестник МЭИ. 1996. № 2. С. 73–76.

3. Аракелян Э. К. и др. Влияние детандер-генераторных агрегатов на тепловую экономичность ТЭЦ // Электрические станции, 1997. Спецвыпуск к 110-летию Мосэнерго.

4. Гуськов Ю. Л. Повышение эффективности работы ТЭЦ на основе внедрения детандер-генераторных агрегатов : автореф. дис. … канд. техн. наук. М. : МЭИ, 1997. 20 с.

5. Агабабов В. С. Методика оценки влияния детандер-генераторного агрегата на тепловую экономичность ТЭЦ // Вестник МЭИ. 2002. № 5. С. 48–52.

6. Агабабов В. С., Корягин А. В. Детандер-генераторные агрегаты на тепловых электрических станциях : учеб. пособие. М. : Изд-во МЭИ, 2005. 48 с.

7. Качан С. А., Базыленко А. А. К вопросу оценки эффективности использовния детандер-генераторных установок на ТЭС // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика : международный научно-технический и производственный журнал. 2007. № 4. С. 66–71.

8. Куличихин В. В., Тюняев М. В. Последствия внедрения детандер-генераторных агрегатов в тепловую схему ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2017. № 05 (201). С. 29–33.

9. Епифанова В. И. Компрессорные и расширительные турбомашины радиального типа. М. : МВТУ им. Н. И. Баумана, 1998. 376 с.

10 Кудинов В. А., Карташов Э. М. Техническая термодинамика : учеб. пособие для втузов. М. : Высш. шк. , 2000. 261 с.: ил.

11. Гатаулина А. Р. Повышение эффективности системы газоснабжения за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов : автореф. дис. … канд. техн. наук / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2016. 20 с.

12. Гуськов Ю. Л. и др. Опыт эксплуатации детандер-генераторного агрегата на ТЭЦ-21 Мосэнерго // Электрические станции. 2003. № 10. С. 15–17.

Программная реализация математической модели рабочих характеристик частотно-управляемого асинхронного двигателя при различных формах кривой питающего напряжения

А. В. Шестаков [a], Ф. В. Малюшин [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: shestakov@vyatsu.ru [a], fedor416@rambler.ru [b]

Аннотация. Задача построения и программной реализации математических моделей, позволяющих рассчитывать рабочие характеристики, энергетические показатели и другие электромагнитные величины частотно-управляемых асинхронных двигателей, питаемых от ШИМ-инверторов со сложным гармоническим составом выходного напряжения, является актуальной. Целью предлагаемой статьи является изложение принципов построения и анализ результатов работы программного обеспечения, реализующего предложенные ранее автором алгоритмы и способы формирования импульсного напряжения ШИМ, гармонического анализа полученного напряжения и моделирования рабочих характеристик асинхронного двигателя с частотным управлением. При создании программы, осуществляющей названные алгоритмы, использовалась программная оболочка Qbasic. В результате написана программа для ЭВМ, обладающая высоким быстродействием и позволяющая на основе размеров и обмоточных данных асинхронного двигателя, а также задаваемых параметров напряжения (импульсного или синусоидального) получать кривую напряжения, ее гармонический состав (с учетом числа фаз) и таблицы рабочих характеристик. Предлагаемое программное обеспечение может быть использовано при проектной оптимизации частотно-управляемых асинхронных двигателей.

Ключевые слова: частотно-управляемый асинхронный двигатель, широтно-импульсная модуляция, гармонический состав, рабочие характеристики, энергетические показатели.

Введение. Исследование добавочных потерь в частотно-управляемых асинхронных двигателях (ЧУАД), вызванных импульсным полигармоническим напряжением, вырабатываемым ШИМ-инвертором, до сих пор остается актуальной задачей. Существует ряд методов [1–4], позволяющих учесть влияние высших гармоник импульсного питающего напряжения на электрические и магнитные потери ЧУАД. Однако многие из перечисленных методик основаны на полевых расчетах и нередко требуют значительных вычислительных ресурсов. **Целью** наших исследований являлось создание программы для ЭВМ, обладающей минимальными затратами вычислительных ресурсов и реализующей ранее предложенные автором алгоритмы формирования и гармонического анализа импульсного питающего напряжения ШИМ [5], а также математическую модель рабочих характеристик ЧУАД, учитывающую влияние высших гармоник названного напряжения на электрические и магнитные потери ЧУАД [6, 7].

Схема алгоритма, позволяющего сформировать и рассчитать гармонический состав импульсного напряжения при его заданных параметрах (характер модуляции – односторонняя или двухсторонняя, частота основной гармоники f_1, количество учитываемых гармоник NUK, несущая частота импульсов FI, количество расчетных шагов на период NSPI), определить токи и энергетические показатели исследуемого ЧУАД, приведена на рис. 1.

Исходными данными асинхронного двигателя являются размеры его активной части, обмоточные данные, активные и индуктивные сопротивления схемы замещения, магнитные, механические и добавочные потери. Все перечисленные величины определяются для синусоидального напряжения по стандартным методикам, например [8].

Затем с помощью алгоритмов, приведенных в [5], формируется массив мгновенных значений фазного напряжения $UA(I)$ (где I – номер текущего шага) на одном периоде напряжения, а также определяется его гармонический состав. После этого создаются массивы коэффициентов, учитывающих направление вращения гармоники $Zn(\nu)$ и наличие данной гармоники в кривой фазного напряжения $Koef(\nu)$:

– для трехфазной системы

$$Zn(\nu)=\begin{cases}1, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu-1}{m_1}\right)=0 \text{ или } mod\left(\dfrac{\nu}{m_1}\right)=0;\\ -1, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu+1}{m_1}\right)=0;\end{cases} \tag{1}$$

$$Koef(\nu)=\begin{cases}1, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu-1}{m_1}\right)=0 \text{ или } mod\left(\dfrac{\nu+1}{m_1}\right)=0;\\ 0, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu}{m_1}\right)=0;\end{cases} \tag{2}$$

– для двухфазной системы

$$Zn(\nu)=\begin{cases}1, \text{если } mod\left(\dfrac{3\nu+1}{2m_1}\right)=0 \text{ или } mod\left(\dfrac{\nu}{2m_1}\right)=0;\\ -1, \text{если } mod\left(\dfrac{3\nu-1}{2m_1}\right)=0 \text{ или } mod\left(\dfrac{\nu}{m_1}\right)=0;\end{cases} \quad (3)$$

$$Koef(\nu)=\begin{cases}1, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu}{2m_1}\right)\neq 0;\\ 0, \text{если } mod\left(\dfrac{\nu}{2m_1}\right)=0,\end{cases} \quad (4)$$

где ν – номер гармоники; m_1 – число фаз; mod – операция взятия дробной части от деления.

Затем по [5] вычисляются постоянная $U0$ и гармонические составляющие $U(\nu)$ сформированного импульсного напряжения, действующее значение UD и максимальное значение из числа высших гармоник $Unumax$. При этом соответствующие значения гармоник умножаются на $Koef(\nu)$, а также (для гармоник с $\nu>1$) на коэффициент, учитывающий режим расчета REG. Для синусоидального напряжения $REG=0$, для импульсного $REG=1$. Результаты приведенного расчета выводятся в отдельный текстовый файл.

После этого по методике [6, 7] осуществляется расчет рабочих характеристик, причем отдельно вычисляется значение токов, скольжения и энергетических показателей при полезной мощности, равной номинальной. Алгоритм подпрограммы расчета рабочих характеристик ЧУАД приведен на рис. 2.

По представленным алгоритмам на языке Qbasic написана программа FCAMPD. bas. Результаты расчета рабочих характеристик выводятся в отдельный текстовый файл.

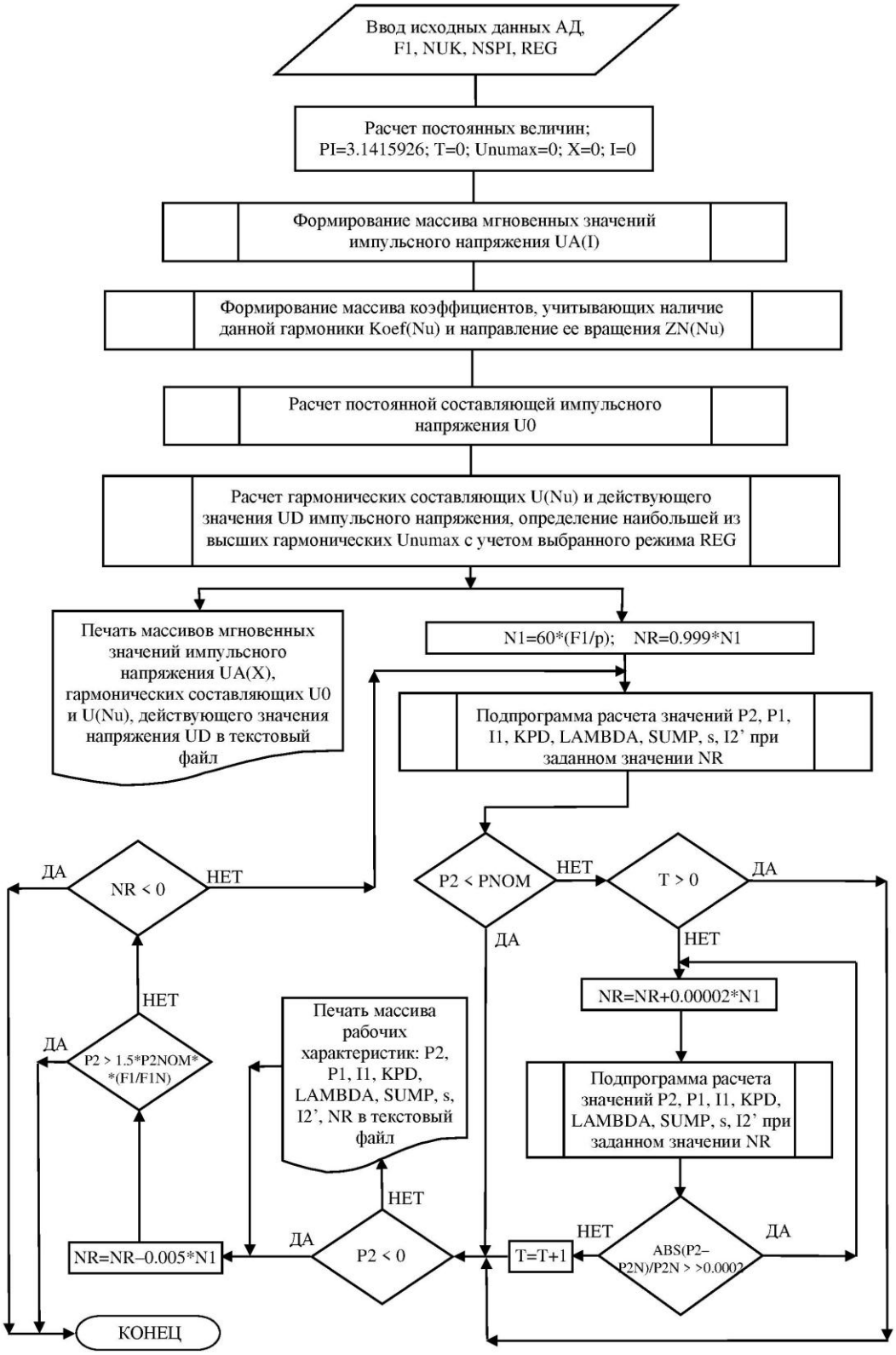


Рис. 1. Схема алгоритма программы FCAMPD

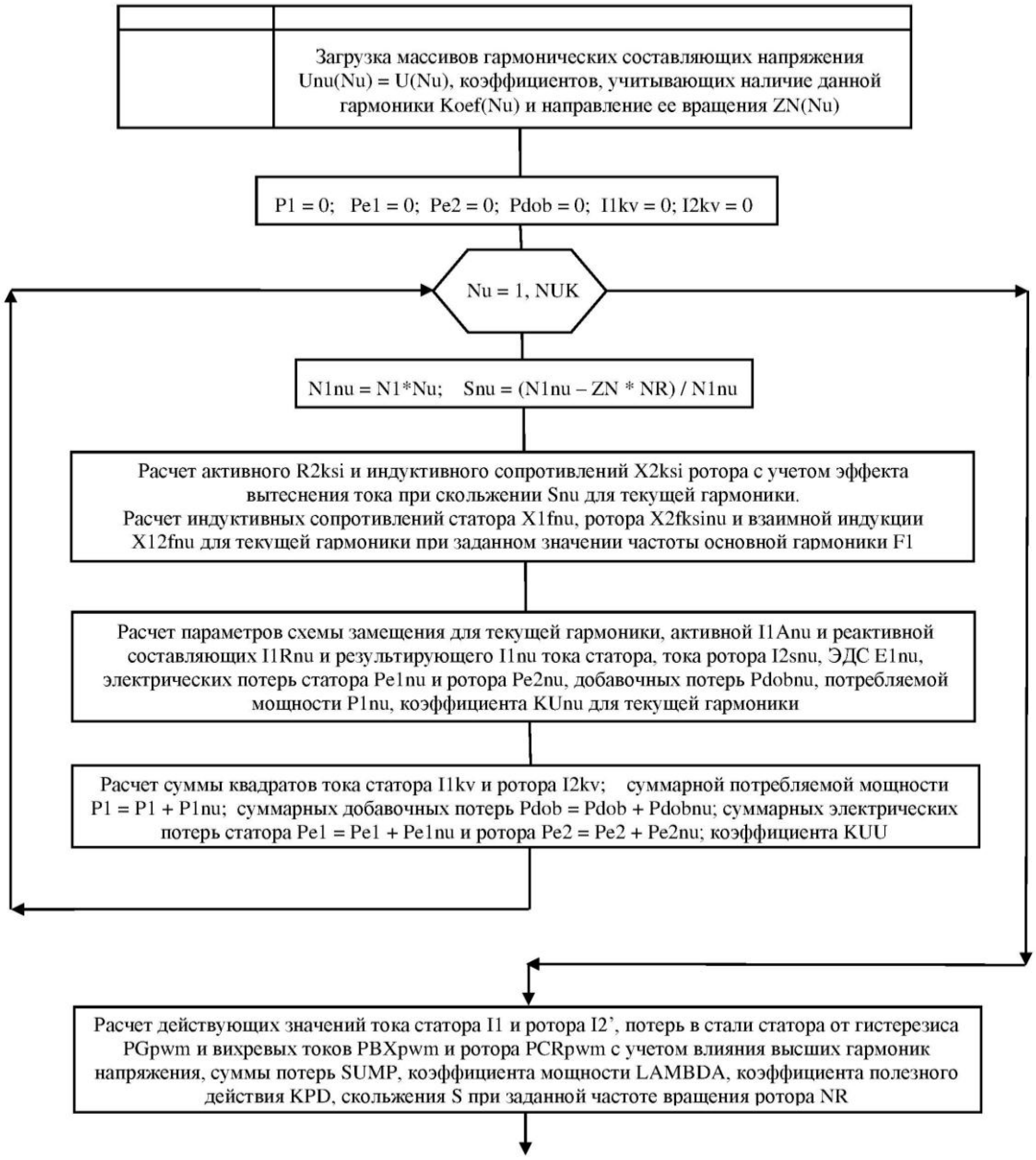


Рис. 2. Схема алгоритма подпрограммы для расчета токов, скольжения и энергетических показателей ЧУАД при заданном значении частоты вращения ротора

Результаты исследований. С помощью разработанной программы FCAMPD. bas выполнено моделирование импульсного напряжения, определение его гармонического состава и расчет рабочих характеристик асинхронного двигателя АИР56А2У3 мощностью 180 Вт, номинальным напряжением 220/380 В, синхронной частотой вращения 3000 мин$^{-1}$. Для этого были рассчитаны размеры, обмоточные данные, параметры схемы замещения, магнитные, механические и добавочные потери при синусоидальном питании по [8]. При

расчетах по программе FCAMPD. bas количество высших гармоник NUK задано равным 1000. Пример кривой фазного напряжения при односторонней модуляции, несущей частоте импульсов $f_И = 4000$ Гц и частоте основной гармоники $f_1 = 40$ Гц приведен на рис. 3. Действующие значения основной и высшей гармоник для названного напряжения представлены на рис. 4.

Также с помощью программы FCAMPD. bas было выполнено моделирование рабочих характеристик исследуемого двигателя при синусоидальном напряжении, действующие значения которого соответствовали задаваемым частотам основной гармоники f_1.

В качестве примера на рис. 5 приведены зависимости КПД ЧУАД при синусоидальном и импульсном напряжениях для частоты основной гармоники $f_1 = 40$ Гц и несущей частоте импульсов $f_И = 4000$ Гц. Расчетные значения КПД близки к данным, полученным экспериментальным путем [7].

При использовании программной оболочки QB64 работа программы FCAMPD. bas и формирование текстовых файлов с результатами происходят в течение 1–2 секунд.

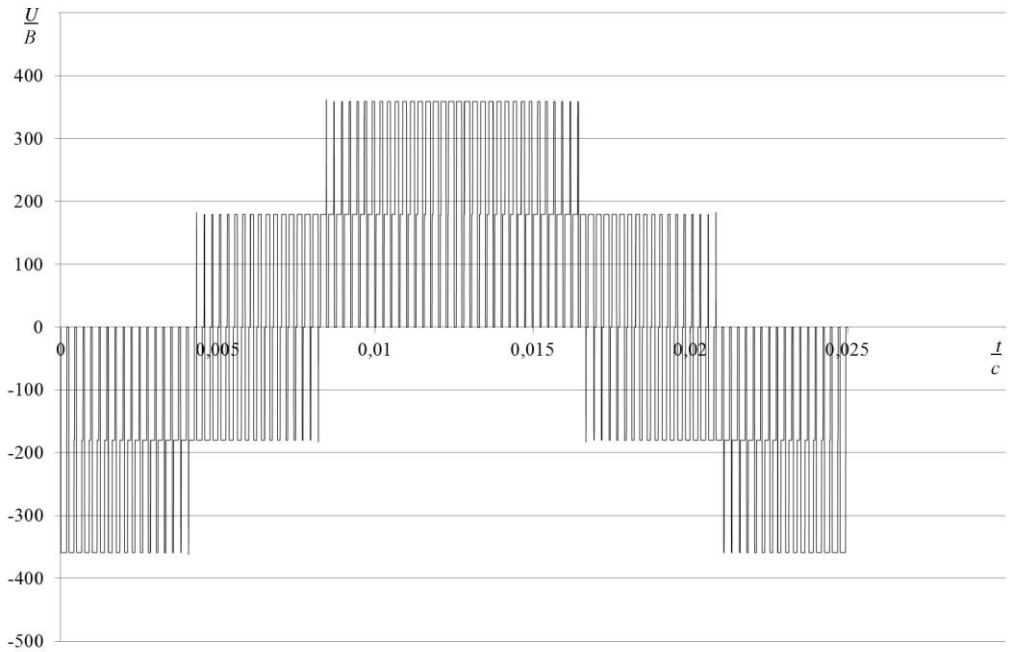


Рис. 3. Кривая фазного импульсного напряжения, полученная с помощью программы FCAMPD при частоте основной гармоники $f_1 = 40$ Гц и несущей частоте $f_И = 4000$ Гц

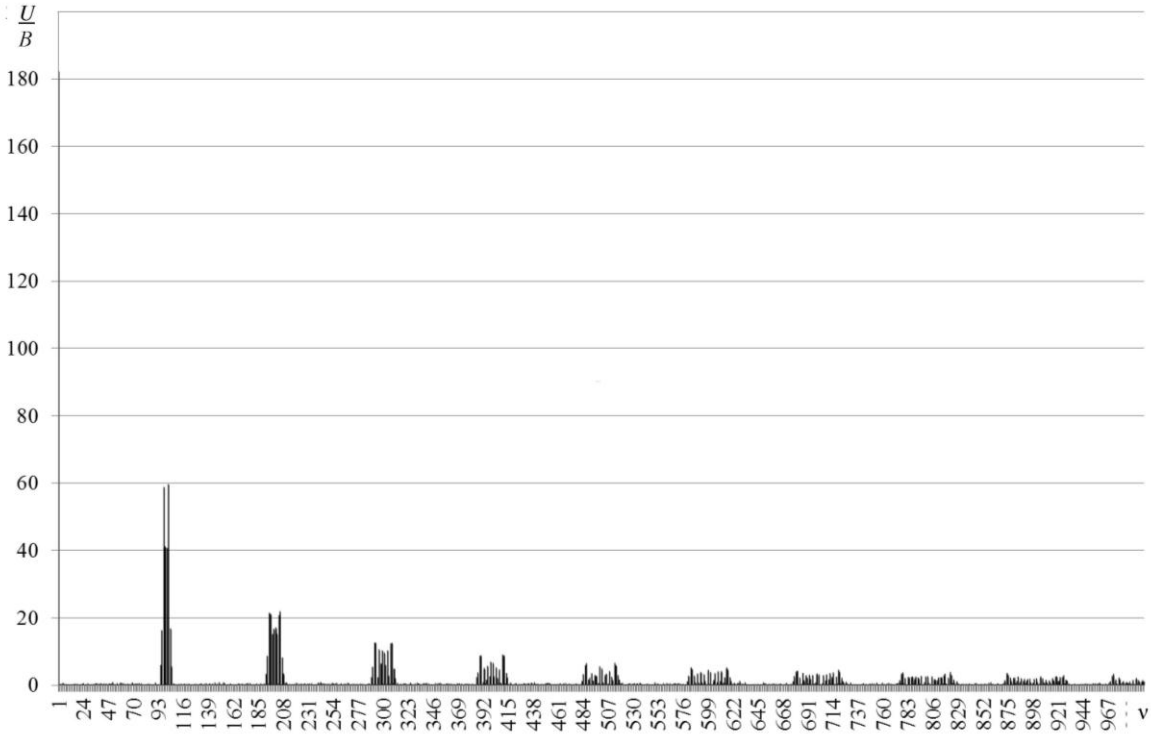


Рис. 4. Гармонический состав фазного импульсного напряжения при частоте основной гармоники $f_1 = 40$ Гц и несущей частоте $f_И = 4000$ Гц, полученный по программе FCAMPD

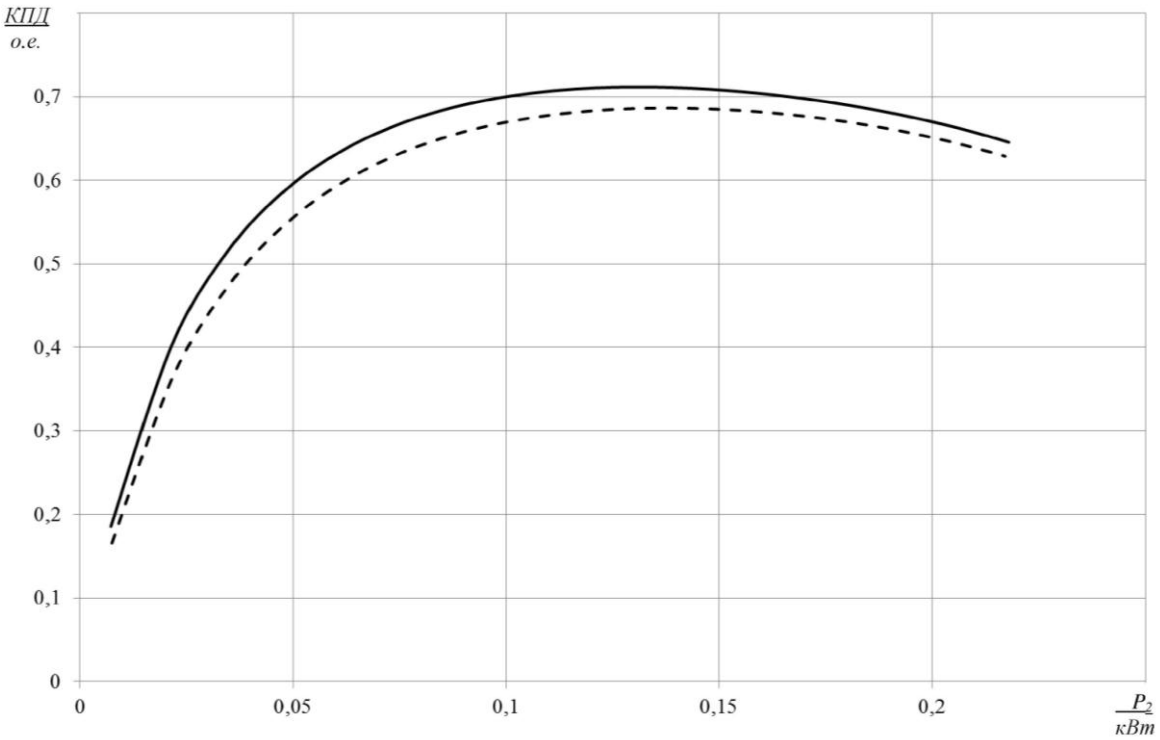


Рис. 5. Характеристики КПД асинхронного двигателя мощностью 180 Вт при синусоидальном (сплошная кривая) и импульсном (штриховая кривая) напряжениях для частоты основной гармоники $f_1 = 40$ Гц и несущей частоты $f_И = 4000$ Гц, полученные по программе FCAMPD

Выводы. Предложенная программа для ЭВМ FCAMPD, реализующая модель рабочих характеристик ЧУАД с учетом высших гармоник напряжения ШИМ, обладает высоким быстродействием и позволяет получить подробную информацию об энергетических показателях ЧУАД при любых заданных параметрах питающего напряжения. Данная программа будет использована для оптимизационных расчетов ЧУАД, в том числе с применением методов планирования эксперимента. Также предполагается оформление Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Библиографический список

1. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование приводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / УРО. Екатеринбург, 2000. 654 с.
2. Казаков Ю. Б., Швецов Н. К. Численное моделирование электромагнитных процессов в асинхронных двигателях при питании от источников полигармонического напряжения // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. 2015. Т. 1. С. 126–32.
3. Расчет и анализ потерь в стали асинхронных двигателей при питании от преобразователей частоты с учетом несинусоидального перемагничивания сердечников / Н. К. Швецов, Ю. Б. Казаков // Состояние и развитие электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения) : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. Иваново : Изд-во ИГЭУ, 2017. С. 162–166.
4. Влияние способов и параметров широтно-импульсного модулирования напряжения на дополнительные потери в асинхронном двигателе / Ю. Б. Казаков, Н. К. Швецов // VII Международная (XVIII Всероссийская) конференция по автоматизированному электроприводу (АЭП-2012) : сб. тр. науч.-техн. конф. Иваново : Изд-во ИГЭУ, 2012. С. 117–120.
5. Моделирование и гармонический анализ импульсного напряжения при синусоидальной широтно-импульсной модуляции / А. В. Шестаков // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. Т. 2. Технические и физико-математические науки. Киров : Изд-во ВятГУ, 2018. С. 1137–1144.
6. Шестаков А. В., Желнин В. В., Исмиев Р. Н. Экспериментальное исследование рабочих характеристик асинхронного двигателя при импульсном питании // Электротехника. 2016. № 6. С. 38–44.
7. Шестаков А. В. Моделирование и экспериментальное исследование рабочих характеристик асинхронного двигателя при различных частотах импульсного напряжения питания // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. № 2. С. 63–72.
8. Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова, М. : Юрайт, 2015. 766 с.

Моделирование спектра коэффициента поглощения смеси газов

Н. А. Шмакова [a], О. П. Шевченко [b]
старший преподаватель кафедры систем автоматизации управления [a]
студент группы УТб-4301-01-00 [b]
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация [a, b]
E-mail: usr09554@vyatsu.ru [a], stud084157@vyatsu.ru [b]

Аннотация. Проблема модернизации, разработки и верификации баз данных по коэффициенту поглощения наиболее значимых атмосферных газов является очень важной в настоящее время. Моделирование спектров является неотъемлемой частью исследования теплового излучения гомогенных и гетерогенных продуктов сгорания топлив различных высокоэнергетических установок. Цель работы – обеспечение достоверных данных по коэффициенту поглощения смеси газов для расчетов характеристик теплового излучения. Все существующие информационные системы спектроскопии газов имеют ряд недостатков и требуют дополнительной обработки результатов. Поэтому решено было разработать информационную систему моделирования спектров коэффициента поглощения смеси газов. Разработанная система обеспечивает интеграцию с известными банками данных по коэффициенту поглощения, обеспечивает локальное хранение часто используемых компонент и предоставляет широкие возможности по графическому представлению результатов.

Ключевые слова: информационная система, коэффициент поглощения, газовая фаза.

Введение. Молекулярная спектроскопия является одним из широко используемых приемов во многих прикладных исследованиях разделов физики [1, с. 315]. Так, моделирование спектров является неотъемлемой частью исследования теплового излучения гомогенных и гетерогенных продуктов сгорания топлив различных высокоэнергетических установок.

В работе [2] В. А. Кузьмин описывает методологию расчетов оптических свойств, радиационных характеристик теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания в двигателях и энергетических установках. В основе работы как энергетических установок, так и двигателей внутреннего сгорания лежит общий принцип переработки энергии химических связей топлива в кинетическую и механическую энергии за счет горения и расширения. В процессе горения топлива образуются гетерогенные продукты сгорания (ГПС), которые состоят из газовой фазы, поглощающей тепловое излечение, и частиц конденсированной фазы, которые не только поглощают, но и рассеивают тепловое излучение [3, с. 385].

Чрезмерное поглощение газовой фазой теплового излучения может привести к неблагоприятным и часто трагичным последствиям. Поэтому чрезвычайно важно рассчитывать и моделировать спектры коэффициентов поглощения.

Если рассматривать в качестве объекта исследования ракетные двигатели на твердом топливе, где окислителями являются перхлораты и нитраты, то газовая фаза определяется следующим составом: H_2O, CO_2, CO, NO, OH, HCl, O_2, H_2, O, H [2, с. 39].

На коэффициент поглощения теплового излучения влияют состав ГПС, температура и давление, что видно на рис. 1–3.

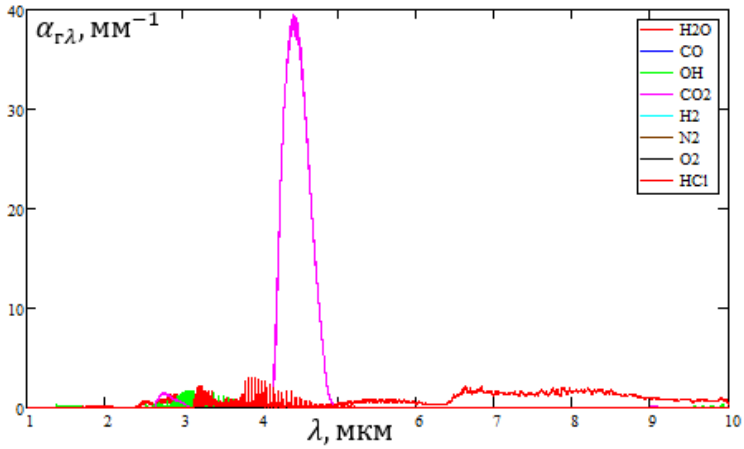


Рис. 1. Коэффициент поглощения различных излучателей газовой фазы при $T = 3000K$ и $p = 10^5$ Па

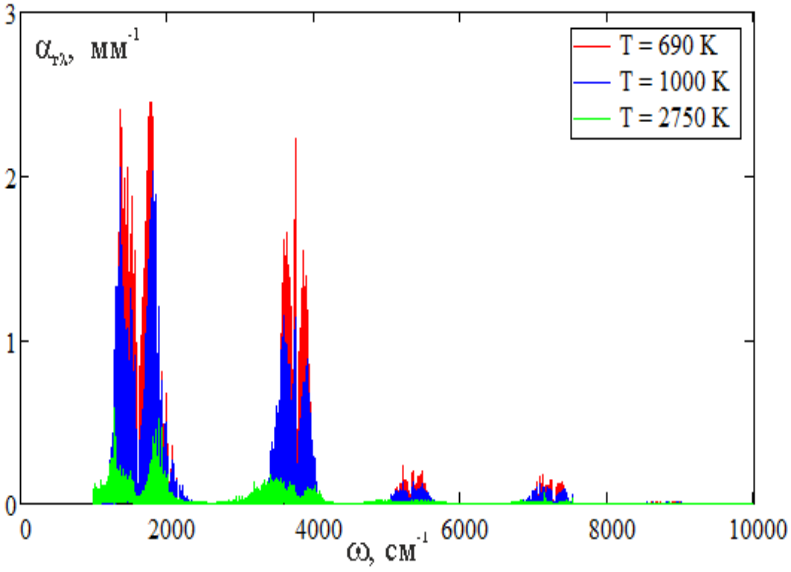


Рис. 2. Коэффициент поглощения H_2O при изменении температуры и $p = 10^5$ Па

Из рис. 1–3 также видно, что при моделировании спектров поглощения без использования информационных систем (ИС) не обойтись.

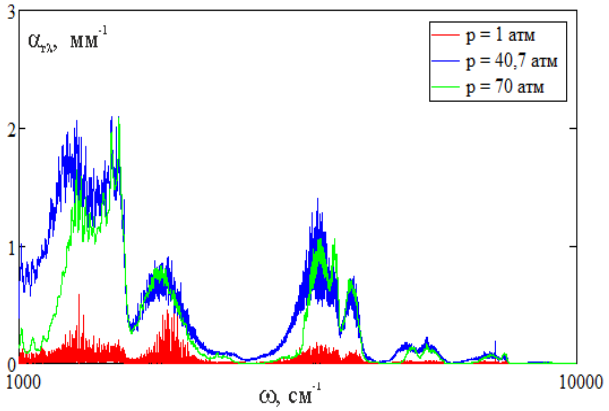


Рис. 3. Коэффициент поглощения

H_2O при изменении давления, $T = 3000K$

В настоящее время информация о спектроскопии газов представляется в разных видах. Это могут быть архивы данных, интернет-ресурсы с возможностью запросов данных по спектрам или информационные системы.

На сегодняшний день чаще всего используются четыре информационные системы по спектроскопии (Spectra [4, с. 765], Hitran on the Web [5, с. 4], S&MPO [6, с. 145] и W@DIS [7, с. 432]), доступные в сети Интернет. В основном эти ИС используют статические информационные ресурсы, представляющие собой решения спектроскопических задач. Все существующие информационные системы по спектроскопии имеют ряд недостатков.

Таким образом, разработка ИС моделирования коэффициентов спектра поглощения актуальна и целесообразна.

Ведущий подход. Одним из приемов научных исследований является сбор данных, информации и алгоритмов их обработки. Это приводит к созданию информационных систем, которые становятся частью цифровой науки (e-Science).

В настоящее время информация о спектроскопии газов представляется в разных видах. Это могут быть архивы данных, интернет-ресурсы с возможностью запросов данных по спектрам или информационные системы. Создание информационной системы моделирования смесей газов позволит получить инструмент для решения рутинных задач. Точная и полная информация о тонкой

структуре спектров поглощения атмосферных газов (H_2O, CO_2, N_2O, SO_2, H_2S и других) является принципиально важной для решения многих прикладных и фундаментальных задач [8, с. 480].

Ведущим подходом к разработке ИС по праву считается системный анализ и проектирование. Данный подход основывается на выявлении основных требований к разрабатываемой системе, анализу задач и выявлению приоритетных функций проектируемой системы.

Первым этапом разработки информационной системы является анализ требований, который позволяет определить: архитектуру системы, ее функции, распределение между аппаратной и программной частью; интерфейсы и распределение функций между человеком и системой; требования к программным и информационным компонентам системы, необходимые аппаратные ресурсы, требования к базе данных; ограничения в процессе разработки (директивные сроки завершения отдельных этапов, имеющиеся ресурсы, организационные процедуры и мероприятия, обеспечивающие защиту информации).

Следующий этап разработки ИС – это проектирование. На этом этапе происходит проектирование ПО, включающее разработку архитектуры, согласование функций и технических требований.

Завершает разработку этап тестирования и отладки, на котором выявляются недочеты и делаются исправления, налаживается взаимодействие компонентов, система настраивается под пользователя. Далее следуют эксплуатация и поддержка [9].

Результаты исследований. Результатом исследований служит разработанная ИС моделирования спектра коэффициента поглощения смеси газов, которая обеспечивает интеграцию с известными банками данных по коэффициенту поглощения, обеспечивает локальное хранение часто используемых компонент и предоставляет широкие возможности по графическому представлению результатов.

ИС моделирования спектра коэффициента поглощения смеси газов имеет следующие основные особенности:

1) получение данных из баз Hitran[10], Hitemp и GEISA;

2) использование языков программирования высокого уровня, позволяющих делать большие расчеты высокой точности;

3) веб-интерфейс;

4) моделирование спектров поглощения смесей газов и отдельных его составляющих;

5) сравнение полученных данных;

6) локальное хранение данных.

Структура ИС моделирования спектра коэффициента поглощения смеси газов (рис. 4).

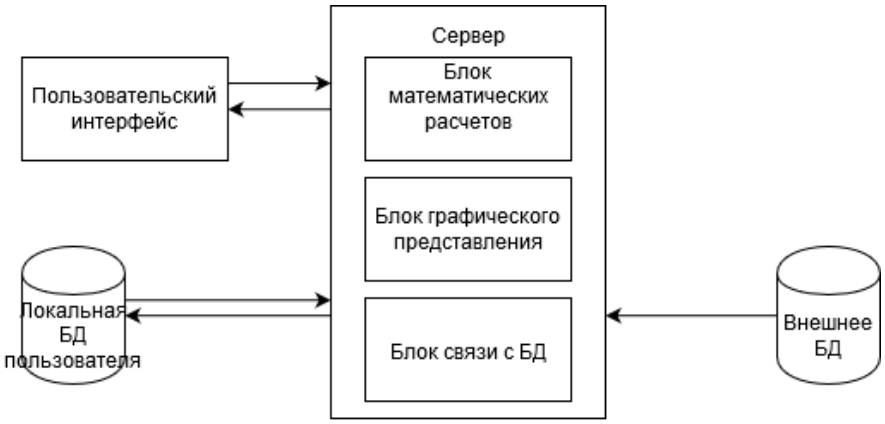


Рис. 4. Структурная схема ИС моделирования спекторов поглощения

Блоки «Пользовательский интерфейс», «Блок математических расчетов» и «Блок графического представления» являются основными блоками.

«Блок математического расчетов» непосредственно выполняет функции для получения математической модели спектра поглощения. В «Блоке графического представления» строится график полученных данных.

«Пользовательский интерфейс» необходим для задания пользователем основных параметров моделирования и для отображения полученного результата.

«Блок связи с БД» представляет собой набор функций из API внешних библиотек и скриптов для получения данных от сайтов, а также включает в себя описание локальной БД пользователя и функции для обмена данными с ней.

Блок «Локальная БД пользователя» представляет собой систему хранения и обработки данных, необходимых для моделирования спектров. В качестве СУБД была выбрана MySQL.

Блок «Внешние БД» на рис. 4 подразумевает только их наличие в открытом доступе и дальнейшее использование в конечном продукте с помощью API и интернет-запросов, но он не требует разработки.

Для разработки ИС был выбран язык программирования Python, так как он имеет высокую точность расчетов, оптимизацию математических функций под работу с большим объемом данных, множество графических библиотек и средства для разработки под большинство платформ.

Выводы. В работе представлена ИС, предназначенная для моделирования спектров коэффициента поглощения смеси газов, необходимых для расчетов характеристик теплового излучения. Рассмотрен системный подход к разработке ИС.

Библиографический список

1. Базы знаний для описания информационных ресурсов в молекулярной спектроскопии / А. Ю. Ахлёстин, А. В. Козодоев, Н. А. Лаврентьев и др. // Программное обеспечение ИВС «Молекулярная спектроскопия», Электронные библиотеки. 2012. Т. 15 № 3. С. 315–335.
2. Кузьмин В. А. Теплове излучение в двигателях и энергетических установках. Киров : ООО «Фирма «Полекс», 2004. 231 с.
3. Тепловое излучение гетерогенных продуктов сгорания в факеле модельного ракетного двигателя / В. А. Кузьмин, Е. И. Маратканова, И. А. Заграй, Р. В. Рукавишникова // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 3. С. 385–400.
4. Информационно-вычислительная система «Спектроскопия атмосферных газов». Структура и основные функции / С. Н. Михайленко, Ю. Л. Бабиков, В. Ф. Головко // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 09. С. 765–776.
5. The HITRAN 2012 Molecular Spectroscopic Database / L. S. Rothman, I. E. Gordon, Y. Babikov et al. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 130. P. 4–50.
6. An information system for ozone spectroscopy on the WEB / Y. L. Babikov, S. N. Mikhailenko, A. Barbe // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2014. V. 145. P. 169–196.
7. Информационная система «W@DIS», ориентированная на представление семантических метаданных в спектроскопии воды / А. И. Привезенцев, А. В. Козодоев, Н. А. Лаврентьев и др. // Оптическая спектроскопия и стандарты частоты. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2009. Р. 432–443.
8. Сайт SPECTRA – информационный ресурс по молекулярной спектроскопии VII / Ю. Л. Бабиков, С. Н. Михайленко, О. В. Науменко, А. З. Фазлиев // Международная конференция по электронным публикациям «EL-Pub2002» 2002 г. Новосибирск : Академгородок, 2002. С. 480–488.
9. Красильникова М. В. Проектирование информационных систем. Раздел: теоретические основы проектирования информационных систем. М. : Электростал. политехн. ин-т Моск. гос. ин-та стали и сплавов (Техн. ун-та), 2004. 118 с.
10. The HITRAN2016 molecular spectroscopic database / I. E. Gordon, L. S. Rothman, C. Hill и др. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 203. 2017. P. 3–69.

Электронное научное издание

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2020)

Сборник статей

XX Всероссийская
научно-практическая конференция
17 февраля–26 апреля 2020 г.

Том 2

Химико-биологические и технические науки

Редактор *Ю. Н. Болдырева*
Технический редактор *Л. А. Кислицына*

Электронное издание сетевого распространения

Объем издания: 11 Мб.

Дата подписания к использованию: 08.07.2020

Вятский государственный университет
610000, г. Киров, ул. Московская, 36
www.vyatsu.ru, www.vestnik43.ru
Тел. (8332) 20-89-64 (Научное издательство ВятГУ)