



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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2022)

СБОРНИК СТАТЕЙ

**XXII Всероссийская
научно-практическая конференция
11 апреля – 29 апреля 2022 г.**

Том 2

**Химико-биологические, технические
и физико-математические науки**

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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2022)

Сборник статей

**XXII Всероссийская
научно-практическая конференция
11 апреля – 29 апреля 2022 г.**

**Том 2
Химико-биологические, технические
и физико-математические науки**

**Киров
2022**

ББК Ч215.16(082)
УДК [001+54+59+62+004](082)
О-285

*Печатается по рекомендации Научного совета
Вятского государственного университета*

Оргкомитет конференции:

В. Н. Пугач, канд. экон. наук, доц., ректор (председатель оргкомитета); **С. Г. Литвинец**, канд. с.-х. наук, доц., проректор по науке и инновациям (зам. председателя оргкомитета); **С. А. Пересторонин**, главный бухгалтер, руководитель Департамента экономики и финансов; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук, директор Научного издательства; **Л. К. Патрушева**, канд. пед. наук, доц., руководитель Центра публикационной активности; **М. В. Кожина**, начальник Отдела интеллектуальной собственности; **Д. В. Седов**, руководитель Департамента инновационных технологий; **Л. В. Капитурова**, заведующая Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, редактор Управления воспитательной и социальной работы; **А. Н. Чикишева**, канд. экон. наук, начальник Отдела аспирантуры, докторантуры и НИРС; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц., директор Института биологии и биотехнологии; **Д. А. Козулин**, канд. хим. наук, и. о. директора Института химии и экологии; **И. В. Губин**, канд. техн. наук, доц., директор Политехнического института; **О. В. Кошкин**, и. о. директора Института математики и информационных систем; **А. А. Костин**, канд. ист. наук, доц., директор Института гуманитарных и социальных наук; **Г. И. Симонова**, д-р пед. наук, доц., директор Педагогического института; **Н. К. Савельева**, канд. экон. наук, доц., директор Института экономики и менеджмента; **М. С. Ившин**, канд. экон. наук, директор Юридического института; **Д. Н. Семериков**, начальник Управления делопроизводства

Редакционная коллегия сборника:

С. Г. Литвинец, канд. с.-х. наук, доц.; **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук; **О. В. Байкова**, д-р. филол. н., проф.; **Е. А. Бармина**, канд. экон. наук, доц.; **С. Б. Башмакова**, канд. педагогических наук, доц.; **Е. А. Братухина**, канд. экон. наук; **Н. В. Булдакова**, д-р. пед. н., доц.; **Р. Л. Веснин**, канд. техн. наук; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; **Е. В. Зонова**, канд. филол. наук, доц.; **А. А. Зыкин**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Каранина**, д-р экон. наук, доц.; **Ю. А. Колесова**, канд. пед. наук, доц.; **В. Е. Круковский**, канд. юр. наук; **В. А. Крысова**, канд. пед. наук, доц.; **А. В. Кузьмин**, канд. хим. наук, доц.; **Ю. В. Ланских**, канд. техн. наук; **О. Б. Лисовская**, канд. техн. наук, доц.; **Е. А. Мартинсон**, канд. техн. наук, доц.; **А. А. Машковцев**, д-р ист. наук, доц.; **А. В. Новиков**, канд. техн. наук, доц.; **Н. В. Палешева**, канд. экон. наук, доц.; **И. В. Романова**, канд. пед. наук, доц.; **Д. Г. Сергеев**, канд. техн. наук, доц.; **Д. М. Суворов**, канд. техн. наук, доц.; **В. Н. Тимошенко**, канд. техн. наук, доц.; **Н. В. Цветкова**, канд. психолог. наук; **А. Б. Чаганов**, канд. техн. наук; **М. Г. Швецова**, канд. филол. наук, доц.; **Е. В. Щербинина**, канд. культурологии, доц.; **Ю. В. Юркин**, канд. техн. наук; **Е. В. Лелекова**, канд. биол. наук; **Е. О. Галицких**, д-р. пед. наук, проф.; **А. Ф. Федяева**, канд. психол. наук, доц.; **Ю. Н. Фольгерова**, канд. юр. наук, доц.; **Т. А. Мусихина**, канд. геогр. наук, доц.; **Л. Н. Вахрушева**, канд. пед. наук, доц.; **О. Ю. Беспярых** д-р. биол. наук, доц.; **В. Г. Басманов**, канд. техн. наук, доц.; **М. А. Зайцев**, канд. пед. наук, доц.; **Т. В. Беличева**, канд. биол. наук, доц.; **М. А. Морозова**, канд. биол. наук; **С. П. Грачев**, канд. техн. наук, доц.; **М. И. Лучинина**, канд. пед. наук, доц.; **Е. В. Рябова**, канд. техн. наук, доц.; **С. И. Охупкин**, канд. техн. наук, доц.; **С. Г. Ворончихин**, канд. тех. наук, доц.; **Е. Н. Редикульцева**, канд. юр. наук, доц.

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2022) : сб. ст. : XXII Всерос. науч.-практ. конф., 11 апр. – 29 апр. 2022 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические и физико-математические науки. – Электрон. текстовые дан. – Киров : Вятский государственный университет, 2022. – URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2022-tom-2.pdf>.

ISBN 978-5-98228-254-5 (Т. 2)
ISBN 978-5-98228-252-1

ББК Ч215.16(082)
УДК [001+54+59+62+004](082)

Минимальные системные требования

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

ISBN 978-5-98228-254-5 (Т. 2)
ISBN 978-5-98228-252-1

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2022

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Белова К. Д.</i> Особенности анатомического строения подземных органов <i>Cenolophium denudatum</i> (Hornem.) Tutin	8
<i>Душина Е. Э., Савиных Н. П.</i> Структура особей ландыша майского в сосняках ландышевых.....	14
<i>Кауров А. Ю., Олькова А. С., Тупицына М. А.</i> Биоиндикация атмосферного воздуха по флуктуирующей асимметрии березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth) в г. Кирове.....	21
<i>Коновалова И. А., Скоробогатая М. Н.</i> Особенности черноольховых сообществ ООПТ «Медведский бор».....	24
<i>Политаева Н. А., Челышева В. П., Юхина В. А., Колосова Е. Д., Зубарева Е. А.</i> Конструкция адсорбера для очистки промышленных стоков	30
<i>Устюжанинова Л. В., Акбирова А. Ф., Мартынова Н. А.</i> Подбор продуцентов для получения эффективного и безопасного биоинсектицида против колорадского жука	34
<i>Устюжанинова Л. В., Базарбаева В.</i> Оценка эффективности антимикробной обработки при различных вариантах водоподготовки в пищевой промышленности	41
<i>Устюжанинова Л. В., Безруков А. С.</i> Оценка азотфиксирующей активности бактерий, выделенных из почв Кировской области	46
<i>Устюжанинова Л. В., Завалин Р. Ю.</i> Сравнительная характеристика источников сырья для получения белковых изолятов	51
<i>Устюжанинова Л. В., Леушина А. Д.</i> Изучение возможности получения этанола из молочной сыворотки	59
<i>Устюжанинова Л. В., Надолинская А. А.</i> Приготовление и исследование крема, обогащенного пробиотическими лактобактериями ...	66
<i>Устюжанинова Л. В., Нелюбина Е. А.</i> Влияние условий транспортировки на содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий в продукции	73
<i>Устюжанинова Л. В., Рычкова А. Д., Фоминых Ю. А.</i> Влияние условий хранения микробиологического препарата для деструкции пожнивных остатков на сохранность клеток продуцентов	80
<i>Устюжанинова Л. В., Серебряков А. М., Марьина Е. И.</i> Выделение и исследование продуцентов биополимеров	88
<i>Устюжанинова Л. В., Фоминых Ю. А.</i> Исследование способности штаммов продуцентов подавлять рост фитопатогенных грибов	94
<i>Устюжанинова Л. В., Шинку А. А.</i> Опасность пищевых вирусов, попадающих в продукты питания	101

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Бурков А. А., Товстик Е. В., Краев А. Д., Шестакова У. А.</i> Исследование деструкции смесей биополимеров.....	108
--	-----

<i>Вохмянин М. А., Веснин Р. Л.</i> Эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука с добавлением продуктов микроволновой аминолитической деструкции полиэтилентерефталата.....	113
<i>Карпова К. А., Фокина А. И.</i> Определение глицина в лекарственных препаратах методом спектрофотометрии с нингидрином.....	120
<i>Кислицына Е. А., Скугорева С. Г.</i> Влияние факторов выращивания Melissa лекарственной на качество лекарственного растительного сырья	124
<i>Краев А. Д., Бурков А. А., Бояринцев Д. А.</i> Получение композиций на основе биополимеров	131
<i>Краева И. С., Фомин С. В., Широкова Е. С., Елькин О. В., Толстобров И. В., Бушуев А. Н.</i> Способы придания гидрофильности мембранам на основе поливинилиденфторида	136
<i>Лихачев В. А., Тупицын М. А., Стариков С. С.</i> Исследование коррозионной активности стали марки Ст3 в высококонцентрированных солевых растворах.....	141
<i>Смагин В. П., Игнатов Е. В.</i> Особенности кристаллической структуры наночастиц сульфида кадмия	147
<i>Фокина А. И., Полуян Г. К., Злобина В. М.</i> Изучение антиоксидантной активности композиций с бетулином	154
<i>Ханжина Е. Г., Пушкарева П. В.</i> Сравнительный анализ химического состава плодов шиповника для изготовления масла и фиточаев	159
<i>Шилов И. Б., Бакулев Н. О., Кислицин А. А., Князев К. В., Кравченко В. В., Шляпин М. С.</i> Особенности применения наполнителей в резинах на основе бутилкаучука.....	165

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Агеева А. А.</i> Анализ тональности постов сообществ социальной сети «ВКонтакте»	172
<i>Вычегжанин С. В., Головизнина В. С., Котельников Е. В.</i> Автоматическая генерация историй по заданной сюжетной линии	180
<i>Гушанский С. М., Буглов В. Е., Козловская М. А.</i> Алгоритм глубокого обучения на основе квантовой вариационной схемы	188
<i>Демидова И. Н.</i> Система дистанционного обучения студентов в вузе с точки зрения измененной роли преподавателя в учебном процессе	193
<i>Леонов А. П., Колесников С. В., Исаков В. О.</i> Цифровая модель для оценки напряженности электрического поля в межвитковой изоляции.....	201
<i>Печенев В. А., Побединский В. В.</i> Внедрение языка Python в учебный процесс университета.....	206
<i>Побединский В. В., Ковалев Р. Н., Ляхов С. В., Писарев И. Д.</i> Разработка программы нейронной сети обратного распространения ошибки.....	213
<i>Поздин В. Н., Нижегородова М. В., Прозоров И. К.</i> Разработка и исследование методик автоматизации производственного учета.....	217
<i>Салихова М. Н., Побединский В. В., Ляхов С. В.</i> Применение информационных технологий для моделирования процессов технической эксплуатации транспортных и технологических машин	223

<i>Серавкин К. Г., Мокрова А. А., Шутов А. В., Потехин К. А.</i> Решетчатые разбиения плоскости на гекса-, гепта- и октамино	228
<i>Толмачева М. И., Нижегородова К. А.</i> Исследование электростатического фильтра для осаждения аэрозольных загрязнений	236
<i>Чернов В. Г.</i> Модель принятия решений в конфликтных ситуациях с нечеткими, лингвистическими оценками	243

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Апатов К. Ю., Сысолятин С. А., Бушмелев Р. А.</i> Установка для сварки кольцевых швов большого диаметра	249
<i>Басманов В. Г., Сивков А. Д.</i> Применение ВІМ-технологий в учебном процессе	256
<i>Батенков К. А.</i> Нормирование параметров затухания аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей	263
<i>Батенков К. А., Фокин А. Б.</i> Защита трафика в транспортных сетях при авариях с применением методов восстановления и переключения	268
<i>Бёрдов Д. А., Скворцов А. И.</i> Влияние легирования на физико-механические свойства и структуру сплавов на основе Al-49%Zn	276
<i>Беспалов В. Я., Куракина В. Д., Тимошенко В. Н., Шестаков А. В.</i> Опыт экспертизы частотно-управляемых асинхронных электродвигателей для привода деревообрабатывающего станка	283
<i>Бузиков Ш. В., Гордин А. И.</i> Определение методов выявления эксплуатационных свойств асфальтобетона	291
<i>Бузиков Ш. В., Плотников С. А., Шипин А. И.</i> Исследование условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля ...	295
<i>Вальс Р. П., Мальцев Я. В., Новоселова О. А., Хорошнина Е. Н.</i> Выбор типа датчика тока для измерителя сопротивления растеканию тока заземляющего устройства опоры ВЛ	303
<i>Воронин А. Н., Холманских В. М., Мелехина В. С.</i> Особенности показателей надежности и причин повреждения воздушных линий	310
<i>Головенкин В. А., Фадеев В. В., Абрамов А. А., Хабибулин Р. Ю.</i> Перспективный коммутационный аппарат и расчет его электромагнитного привода	316
<i>Ефремов А. Е., Иовлева Е. Л.</i> Анализ проблемы эксплуатации автомобилей УАЗ на Крайнем Севере и пути их решения	323
<i>Заграй И. А., Шмакова Н. А., Новоселов Е. Ю.</i> Моделирование спектрального коэффициента поглощения смеси газов	327
<i>Иванов К. В., Сидоренко А. В., Сенюшкин Н. С.</i> Оценка способа решения задач мониторинга подстилающей поверхности с использованием беспилотного летательного аппарата	334
<i>Клуонис А. С., Сергеев Д. Г., Козлов Е. В.</i> Комбинированный метод получения комплектов мелкогабаритных профильных деталей....	341
<i>Клуонис А. С., Шевнин И. К., Маринин Е. А.</i> Выбор режимов лазерной прошивки отверстий малого диаметра	345

<i>Кузьмин В. А., Шмакова Н. А., Южакова Л. А., Голованов О. А.</i> Применение многопараметрической интерполяции для определения температуры продуктов сгорания при сжигании твердых видов топлива	349
<i>Леонов А. П., Карпов Н. А., Хафизо Д. Е., Казанцев В. В.</i> Образовательный модуль «Технология 3D-проектирования бортовой кабельной сети»	354
<i>Литвинов С. В.</i> Сравнение ошибок расчета измерения дальности до цели по земле в загоризонтной радиолокации при различных методах определения параметров ионосферы	358
<i>Маринин Е. А., Буркова Е. А., Лысова Л. А., Касьянов В. Л.</i> Проведение испытаний компаунда «Виксинт-ПК68» на электрическую прочность	366
<i>Мелехина В. С., Воронин А. Н., Ожегов А. Н.</i> Сравнение типов систем накопления электрической энергии для улучшения показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения.....	371
<i>Минибаев А. И., Майоров Е. С.</i> Использование МГД-генератора в схеме с реактором БН со свинцовым теплоносителем для получения водорода	376
<i>Невицына В. С., Остальцева Д. В., Матюнина А. С., Маринин Е. А.</i> Экспериментальное исследование лазерного термоупрочнения металлорежущего инструмента из инструментальной легированной стали	382
<i>Некрасов Р. Ю., Малыгин А. А., Сандаков И. М., Стародумов М. А.</i> Получение требуемой шероховатости в процессе токарной обработки	388
<i>Нижегородова М. В., Осколков Е. А.</i> Разработка информационной системы анализа посещения веб-сайтов	392
<i>Нижегородова М. В., Тимошенко В. В.</i> Разработка способа распознавания эмоций путем анализа видеоизображения на основе сверточной нейронной сети и алгоритма Виолы-Джонса	399
<i>Нижегородова М. В., Чеглакова В. А.</i> Разработка методов генерации тестов на основе результатов семантического анализа обучающего контента	405
<i>Нижегородова М. В., Черенёв И. С.</i> Разработка технологического решения внедрения системы мониторинга на производство фольгированного стеклотекстолита	410
<i>Новиков А. В., Новоселова О. А., Хорошнина Е. Н., Мухаметзянов А. М.</i> Критерии состояния оборудования объектов электроэнергетики	417
<i>Ожегов А. Н., Останина С. Р.</i> Три варианта цифровизации электрических подстанций 35–110 кВ	424
<i>Охалкин С. И., Мокрушин С. А.</i> Исследование хлебопекарной печи тоннельного типа с целью её дальнейшей автоматизации.....	428
<i>Плотников С. А., Заболотских Г. Э.</i> Анализ физико-химических свойств новых смесевых топлив для автотракторных дизелей	435
<i>Плотников С. А., Сергеев Д. Г., Смольников М. В., Гневашев П. В.</i> Предпосылки российских ученых в оценке экспресс-методом моторных свойств топлив для ДВС	440
<i>Сергеева М. Д., Сергеев О. Е.</i> Анализ методики расчета дозы внутреннего радиоактивного облучения населения	445
<i>Симонов М. В., Перевоицков Д. В.</i> Обзор технологических схем лабораторных клеверотерок	452

<i>Созонов И. А., Ардашев В. А., Куракина В. Д., Фоминых А. А., Губин И. В.</i> Прототип вертикального 3D-плоттера.....	460
<i>Сташева М. А., Язлыев М. М.</i> Испытания физико-механических характеристик тканей для специальной одежды	464
<i>Суворов Д. М., Лыскова Е. А.</i> Эффективность работы ТЭЦ в условиях расширенного графика регулирования нагрузки отопления при различной доле расхода сетевой воды при смене способа регулирования	469
<i>Сысоев Ю. А.</i> Создание линейки электродвигателей ДБМ.....	476
<i>Тарасов В. Ю., Шемпелев А. Г.</i> Исследование влияния присосов воздуха в вакуумную систему турбоустановки Т-120/130-130 на эффективность ее эксплуатации.....	480
<i>Тарбеева Н. А., Рублева О. А.</i> Экспериментальное исследование твердости облицовочных деталей из модифицированной древесины хвойных пород	490
<i>Тими́на Н. В., Ми́нак М. С.</i> Создание и использование интерактивных тестов при чтении курса «Проектирование технологических процессов производства электрических машин»	496
<i>Тимошенко В. Н., Тими́на Н. В., Горынцев А. А., Пятин К. О.</i> Создание программного обеспечения для расчета трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	502
<i>Тимошенко В. Н., Тими́на Н. В., Карандин Г. А.</i> Расчеты двигателя постоянного тока с применением пакета Microsoft Excel	509
<i>Тюкалов Ю. Я., Варанкина Д. А.</i> Произвольный четырехугольный конечный элемент для пластин с учетом сдвига.....	516
<i>Черепанов В. В., Торопова А. К.</i> Исследование спектрального состава тока восьмифутового лущильного станка.....	523
<i>Шановалова В. В., Басманов В. Г.</i> Анализ причин установки промышленными предприятиями автономных источников электроэнергии	528
<i>Шешин А. Д.</i> Создание линейки электродвигателей серии ДБУ отечественного производства.....	535
<i>Широков Д. В., Муравьёв А. А., Фоломеев С. И., Фоминых А. А., Попов А. С.</i> Сити-ферма, или городское фермерство, и лазерные технологии будущего	538
<i>Шураков И. А., Пономарев Ю. Г., Присмотров Н. И.</i> Применение преобразователя Кука с корректором коэффициента мощности для электропривода постоянного тока.....	545
<i>Юркин Ю. В., Рогожкин Р. С., Варанкина Д. А.</i> Влияние компонентов на параметры вулканизации полимерных композиционных материалов	552
<i>Юркин Ю. В., Широкова Е. С., Авдонин В. В., Варанкина Д. А., Рогожкин Р. С., Ковтонюк П. А.</i> Изучение механических характеристик стирольных термоэластопластов.....	556
<i>Якурнова Л. Н., Ануфриев Д. С., Грачев С. П.</i> Библиотека моделей деталей универсально-сборных приспособлений.....	560

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Особенности анатомического строения подземных органов *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin

К. Д. Белова

аспирант группы Ба-1101-01-00, младший научный сотрудник
Центра компетенций «Использование биологических ресурсов».
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация.
E-mail: kd_koposova@vyatsu.ru

Аннотация. Структурные исследования в области ботаники являются одним из доступных методов выявления приспособленностей организмов к различным экологическим факторам среды. Особенно это важно для изучения адаптационных возможностей редко встречающихся видов в определенных местообитаниях. Таким растением является *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin (пусторёбрышник обнажённый), произрастающее в местах с условиями переменного увлажнения. Цель работы – изучение особенностей анатомического строения подземных органов *C. denudatum* для выявления приспособленностей особей к условиям его произрастания. При изучении анатомической структуры вида использовали микроскопический анализ с замером клеточных структур и последующей статистической обработкой. В ходе исследования были изучены особенности строения главного, боковых корней, стеблевой части каудекса. Выявлено, что адаптации у *C. denudatum* связаны с развитием вторичных покровных и проводящих тканей, а также воздухоносных полостей. Данные, полученные в ходе исследования, дополняют сведения о структурных особенностях вида.

Ключевые слова: *Cenolophium denudatum*, перидерма, воздухоносная полость, проводящие ткани, переменное увлажнение.

Введение. Особенности внутреннего строения органов растений отражают не только таксономическое положение и закономерности формирования видов, но и возникновение адаптаций, тесно взаимосвязанных с комплексом экологических факторов. Благодаря развитию микроскопической техники анатомические исследования растений стали одним из доступных методов выявления адаптационных возможностей к различным условиям среды. Помимо этого анатомия растений имеет и прикладное значение в различных отраслях знаний, начиная с систематики и заканчивая биотехнологией растений.

Пусторёбрышник обнажённый (*Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin) – многолетнее травянистое растение семейства сельдерейные (Apiaceae), обладающее лекарственными свойствами [1]. Это евразийский, бореальный вид, произрастающий во всех областях Средней России по пойменным лугам, берегам водоёмов, приречным и насыпным пескам, нарушенным склонам, обочинам дорог. Однако, по данным литературы, несмотря на широкий диапазон произрас-

тания, на территории Кировской области исследуемый вид встречается редко [2, 3]. Установление адаптационных возможностей редко встречающихся видов растений значимо и актуально, поэтому целью данного исследования стало изучение особенностей анатомического строения подземных органов *C. denudatum* для выявления приспособленностей особей к условиям их произрастания. В связи с целью определили следующие задачи: изучить данные литературы по особенностям исследуемого вида; исследовать анатомическое строение подземных органов пусторёбрышника; описать выявленные закономерности в строении вида и выявить черты его приспособленности к условиям среды.

Методы исследования. Как материалы исследования в работе использовали фиксированные образцы побеговых систем *C. denudatum*. Объект был собран в июне 2017 г. в окрестностях г. Кирова (сл. Макарье) на пойменном лугу. Для изучения внутреннего строения выполнили срезы главного и боковых корней, а также стеблевой части каудекса. Анализ временных препаратов производили с помощью бинокулярного микроскопа Motic BA300 со встроенным видеоокуляр. Для лучшего микроскопирования некоторые из полученных срезов окрашивали реакцией флороглюцина с соляной кислотой [4]. Клеточные структуры были измерены с использованием программного обеспечения, разработанного Г. Я. Кантором. Все полученные данные статистически обработаны.

Результаты исследований, их обсуждение. Главный корень *C. denudatum* имеет вторичное строение. На поперечном срезе выделяются перидерма, вторичная кора и центральный цилиндр (рис. 1).

Снаружи хорошо выражена вторичная покровная ткань – перидерма, в которой можно четко выделить феллему (или пробку), феллоген и феллодерму. Пробку составляют 5–7 слоев плотно примыкающих друг к другу прямоугольных мертвых клеток. По данным С. Е. Петровой (2013), феллема может включать до 15 слоев таблитчатых клеток [5]. Данная особенность в строении *C. denudatum* служит барьером и предохраняет растение от перепадов влажности почвы.

Вторичная кора представлена несколькими слоями рыхло расположенных клеток паренхимной формы. Клетки её разрушаются, образуя воздухоносные

полости для аэрации и поддержания необходимого уровня газового обмена в условиях переменного увлажнения. Также в коровой паренхиме были обнаружены органы секреторно-выделительной системы – смоляные ходы в виде трубчатых межклетников, окруженных эпителиальными клетками.

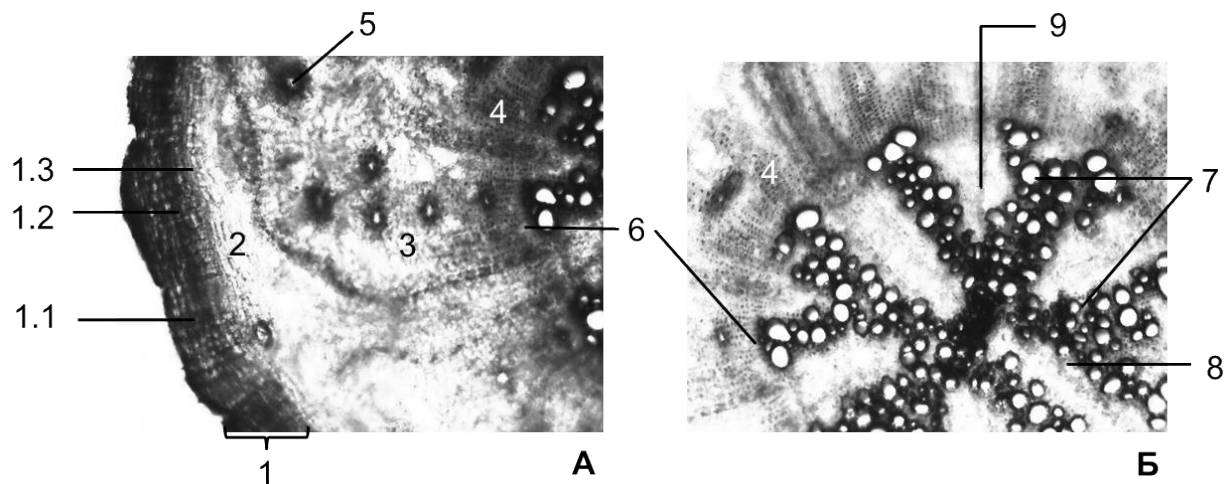


Рис. 1. Поперечный срез главного корня *C. denudatum* (увеличение 10×10, окрашивание флороглюцином): А – в области коровой паренхимы; Б – в области центрального цилиндра; 1 – перидерма: 1.1 – пробка; 1.2 – феллоген; 1.3 – феллодерма; 2 – коровая паренхима; 3 – лубяная паренхима; 4 – ситовидные трубки; 5 – смоляной ход; 6 – камбий; 7 – сосуды ксилемы; 8 – древесинная паренхима, 9 – клетки сердцевинного луча

Основную часть корня занимает центральный цилиндр, имеющий непучковое строение. Флоэма представлена лубяной паренхимой и ситовидными трубками с клетками спутницами. Сосуды вторичной ксилемы крупные, широкополостные, диаметром $43,60 \pm 17,94$ мкм. Это обеспечивает растению лучший восходящий ток воды с растворенными в ней минеральными веществами в периоды избыточного увлажнения. В центре стелы располагается первичная ксилема с более мелкими по диаметру сосудами и трахеидами. Ограничивает флоэму и ксилему друг от друга камбий, состоящий из 2–3 рядов плотно прилегающих прямоугольных клеток. Пересекают ксилему и флоэму многочисленные сердцевинные лучи, которые слагаются из паренхимных клеток округлой формы.

Боковые корни пусторёбрышника (рис. 2) аналогичны по строению, и на поперечном срезе просматриваются те же анатомо-топографические зоны, что и у главного корня.

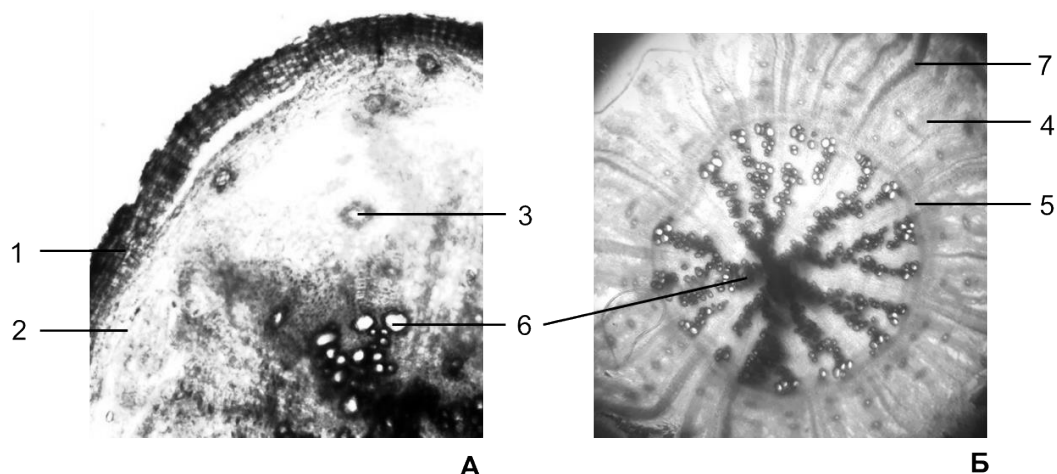


Рис. 2. Поперечный срез боковых корней *C. denudatum*: А – в области коровой паренхимы (увеличение 10×10); Б – в области стелы (увеличение 10×10; окрашивание флороглюцином); 1 – пробка; 2 – коровая паренхима; 3 – смоляной ход; 4 – флоэма; 5 – камбий; 6 – ксилема; 7 – сердцевинный луч

Отличия заключаются в размерах структур: длина и ширина клеток пробки в боковых корнях на 8 и 10 мкм соответственно меньше, чем в главном; толщина перидермы почти в два раза меньше у боковых структур; длина клеток паренхимы коры у главных корней преобладает, а ширина отличается незначительно; диаметр сосудов ксилемы меньше у боковых коней; остальные биометрические параметры отличаются друг от друга незначительно (см. таблицу).

Значения биометрических показателей корней *C. denudatum*

Параметры, мкм	Значения	
	Главный корень	Боковой корень
Длина клеток пробки	$36,60 \pm 7,53$ 26–48	$28,00 \pm 7,93$ 17–43
Ширина клеток пробки	$22,80 \pm 6,49$ 13–28	$12,90 \pm 2,02$ 10–15
Толщина перидермы	$157,00 \pm 22,51$ 110–180	$79,40 \pm 17,09$ 60–115
Длина клеток паренхимы коры	$40,90 \pm 10,05$ 23–53	$36,50 \pm 7,85$ 25–50
Ширина клеток паренхимы коры	$20,30 \pm 2,98$ 15–25	$19,80 \pm 2,30$ 15–22
Просветы смоляных каналов	$24,20 \pm 4,71$ 20–32	$29,50 \pm 8,34$ 15–40
Диаметр сосудов ксилемы	$43,60 \pm 17,94$ 20–70	$37,00 \pm 15,18$ 15–60
Диаметр клеток лубяной паренхимы	$15,20 \pm 3,82$ 10–21	$19,50 \pm 3,72$ 14–26
Диаметр клеток сердцевинной паренхимы	$16,30 \pm 2,50$ 13–20	$14,80 \pm 4,18$ 10–20

На поперечном срезе каудекса исследуемого вида (рис. 3) наблюдается образование годичных колец из ксилемы, за счет чего он преобладает в размерах. Данная особенность в строении проводящих тканей придает дополнительную опору телу растения. В центре образуется крупная сердцевинная паренхима. В остальном строение аналогично подземным органам *C. denudatum*.

Выводы. В ходе исследования были рассмотрены особенности и изучена анатомическая структура подземных органов *C. denudatum*. Они имеют типичное строение для представителей семейства сельдерейные. Но в качестве ярко выраженных черт можно выделить следующие: 1) мощное развитие вторичных покровных тканей в качестве защиты от перепадов влажности; 2) образование воздухоносных полостей с целью обеспечения их необходимым запасом кислорода в неблагоприятный период времени; 3) хорошо развитые вторичные проводящие ткани, обеспечивающие достаточный уровень метаболизма в растительном организме; 4) образование годичных колец в каудексе. Полученные данные дополняют сведения об особенностях внутреннего строения *C. denudatum* и подтверждают наличие приспособлений к условиям переменного увлажнения на анатомическом уровне.

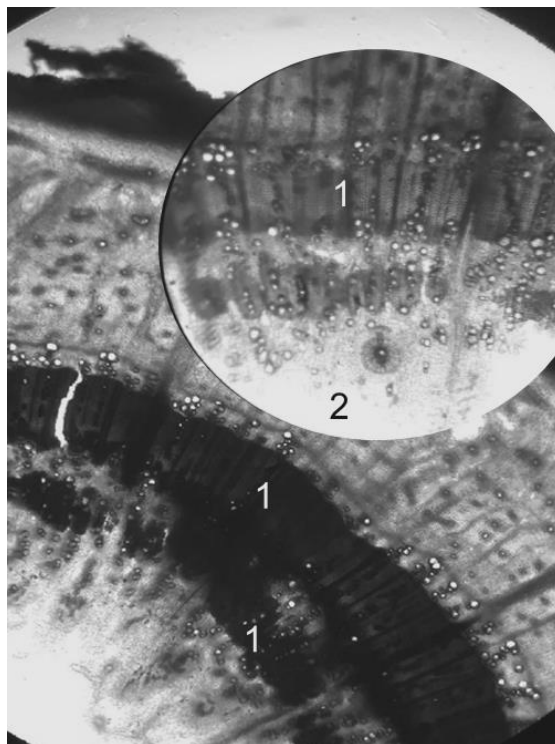


Рис. 3. Поперечный срез стеблевого участка каудекса *C. denudatum* (увел. 4×10, окрашивание флороглюцином): 1 – годичные кольца из ксилемы; 2 – сердцевинная паренхима

Библиографический список

1. Растительные ресурсы России: дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae – Ariaceae / отв. ред. А. Л. Буданцев. СПб. ; М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 601 с.
2. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 3 / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. М. : Товарищество научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2004. 520 с.
3. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Киров : Кировская областная типография, 2007. 440 с.
4. Справочник по ботанической микротехнике. основы и методы / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов и др. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
5. Петрова С. Е. Биоморфология, экология и структура ценопопуляций *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin (Ariaceae) на побережье белого моря // Вестник СПбГУ. Сер. 3. 2013. Вып. 4. С. 34–48.

Структура особей ландыша майского в сосняках ландышевых

Е. Э. Душина^a, Н. П. Савиных^b

аспирант группы Ба-2101-51-00, младший научный сотрудник

Центра компетенций «Использование биологических ресурсов»^a

доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и методики обучения биологии^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: usr21537@vyatsu.ru^a, usr11449@vyatsu.ru^b

Аннотация. Ландыш майский – ценное лекарственное и охраняемое растение, он образует особые типы сообществ – ландышевые боры. В настоящее время вследствие естественной трансформации сосняков сокращаются территории с условиями, соответствующими экологическим потребностям ландыша. Для оценки состояний растений в конкретных сообществах все чаще используют биоморфологические показатели, поэтому целью нашего исследования стало изучение биоморфологии особей ландыша майского в сосняках ландышевых в пределах северного сегмента ареала. Для выявления структурной организации особей были выбраны и описаны особи типичной структуры с позиций морфологической и физиологической целостности. Исследование показало, что в пределах ландышевых боров ландыш майский существует в виде компактных клонов из отдельных парциальных образований в составе простых и сложных индивидов, такой способ жизни определяется конкуренцией внутри единой особи и клона; наличие значительного по размерам участка из коротких междоузлий обеспечивает существование растения в ограниченном пространстве компактного клона в достаточно оптимальных условиях среды. Результаты могут применяться на практике для сохранения этих видов, внесут вклад в познание особенностей обитания неморальных видов.

Ключевые слова: *Convallaria majalis*, особо охраняемая природная территория, сосновый лес, неморальный элемент, ландышевые боры.

Введение. В связи с сокращением видового биоразнообразия при естественных трансформациях сосняков и антропогенном воздействии в них особое значение приобретает выявление адаптаций организмов к условиям среды и сохранение целостности сообществ. Сосняки ландышевые – особый тип боров с присущими только им видами и с типичными травами широколиственных лесов (неморальная группа); часто встречаются отдельными участками на границе этих сообществ и типичных таежных лесов с бореальными видами. Возможно, сосняки ландышевые сформировались в постледниковый период в результате трансформации лесных фитоценозов в ходе изменения климата и распространения хвойных лесов на север. Ландышевые боры пока еще встречаются в южных районах Кировской области в подзоне широколиственно-хвойных лесов, в том числе на территории ООПТ «Медведский бор» в Нолинском районе. Но в настоящее время вследствие естественной трансформации сосняков в зональные ельники площади их уменьшаются, сокращаются территории с условиями,

соответствующими экологическим потребностям ландыша майского (*Convallaria majalis* L.). *C. majalis* – ценное лекарственное и охраняемое растение, включено в Приложение Красной книги Кировской области – список редких и уязвимых видов растений, нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении [1]. Однако до наших исследований изучение морфологии и биологии ландыша майского в его современных условиях обитания в регионе не проводилось. В последнее время все чаще для оценки состояний растений в конкретных сообществах и разработки мероприятий по их сохранению используют биоморфологические и популяционно-онтогенетические показатели [2, 3]. Об изменении морфометрических параметров особей ландыша майского в зависимости от типа сообщества и условий сосняков, о счетных единицах при изучении ценопопуляций, а также о некоторых особенностях его репродуктивной биологии в сосняках зеленомошных и лишайниковых Медведского бора изложено ранее [4–6].

Изучение биоморфологии особей этого вида в сосняках ландышевых проведено впервые для сравнительного анализа особенностей структурной организации и оценки состояния *C. majalis* в широколиственных лесах, других типах сосняков в пределах северного сегмента ареала. Для этого определены следующие задачи: 1) изучить строение отдельных особей *C. majalis* в сосняках ландышевых; 2) оценить их с позиций целостности растения.

Методы исследования. Исследование проведено в сентябре 2021 г. в сосняке ландышевом в 117-м квартале Медведского бора (N 57°23.988, E 049°59.745). Изучали структуру растений на наиболее типичных площадках (20x20 м) после полного первоначального обзора всего сообщества. Здесь выполнены полные геоботанические описания согласно традиционным методикам [7], определены эколого-ценотические группы видов подлеска и травяно-кустарничкового яруса [8], отмечены особенности подроста.

Наименьшая морфологически целостная структура многолетней особи *C. majalis* – олигокарпический парциальный побег, представленный длительно моноподиально нарастающей с перерывом в цветении осью с гипо-эпигеогенным коревичем [4–6]. Для выявления структурной организации особей на

пробных площадках были выбраны и описаны особи типичной структуры. Детальное изучение растений проводили в лаборатории при помощи стереоскопического микроскопа «МСП-1 Вариант 22» со встроенной линейкой. Измеряли длину и ширину корневища, определяли их возраст (по числу годовых приростов), состав, длину и ширину боковых и апикальной почек; определяли наличие цветения (по остаткам оснований оси). Строение особи оценивали с позиций морфологической и физиологической целостности. Различали индивиды простые (физически непрерывное образование, у которого морфологическая целостность преобладает над автономностью частей [9, с. 18]) и сложные (физически непрерывное образование, автономные части которого связаны в субстрате коммуникационными структурами; морфологическая дезинтеграция – закономерный этап в развитии особи [10, с. 437]).

Результаты исследований, их обсуждение

Состав сообщества. Сомкнутость крон в исследованном сосняке ландышевом – 0,5; формула древостоя 10С. Средняя высота древостоя – $23,25 \pm 1,06$ м, средний диаметр ствола – $34,44 \pm 5,66$ см. В подросте отмечены сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth) и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). Подрост крупный, благонадежный, но местами отмечен сухостой *P. sylvestris*. В подлеске присутствует боровой вид (далее – Pn) можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.) и вид сухих песков раkitник русский (*Chamaecutis ruthenicus* (Fisch. Ex Woloszcz.) Klask.). Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 70%, в его составе преобладает неморальный ландыш майский, который местами образует скопления; а также щитовник игольчатый (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs). Из боровых видов присутствуют купена лекарственная (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), зимолюбка зонтичная (*Chimaphila umbellata* (L.) W.P.C. Barton), ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и прострел раскрытый (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.). Местами отмечены бореальные виды: вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), грушанка зеленоцветковая (*Pyrola chlorantha* Sw.). Мохово-лишайниковый ярус представлен

дикраном многоножковым (*Dicranum polysetum* Sw.), кладонией лесной (*Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot.), кладонией оленьей (*C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg.), плевроциумом Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и дикраном метловидным (*Dicranum scoparium* Hedw). Таким образом, состав эколого-ценотических групп сосняка ландышевого свидетельствует о сложном типе этого сообщества.

Строение особей. В отличие от диффузных клонов из парциальных побегов *C. majalis* в сосняках зеленомошных в этом бору на поверхности субстрата отчётливо выделялись отдельные скопления из них диаметром в основном до 25 см. При детальном анализе оказалось, что это скопление представляет собой компактный клон (генета, разделившаяся на несколько рамет [11, с. 174]) из нескольких (пяти) индивидов: два простых и три сложных.

Наиболее сложным образованием оказалась партикула из пяти осей. Три из них ветвятся (рис. 1, Б, В, Г). Оси А и Г отличаются от остальных по строению верхушки побега. Ось А представлена в основании небольшим удлиненным полу-розеточным участком длиной 11,35 см и розеточной частью из 74 коротких междуузлий общей длиной 0,74 см, цветущей в текущем году. Ось Г образована тремя парциальными побегами с гипогегенным участком бóльших размеров с преимущественно длинными междуузлиями в основании (общая длина – 15,51 см) и терминальным участком похожим на ось А (68 коротких междуузлий общей длиной 22 см). По всей видимости, оси А и Г старше по возрасту, чем остальные, и возникли еще на начальных этапах развития парциального куста.

Оси Б и В ветвятся, в основании имеют преимущественно длинные междуузлия. Однако ось В старше по числу годовых приростов и цвела в текущем году. Ось Б вегетативная и впервые вышла на поверхность. Боковые побеги этих осей полурозеточные с немногочисленными короткими междуузлиями в основании. Верхушечные почки вегетативные. В текущем году три из семи парциальных побегов этой особи цвели, но в момент наблюдения (осенью) все апикальные почки вегетативные. Поскольку соцветия ландыша закладываются в год, предшествующий цветению, то в следующем году эта особь должна быть вегетативной.

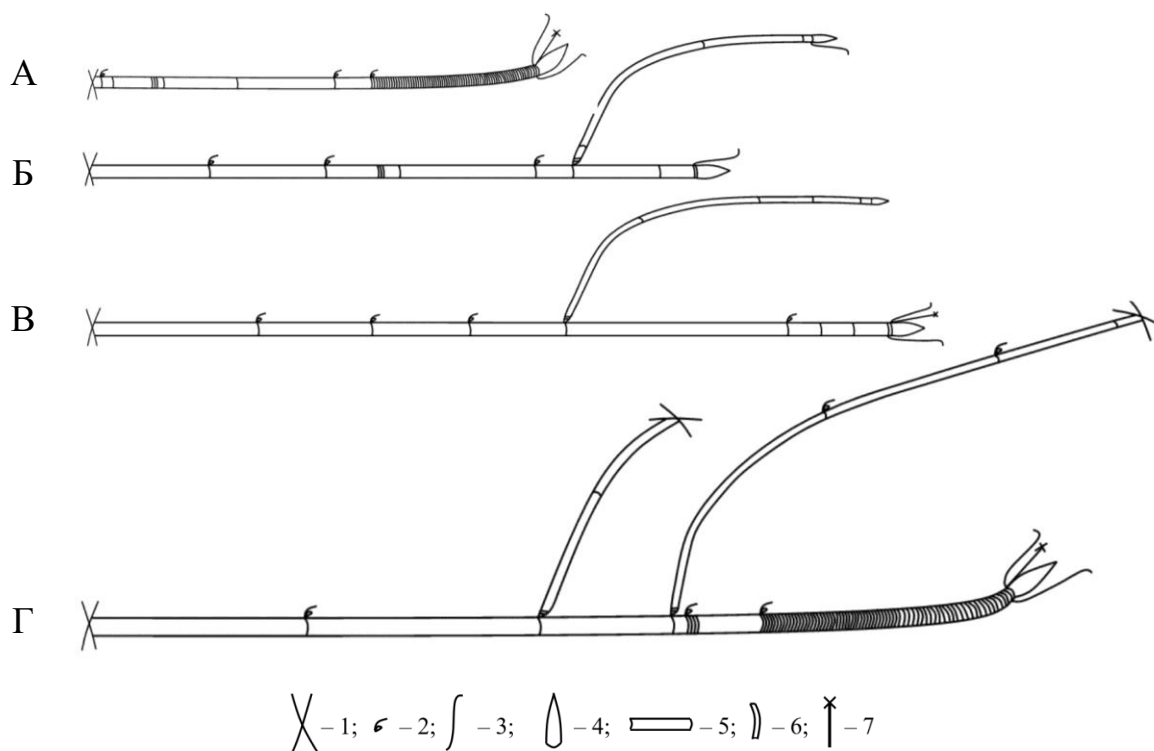


Рис. 1. Сложный индивид 1: 1 – отмирание побега; 2 – боковая почка с чешуевидным листом; 3 – ассимилирующий лист; 4 – верхушечная почка; 5 – длинное междоузлие; 6 – короткое междоузлие; 7 – отмершее соцветие

Второй сложный индивид (рис. 2) представлен составной осью из двух вегетативно-генеративных парциальных образований с большими розеточными участками (по 0,01 мм из 31 и из 59 у главной оси и боковой соответственно) на верхушках. Вероятно, такими партикулами представлены одни из первых осей в развитии парциального куста.

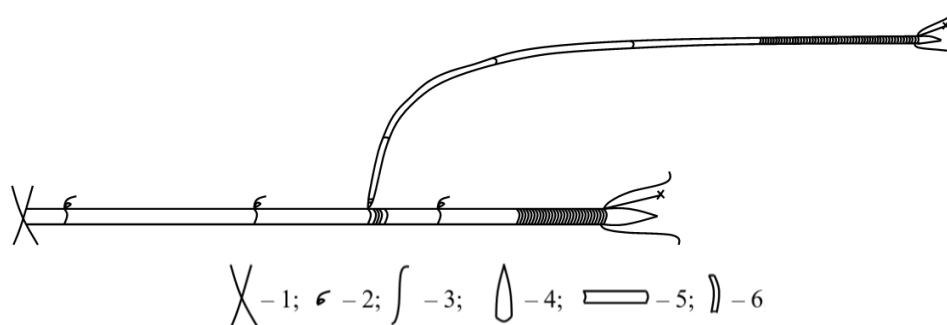


Рис. 2. Сложный индивид 2: 1 – отмирание побега; 2 – боковая почка с чешуевидным листом; 3 – ассимилирующий лист; 4 – верхушечная почка; 5 – длинное междоузлие; 6 – короткое междоузлие

Третий сложный индивид (рис. 3) отличается от второго числом боковых осей.

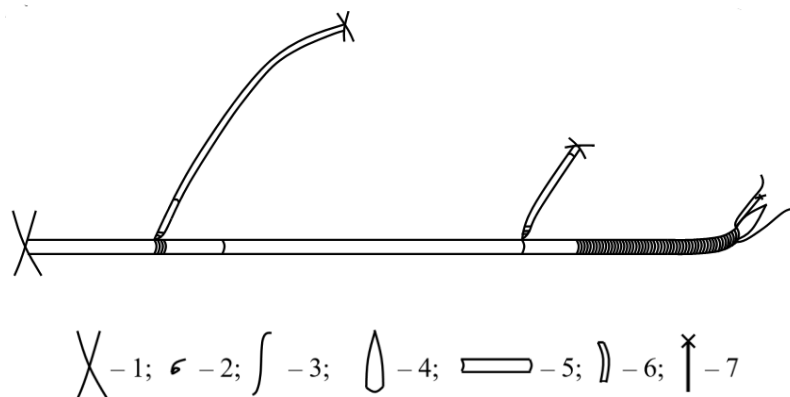


Рис. 3. Сложный индивид 3: 1 – отмирание побега; 2 – боковая почка с чешуевидным листом; 3 – ассимилирующий лист; 4 – верхушечная почка; 5 – длинное междоузлие; 6 – короткое междоузлие; 7 – отмершее соцветие

Парциальные побеги простых индивидов (рис. 4) отличаются длиной и числом коротких междоузлий (семь длинных и 34 коротких у первого, шесть длинных и 52 коротких у второго) и состоянием верхушки. Главная ось первого индивида цвела в текущем сезоне, но верхушечная почка вегетативная. Кроме того, из почки розеточного участка близ верхушки сформировался небольшой розеточный побег с вегетативной почкой на верхушке. По-видимому, это начало формирования нового парциального куста или перевершинивание оси. На верхушке второй особи находится небольшая вегетативная почка. В середине розеточного участка отчетливо заметны небольшие боковые почки. Судьба их не однозначна и требует уточнения.

По-видимому, эти особи – партикулы, возникшие из-за разрушения базального участка побега или верхушек длинных осей $n+2$ порядка.

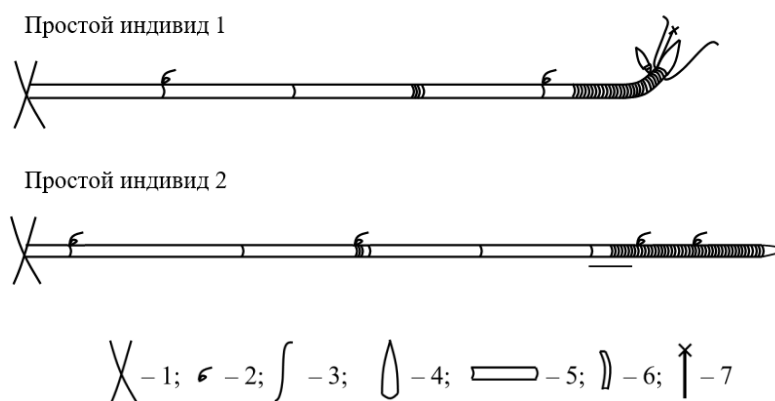


Рис. 4. Простые индивиды: 1 – отмирание побега; 2 – боковая почка с чешуевидным листом; 3 – ассимилирующий лист; 4 – верхушечная почка; 5 – длинное междоузлие; 6 – короткое междоузлие; 7 – отмершее соцветие

Выводы. *C. majalis* в пределах ландышевых боров существует в виде компактных клонов из отдельных парциальных образований в составе простых и сложных индивидов. По-видимому, при длительном существовании в сосняках ландышевых такой способ жизни определяется конкуренцией внутри единой особи и клона (внутривидовая борьба); наличие значительного по размерам участка из коротких междоузлий обеспечивает существование растения в ограниченном пространстве компактного клона в достаточно оптимальных условиях среды.

Библиографический список

1. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова. Киров : Кировская областная типография, 2014. 336 с.
2. Пичугина Е. В. Биоморфология и структура ценопопуляций *Jurinea cyanooides* (L.) Reichenb. и *Dianthus arenarius* L. на северо-востоке европейской России в связи с их охраной : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. Киров, 2007. 261 с.
3. Савиных Н. П., Шишкина Н. И. Биоморфология *Centaurea sumensis* Kalen. с позиции охраны вида // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. № 2. С. 69–89.
4. Душина Е. Э., Савиных Н. П. Особенности биоморфологии *Convallaria majalis* в сосняках особо охраняемой природной территории «Медведский бор» // Экология родного края : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Киров, 2020. С. 152–156.
5. Душина Е. Э., Савиных Н. П. О счетных единицах при изучении ценопопуляций *Convallaria majalis* L. в сосняках Медведского бора // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2020. С. 153–158.
6. Душина Е. Э., Савиных Н. П. Некоторые особенности репродуктивной биологии ландыша майского в сосняках Медведского бора // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2021. С. 223–228.
7. Ипатов В. С. Описание фитоценоза. СПб., 2008. 71 с.
8. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Л. И. Воронцова, Л. Е. Гатцук, В. Н. Егорова и др. М., 1976. 217 с.
9. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л. Б. Заугольнова, Л. А. Жукова, А. С. Комаров и др. М., 1988. 184 с.
10. Левин Г. Г. Проблема индивидуальности растений // Ботанический журнал. 1961. Т. 46. № 3. С. 432–447.
11. Восточноевропейские широколиственные леса / Р. В. Попадюк, А. А. Чистякова, С. И. Чумаченко и др. М., 1994. 364 с.

Биоиндикация атмосферного воздуха по флуктуирующей асимметрии березы повислой (*Betula pendula* Roth) в г. Кирове

А. Ю. Кауров^а, А. С. Олькова^б, М. А. Тупицына^с

студент группы ЛДб-3501-01-00^а

доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования^б

студент группы ЛДб-2501-01-00^с

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: stud115729@vyatsu.ru^а, usr08617@vyatsu.ru^б, stud126244@vyatsu.ru^с

Аннотация. Мониторинг воздушной среды городов является актуальной и одновременно сложной задачей, поскольку атмосферный воздух наиболее лабильный компонент среды обитания. Деревья являются биоиндикаторами, которые в многолетнем непрерывном режиме воспринимают химический состав воздуха. Целью данной работы была характеристика состояния атмосферного воздуха в разных районах г. Кирова по показателю флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой. Участки относились к паркам и скверам города. Было показано, что листья, собранные в центре города вблизи крупной автодороги, отличались коэффициентом асимметрии $Ka = 0,069 \pm 0,02$ – категория «грязно». На большинстве участков (4 из 6) Ka был в пределах 0,056–0,6 – категория «относительно чисто». В сравнении с аналогичными данными для других городов России г. Киров можно назвать экологически благополучным. Полученные данные являются частью биомониторинговых работ на территориях урбоэкосистем.

Ключевые слова: биомониторинг, атмосферный воздух, флуктуирующая асимметрия.

Введение. Большинству городов свойственно повышенное загрязнение воздушной среды. Чаще всего в городской черте наблюдаются превышения нормативов для так называемых общепромышленных загрязняющих веществ, таких как оксиды углерода, оксиды азота и серы [1]. В последнее время часто сообщается о превышении содержания бензапирена в городах [2]. Мелкодисперсная пыль может содержать соединения тяжелых металлов и других веществ, несвойственных воздуху [3].

Особенностью загрязнения воздушной среды городов является временная динамика содержания загрязняющих веществ в воздухе, связанная с потоками автотранспорта и режимами работы промышленных предприятий. Движения воздушных масс также создают проблемы в оценке загрязнения воздуха. В связи с этим растения-биоиндикаторы, постоянно произрастающие на исследуемой территории, могут своими ответными реакциями свидетельствовать о качестве окружающей среды. В частности, известно, что имеется связь между загрязнением атмосферного воздуха и асимметрией листьев деревьев.

Целью нашей работы было оценить качество атмосферного воздуха в парках и скверах города Кирова.

Методы исследования. В черте г. Кирова (Россия, Кировская область) были выбраны шесть участков преимущественно в парковых зонах и скверах, но с разной автотранспортной нагрузкой. На каждом участке было выбрано 10 деревьев *Betula pendula* Roth (береза повислая), с которых было собрано по 10 листьев. В результате участок характеризовался выборкой из 100 листьев. Половины каждого листа измерялись по пяти параметрам, затем сравнивались с вычислением коэффициента асимметрии (Ka). В зависимости от Ka участки характеризуются: $<0,055$ – чисто; $0,056–0,6$ – относительно чисто («норма»); $0,06–0,065$ – загрязнено («тревога»); $0,065–0,07$ – грязно («опасно»); $> 0,070$ – очень грязно («вредно») [4].

Результаты исследований, их обсуждение. На рис. 1 обобщены результаты биоиндикации воздушной среды на участках г. Кирова.

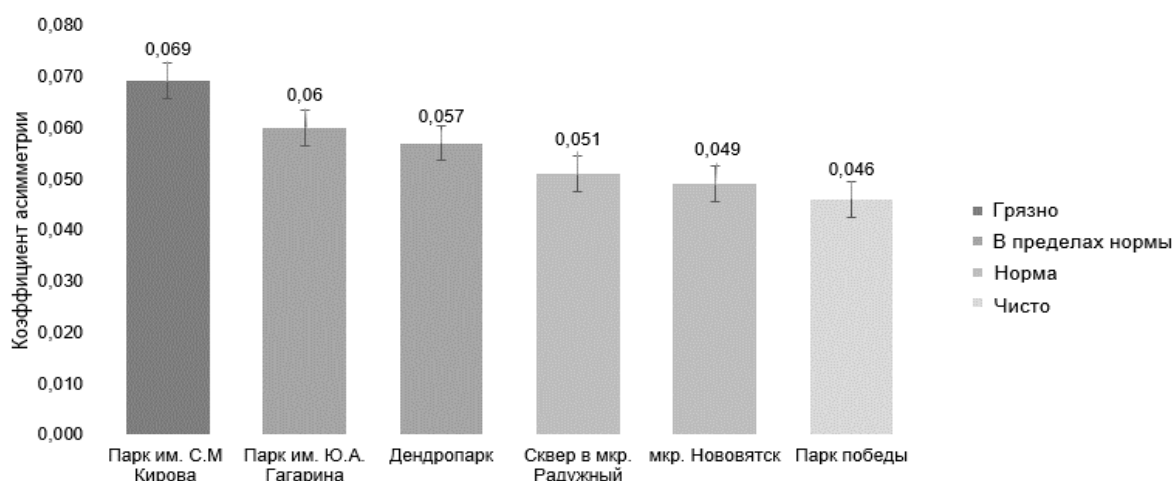


Рис. 1. Коэффициенты асимметрии листьев *B. pedula* в разных районах г. Кирова

Только один участок, расположенный в центре города около городского цирка (парк им. С. М. Кирова), был отнесен к категории «грязно». Вероятно, такая реакция *B. pedula* связана с близостью парка к одной из самых больших автодорог г. Кирова.

Участок в парке им. Ю. А. Гагарина характеризовался загрязненным воздухом по результатам биоиндикации. Ранее на этой территории мы отмечали превышение содержания некоторых тяжелых металлов в почве [5], поэтому воздействие на *B. pedula*, вероятно, было комплексным.

Другие обследованные участки относились к категории «относительно чисто». Следовательно, по данным биоиндикации воздух в большинстве городских парков г. Кирова является чистым.

Полученные данные согласуются с коэффициентами асимметрии, выявляемыми для разных городов. Так, в г. Омске (Россия) в рекреационных зонах средний Ka был на уровне 0,053, и только в промышленных зонах города зафиксирован $Ka = 0,064$ [6]. Для г. Благовещенска (Россия) также показано, что асимметрия листьев *B. pedula* возрастает вблизи крупных автомагистралей [7].

Также отметим, что имеются другие классификационные шкалы для ранжирования уровня асимметрии *B. pedula*, где $Ka > 0,040$ интерпретируются как различные степени отклонения от нормы [8].

Выводы. Таким образом, наиболее чистых участков с $Ka < 0,055$ среди парковых зон г. Кирова не обнаружено, но и наиболее загрязненных территорий с $Ka > 0,07$ также не встретилось. В Кирове наиболее вероятной причиной увеличения коэффициентов асимметрии *B. pedula* можно назвать выбросы от передвижных источников – автотранспорта. Полученные результаты вносят вклад в научные исследования качества окружающей среды в пределах урбосистем.

Библиографический список

1. Коротченко И. С., Мучкина Е. Я. Флуктуирующая асимметрия листьев древесных растений в оценке состояния окружающей среды Красноярска. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2017. 144 с.
2. Наместникова О. В. Содержание бензапирена в почвах крупного города // Технологии техносферной безопасности, 2017. № 2. С. 289–295.
3. Чистяков Я. В., Епархин О. М., Володин Н. И. Мелкодисперсная пыль – техногенная угроза биосфере // История и перспективы развития транспорта на севере России, 2014. № 1. С. 155–158.
4. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга : Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. 431 с.
5. Олькова А. С., Березин Г. И., Ашихмина Т. Я. Оценка состояния почв городских территорий химическими и эколого-токсикологическими методами // Поволжский экологический журнал. 2016. № 4. С. 411–423.
6. Александрова Т. В., Нахаева В. И. Экологическая оценка округов города Омска и их рекреационных зон с помощью растительных тест-объектов (*Betula pendula* Roth, *Trifolium repens* L.) // Успехи современного естествознания. 2015. № 1. С. 606–610.
7. Низкий С. Е., Сергеева А. А. Флуктуирующая асимметрия листьев березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества окружающей среды // Вестник КрасГАУ. 2015. № 7. С. 14–17.
8. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов, А. В. Валецкий. М. : Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

Особенности черноольховых сообществ ООПТ «Медведский бор»

И. А. Коновалова^a, М. Н. Скоробогатая^b

младший научный сотрудник Центра компетенций

«Использование биологических ресурсов»^a

аспирант группы Ба-4101-51-00, младший научный сотрудник

Центра компетенций «Использование биологических ресурсов»^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: usr12061@vyatsu.ru^a, usr20018@vyatsu.ru^b

Аннотация. Леса с доминированием ольхи черной в составе древостоя – своеобразные экосистемы со специфическими условиями среды и достаточно однотипным флористическим составом. Нередко они сосредоточены вдоль водных объектов, занимая территории, выполняющие функции особо защитных участков (ОЗУ) леса. В этих условиях формируются высокопродуктивные древостои, обеспечивающие разнообразие пойменных фитоценозов, в том числе на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Цель настоящего исследования – изучить особенности и структуру чистых черноольховых сообществ ООПТ «Медведский бор». Для их выявления проведен анализ данных таксационных описаний Медведского участкового лесничества 2016 г., полевые работы выполнены по традиционным методикам путем закладки временных пробных площадей. На территории ООПТ «Медведский бор» обнаружено 81 сообщество с разной долей (от одной до 10 единиц) участия ольхи черной в составе древостоя. Среди них в 23-м выделе 69-го квартала выявлен чистый черноольшаник ежевичный III класса возраста, представленный преимущественно одноствольными деревьями. В травяно-кустарничковом ярусе выявлено 15 видов трав. В летне-осенний период после весеннего паводка отмечен полный спад воды, поэтому типичный для черноольшаников кочкарный рельеф не выражен. Смены пород в сообществе в ближайшее время не прогнозируется.

Ключевые слова: *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., черноольховое сообщество, ООПТ «Медведский бор».

Введение. Ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) – ценная древесная порода, формирующая высокопроизводительные древостои и обеспечивающая биологическое разнообразие пойменных фитоценозов [14]. Ареал *A. glutinosa* охватывает большую часть Европы, простирается в Северную Африку, Малую Азию и Западную Сибирь [20].

Черноольшаники как своеобразные растительные сообщества, образующиеся в поймах малых рек, оврагах и ложбинах стока, характерны для всей территории средней полосы России [15]. Изучению таких сообществ посвящен ряд исследований [1–3; 5–7; 12]. Зарубежные работы направлены на изучение экологии черноольховых насаждений [21], их генетического происхождения [18; 20], процессов микоризообразования [17; 19], выявление болезней и их возбудителей [22]. Несмотря на это черноольховые леса относятся к наименее изученной и слабо освоенной лесной формации [9].

В Кировской области *A. glutinosa* встречается по всей территории, чаще в южных районах, в подзоне хвойно-широколиственных лесов по берегам рек и озер, на лугах и низинных болотах, нередко вместе с ольхой серой в заболоченных лесах [10]. На низинных болотах *A. glutinosa* – главная порода древостоя [8]. В структуре лесов Кировской области черноольшаники чаще относятся к лесным сообществам, выполняющим защитные функции и составляющим 20% от всех лесов региона, согласно данным Лесного фонда. Работы по изучению структуры, состава и динамики черноольховых насаждений Кировской области, в том числе на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), не известны.

Объект настоящего исследования – сообщества ООПТ «Медведский бор» с черной ольхой в составе древостоя; предмет – состав и состояние чистых (с долей *A. glutinosa* в составе древостоя 10 единиц) черноольховых фитоценозов. Цель исследования – изучить особенности и структуру чистых черноольховых сообществ ООПТ «Медведский бор». Для реализации цели решали следующие задачи: выявление сообществ с черной ольхой в составе древостоя по данным таксационных описаний Медведского участкового лесничества 2016 г.; определение мест произрастания чистых черноольховых сообществ на территории Медведского бора и изучение их структуры.

Методы исследования. На подготовительном этапе проанализированы данные таксационных описаний Медведского участкового лесничества Нолинского лесничества 2016 г., выявлены кварталы и выделы с участием *A. glutinosa* в составе древостоя. Среди исследуемых фитоценозов отмечено только одно с долей ольхи черной 10 единиц. В этом сообществе в сентябре 2021 г. по общепринятым методикам путем закладки временных пробных площадей [4; 11; 13; 16] проведено геоботаническое описание. Пробную площадь размером 20×20 м закладывали в наиболее типичном участке леса, определяли его тип, сомкнутость крон, флористический состав по ярусам, проективное покрытие травяно-кустарничкового (общее и по видам) и мохового ярусов. Обработку и анализ результатов проводили в лаборатории, оценивали состояние и структуру черноольшаника.

Результаты исследований, их обсуждение. В ООПТ «Медведский бор», согласно данным таксационных описаний, сообщества с черной ольхой представлены на территории 18 кварталов (33% от общего числа кварталов) и 81 выдела (4% от общего числа выделов). Они занимают всего 4,4% от площади Медведского бора. Доля ольхи в составе древостоя варьирует: в половине сообществ она составляет одну или две единицы, более трех единиц ольхи встречается в 3–8 фитоценозах, и только в одном выделе отмечено чистое (10 единиц в составе древостоя) черноольховое сообщество (рис. 1).

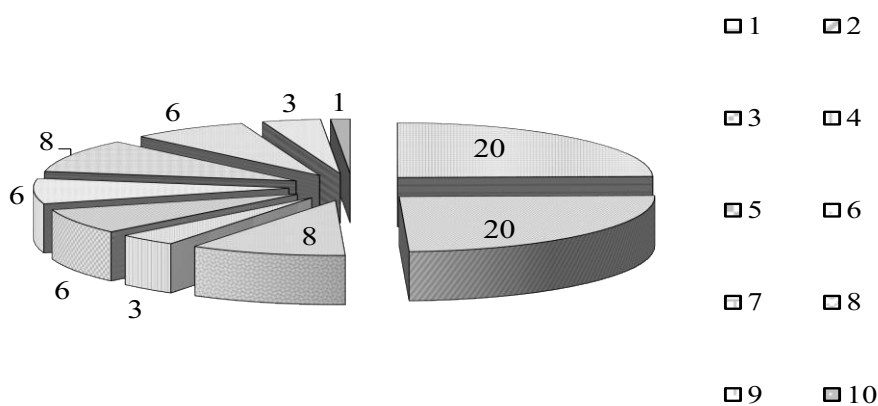


Рис. 1. Сообщества ООПТ «Медведский бор» с разной долей единиц (1–10) ольхи черной в составе древостоя

Черноольшаник изучен на территории 69-го квартала 23-го выдела (координаты N 57°23.863', E 050°00.046') Медведского бора в сентябре 2021 г. Согласно данным таксационных описаний, это насаждение III класса возраста (25 лет) с составом древостоя по запасу 100ЛЧ и полнотой 0,6; высота деревьев 10 м, диаметр стволов – 12 см. Территория является ОЗУ (особо защитный участок), относится к прибрежной защитной полосе, является берегозащитным и почвозащитным участком леса в пойме р. Медведок, протекающей к югу от изучаемого сообщества. С севера оно граничит с сосняком лишайниковым, расположенным на вершине дюны, с востока и запада простирается описываемое

сообщество. Микрорельеф территории неровный, встречаются стволы и сучья деревьев разной степени разложения.

Черноольшаник подвергается затоплению на высоту более 1,5 м во время весеннего половодья. Изменение уровня воды можно проследить по светлым кольцам на стволах ольхи, засохшим водным растениям (например, *Lemna minor* L.), прошлогодним побегам злаков и других трав на ветвях деревьев. В летне-осенний период стоячей воды на данной территории не отмечено, мертвый покров неравномерный, мощностью 2–3 см (местами до 10 см), составляет 50% от площади исследуемого участка. В его составе выявлены ветви, сучья, плоды и листья деревьев.

На временной пробной площадке отмечено 42 ольхи, 74% которых представлены одноствольными деревьями, 14% и 12% – двух- и трехствольными соответственно. Средние морфометрические показатели диаметра стволов – 15 см, высоты – 20,5 м. Сомкнутость крон насаждения 0,7.

В черноольшанике обнаружен подрост дуба (*Quercus robur* L.) семенного происхождения. Особи высотой не более 30 см сконцентрированы в южной части площадки, ослаблены, вероятно, в результате затенения. В подлеске преобладает черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.), встречаются смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh) и шиповник коричный (*Rosa majalis* Herrm.).

Травяной и кустарничковый покров неравномерный, занимает 70% от площади изучаемой территории и сосредоточен в южной ее части, наиболее влажной. В травостое выявлено 15 травянистых растений и один кустарничек (*Rubus vulgaris* Weihe & Nees), который занимает доминирующие позиции. Среди трав преобладают: крапива жгучая (*Urtica urens* L.), паслен сладко-горький (*Solanum dulcamara* L.), вейник тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.). Осоки (*Carex* sp.) сосредоточены в южной части площадки, где формируют типичный для черноольшаников кочкарный рельеф. Напочвенные мхи не выявлены; в основании стволов деревьев отмечены представители зеленых мхов (*Bryidae* sp.), на ветвях – лишайник пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata* Taylor).

Сообщество испытывает высокую антропогенную нагрузку: рядом расположена автомобильная трасса, лесные грунтовые дороги и тропы.

Таким образом, на территории 69-го квартала 23-го выдела Медведского бора изучен черноольшаник ежевичный III класса возраста. Смены пород в сообществе в ближайшее время не прогнозируется. Территория относится к особо защитным, лесохозяйственные мероприятия ограничены.

Выводы. 1. По данным таксационных описаний Медведского участкового лесничества Нолинского лесничества 2016 г. в ООПТ «Медведский бор» выявлено 81 сообщество с разной долей участия *A. glutinosa* в составе древостоя. 2. Чистый черноольховый фитоценоз (с долей ольхи 10 единиц в составе древостоя) отмечен только в выделе 23 квартала 69. Насаждение представляет собой черноольшаник ежевичный с преобладанием одноствольных деревьев, достаточно мощным мертвым покровом, занятым 15 видами трав. В результате расположения в пойме р. Медведок сообщество испытывает регулярное весеннее затопление и полный спад воды в летне-осенний период. В этих условиях типичный для многих черноольшаников кочкарный рельеф не выражен, кочки осок сосредоточены только в южной, более влажной, части территории. Уникальность условий места обитания обеспечивает стабильность сообщества, смены пород не прогнозируется.

Библиографический список

1. Благовещенский И. В. Черноольховые и ивовые сообщества болот центральной части Приволжской возвышенности // Ботанический журнал. 2018. Т. 103(7). С. 853–882.
2. Браславская Т. Ю. Широколиственные и черноольховые леса Европейской России как объекты в составе экологической сети // Географические основы формирования экологических сетей в Северной Евразии : сб. ст. по материалам VI Междунар. науч. конф. М., 2016. С. 18–24.
3. Василевич В. И. Видовое разнообразие сообществ черноольховых лесов северо-запада Европейской России // Ботанический журнал. 2017. Т. 102. № 7. С. 889–900.
4. Ипатов В. С. Описание фитоценоза : метод. рек. СПб. : Изд-во СПбГУ, 1998. 93 с.
5. Катуннова В. В. Эколого-ценотическая структура черноольховых лесов Нижегородского Поволжья : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Н. Новгород, 2007. 24 с.
6. Кутенков С. А. Черноольховые леса Карелии // Лесоведение. 2010. № 1. С. 13–21.
7. Кутенков С. А., Кузнецов О. Л. Разнообразие и динамика заболоченных и болотных лесов европейского севера России // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М. : ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2013. С. 152–204.
8. Леса Кировской области / под ред. А. И. Видякина, Т. Я. Ашихминой, С. Д. Новоселова. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2007. 400 с.

9. Невидомов А. М., Петухов Н. В., Черных В. Л. Типологическая схема черноольховых лесов Нижегородского Поволжья // Вестник МарГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1. С. 34–39.
10. Определитель растений Кировской области. Киров, 1975. Ч. I. 256 с. Ч. II. 304 с.
11. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / под ред. О. В. Смирновой и др. М. : Научный мир, 2000. 196 с.
12. Родионова Н. А. Пространственная структура, типы леса и динамика растительности черноольховых лесов Хоперского заповедника : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.05. Воронеж, 2009. 24 с.
13. Сукачѳв В. Н., Зонн С. В., Мотовилов Г. П. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН, 1957. 115 с.
14. Турчина Т. А. Особенности роста ольхи черной в культурах чистого и смешанного состава на южной границе ареала // Лесоведение. 2013. № 4. С. 12–21.
15. Хонинова Э. В., Карпухина Е. А. Черноольховые леса на особо охраняемых территориях г. Москвы // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 1. С. 35–39.
16. Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 447 с.
17. Bolat İ., Şensoy H. Microbial Biomass Soil Content and Activity Under Black Alder and Sessile Oak in the Western Black Sea Region of Turkey // International Journal of Environmental Research. 2019. Vol. 13. Pp. 781–791.
18. Cubry Ph., Gallagher E., O'Connor E., Kelleher C. T. Phylogeography and population genetics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in Ireland: putting it in a European context // Tree Genetics & Genomes. 2015. Vol. 11. № 99. Pp. 1–15.
19. Massicotte H. B., Melville L. H., Peterson R. L., Unestam T. Comparative studies of ectomycorrhiza formation in *Alnus glutinosa* and *Pinus resinosa* with *Paxillus involutus* // Mycorrhiza. 1999. Vol. 8. Pp. 229–240.
20. Mingeot D., Baleux R., B. Watillon Characterization of microsatellite markers for black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn) // Conservation Genet Resour. 2010. Vol. 2. P. 269–271.
21. Schröder P. Aeration of the root system in *Alnus glutinosa* L. Gaertn. // Annales des Sciences Forestières. 1989. Vol. 46. Pp. 310–314.
22. Strukova S., Vosatka M., Pokorný J. Root symbioses of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. and their possible role in alder decline: a preliminary study // Folia Geobot. Phytotax. 1996. Vol. 31. Pp. 153–162.

Конструкция адсорбера для очистки промышленных стоков

Политаева Н. А.^а, Челышева В. П.^б,
Юхина В. А.^с, Колосова Е. Д.^д, Зубарева Е. А.^е

доктор технических наук,

профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства^а

студент направления магистратуры Техносферная безопасность^б

студенты направления бакалавра Общая биология^{с, д, е}

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого^{а, б},

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена^{с, д, е}

Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: politaeva_na@spbstu.ru^а, chelysheva.valentina@yandex.ru^б

Аннотация. На данный момент в мире стоит острая проблема загрязнения водоемов и истощения природных ресурсов. Как правило, основными загрязнителями водоемов служат сточные воды промышленных предприятий, поэтому с каждым годом изобретаются и модернизируются системы очистки сточных вод. Наиболее перспективным направлением водоподготовки считается сорбция. Данный метод неоднократно показал свою эффективность. В данной статье будут рассмотрены достоинства и недостатки существующих конструкций адсорберов для очистки сточных вод на предприятиях, а также предложена возможность их модернизации с целью упрощения эксплуатации. Задачей усовершенствования конструкции является уменьшение количества труб, используемых для воды и кислоты, а также использование специализированной сетки с сорбционной загрузкой для замены материала по истечении срока эксплуатации. Данный вид адсорбера позволит упростить выгрузку сорбента, а также его регенерацию.

Ключевые слова: фильтры, адсорбер, сорбенты, сточные воды, конструкция.

Введение. Одной из самых актуальных проблем в современном мире является проблема загрязненности воды. Чаще всего причиной загрязнения водоемов является несанкционированный сброс сточных вод, поэтому важно упростить работу и модернизировать оборудование так, чтобы повышать эффективность очистки промышленных вод на предприятиях. На данный момент разработано множество конструкций адсорберов, однако у всех есть свои преимущества и недостатки эксплуатации.

Материалы и методы исследования. Существует множество разных конструкций адсорберов, разработанных под различные сорбционные материалы. Так, например, в патенте «Колонный адсорбер» (Пат. 50125) описывается адсорбер, который представляет собой полуколонну, состоящую из нескольких секций. Принцип его работы заключается в четырех циклах работы (при использовании двух секций): пропускание сточных вод через все слои сорбента, выгрузка нижнего слоя сорбционного материала на регенерацию, перемещение сорбента с верхнего яруса вниз и загрузка нового слоя сорбента на верх-

ний ярус. Данная конструкция позволяет обеспечить равномерное распределение адсорбента на каждой секции, повысить эффективность массообменных процессов. Однако данный способ довольно энергозатратный [1].

Также предложена конструкция адсорбера для глубокой очистки сточных вод, описанная в патенте № 94022861. Его основная новизна заключается в использовании камеры для озонирования, а также резервуара-регулятора расхода жидкости. Данный тип адсорбера рекомендуется использовать при очистке нефтесодержащих сточных вод. Такая конструкция позволит обеспечить удаление не только моноэлементных трудноокисляемых загрязнений, но и многокомпонентных соединений за счет комбинированного использования озона и сорбентов при автономной регенерации последних [2].

Для рассмотрения возможности модернизации адсорбера за основу взята конструкция вертикального адсорбера с неподвижным слоем (Пат. 169692) [3]. Основной отличительной чертой данной модели является наличие каскадной ударно-струйной форсунки для распыления жидкости, которая установлена внутри объема адсорбента. Однако данная конструкция не позволяет извлечь полностью слой адсорбента по истечении срока службы.

Результаты исследований, их обсуждение. Предлагается модернизировать модель адсорбера путем включения в схему сетки с подъемным механизмом для замены сорбционного материала, а также добавления в конструкцию распылительной трубки, чтобы загрязненная вода распределялась по всему объему сорбента. Схема предлагаемой конструкции адсорбера представлена на рис. 1.

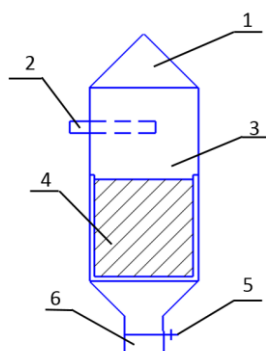


Рис. 1. Схема предлагаемого адсорбера:

1 – герметично закрывающаяся крышка адсорбера, 2 – складной входной патрубков с распылителем 3 – корпус фильтра, 4 – сетка для СМ, 5 – клапан для регулирования потока жидкости, 6 – выходной патрубков

Отличием конструкции будет являться и то, что верхняя крышка адсорбера будет выполнена с резьбой и герметично закрываться для выгрузки/загрузки сорбента. Тем не менее частая замена сорбционного материала может привести к большим затратам предприятия, поэтому с целью упрощения эксплуатации предлагается использовать для регенерации сорбента специальные кислоты, которые можно будет провести через трубы для воды. Также предусмотрен клапан для регулирования потока воды или кислоты.

На рис. 2 представлен чертеж, выполненный в программе Autodesk Fusion 360, для представления конструкции в общем виде.

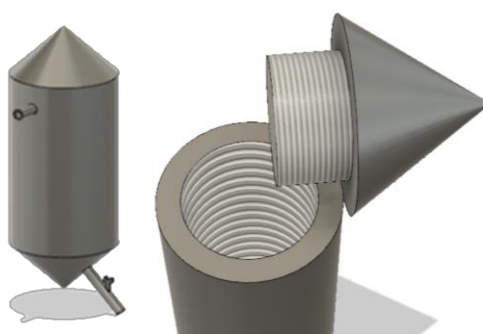


Рис. 2. Конструкция модели адсорбера в программе Autodesk Fusion 360

Выводы. В ходе проведенных исследований были выявлены наиболее эффективные и эргономичные конструкции адсорберов. Рассмотрены их недостатки, и выдвинуты предложения по модернизации. Предполагается, что использование сетки с подъемным механизмом упростит процесс извлечения сорбционного материала. Кроме того, в усовершенствованную конструкцию добавлена трубка для равномерного распределения сорбента, а также клапан для регулирования потока воды или кислоты. Данная конструкция позволит упростить эксплуатацию адсорбера, а также ускорить процесс извлечения и регенерации сорбционного материала.

Библиографический список

1. Пат. 50125. РФ, МПК В01D 15/04, В01J 47/10. Колонный адсорбер: № 2005122278/22; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.12.2005 / И. Х. Мингазетдинов, А. Н. Глебов, Б. Г. Ктомас, Н. Н. Меньшаева ; патентообладатель Казанский государственный технический университет имени А. Н. Туполева (RU). Бюл. № 36. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=98ff3d0ee790458176d3787559836e94>.

2. Пат. 94022861 РФ, МПК C02F 1/40, C02F 1/78, C02F 3/00. Установка для глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод: № 94022861/26; заявл. 14.06.1994; опубл. 27.04.1996

/ Е. П. Сидоров, М. Н. Сирота, Б. Н. Репин, М. В. Королева ; патентообладатель Е. П. Сидоров, М. Н. Сирота, Б. Н. Репин, М. В. Королева (RU). URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=e32f0d3d3dae4d4865dcbc7deeb98e>.

3. Пат. 169692 РФ, МПК C02F 1/28, B01D 15/00. Адсорбер: № 2016123763; заявл. 15.06.2016; опубл. 28.03.2017 / В. К. Леонтьев, Е. А. Гирба, О. Н. Кораблева, Л. М. Соболева, М. М. Осипова ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» ФГБОУВО «ЯГТУ» (RU). Бюл. № 10. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=282c4d8966ae9fa85ca92dd990a20000>.

Подбор продуцентов для получения эффективного и безопасного биоинсектицида против колорадского жука

Л. В. Устюжанинова^a, А. Ф. Акбирова^b, Н. А. Мартынова^c

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бб-3102-01-00^{b, c}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud115663@vyatsu.ru^b, stud115670@vyatsu.ru^c

Аннотация. В последние годы среди предприятий АПК растет интерес к эффективным и безопасным пестицидам, обеспечивающим защиту сельскохозяйственных растений от насекомых-вредителей, но при этом не наносящим вред окружающей среде и человеку. Одной из наиболее актуальных проблем в этой области является борьба с колорадским жуком, который вызывает снижение урожайности картофеля на 50% и более. Цель данной работы – подобрать микроорганизмы-продуценты для создания микробиологического препарата, эффективно действующего в качестве защиты растений от колорадского жука и при этом безопасного для человека, теплокровных животных и полезных насекомых. Определение количества живых клеток *Bacillus thuringiensis* в культуральной жидкости осуществляли высевом на плотные питательные среды (чашечный метод Коха). Для учета δ -эндотоксина использовали окрашивание микроорганизмов красителем кумассией бриллиантовой синей G-250 с последующим микроскопированием. Проверку инсектицидной активности культуральной жидкости против личинок колорадского жука проводили на листьях картофеля в условиях *in vitro*. Концентрация живых клеток бацилл в культуральной жидкости составила от менее 10^6 до более $3,0 \times 10^9$ КОЕ/см³; количество кристаллов δ -эндотоксина – от 1,2 до 2,6 в поле зрения. При исследовании инсектицидной активности против личинок колорадского жука *in vitro* были определены наиболее эффективные изоляты *Bacillus thuringiensis*: 202-77, 196-67, 195-16 и 194-4, которые и выбраны для дальнейшей работы. Полученные результаты могут быть интересны представителям АПК.

Ключевые слова: биоинсектицид, микробиологический препарат, колорадский жук, уничтожение насекомых-вредителей.

Введение. На данный момент всё более актуальным становится вопрос защиты сельского хозяйства экологичными методами, не наносящими вред окружающей среде и человеку. Одной из подобных проблем является противостояние насекомым-вредителям [1]. Важность изучения данной темы заключается в увеличении численности насекомых-вредителей, в частности колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*), что приводит к потерям урожая как у крупных сельскохозяйственных производителей, так и в локальных хозяйствах. Колорадский жук вызывает снижение урожайности картофеля на 50% и более. Общая площадь посадок картофеля в РФ составляет 1,13 млн га, 80% из которых заселяет колорадский жук. Недобор урожая клубней картофеля от колорадского жука в России составляет 4,1 млн т на сумму 19,4 млрд руб. [1, 3, 6].

Для борьбы с колорадским жуком, в том числе на крупномасштабных агропроизводствах, обычно используются химические пестициды, которые пагубно влияют на урожай культур, загрязняют окружающую среду и вызывают мутации как у растений, так и животных. Уже разработаны и существуют на рынке биопрепараты для борьбы с данной проблемой, которые помимо своих достоинств имеют ряд минусов, например, при обработке расходуется большое количество инсектицида, что является экономически невыгодным [1].

Поэтому цель данной работы – подобрать микроорганизмы-продуценты для создания микробиологического препарата, эффективно действующего в качестве защиты растений от колорадского жука и при этом безопасного для человека, теплокровных животных и полезных насекомых.

Задачи исследования:

1. На основании литературных данных выявить микроорганизмы, наиболее перспективные для создания эффективного и безопасного биоинсектицида.

2. Экспериментально определить активность роста и продукции токсинов у имеющихся на кафедре культур микроорганизмов после их культивирования в жидкой среде.

3. Провести проверку инсектицидной активности культуральной жидкости, полученной после ферментации исследуемых изолятов, против личинок колорадского жука в условиях *in vitro*.

Методы исследования

Объектом исследования являются три штамма *Bacillus thuringiensis* из коллекции ВКПМ (101-1797, 102-5081, 103-2899) и 15 изолятов *Bacillus thuringiensis*, выделенных на кафедре микробиологии ВятГУ. Исследования проводились тремя основными методами:

1. Определение количества живых клеток *Bacillus thuringiensis* в культуральной жидкости осуществляли высевом на плотные питательные среды (чашечный метод Коха) [2]. Для посева использовали питательную среду ГРМ-агар производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск.

2. Для учета δ -эндотоксина использовали окрашивание микроорганизмов красителем Coomassie Blue (кумассией бриллиантовой синей G-250). Не-

большое количество культуральной жидкости (40 мкл) наносили на предметное стекло, распределяли по площади 4 см^2 (над миллиметровой бумагой), затем фиксировали в пламени горелки и погружали в емкость с красителем. Затем препараты промывали дистиллированной водой, подсушивали и просматривали через иммерсионный объектив микроскопа с общим увеличением $\times 1000$ – 1500 [1].

3. Проверка инсектицидной активности культуральной жидкости против личинок колорадского жука в условиях *in vitro*. Для исследования использовали культуральную жидкость после ферментации *Bacillus thuringiensis* (18 изолятов и один контроль – физиологический раствор), листья картофеля (*Solanum tuberosum*) и личинки колорадского жука. Листья картофеля аккуратно укладывали в подписанные банки, наносили на них соответствующую культуральную жидкость, далее в банки помещали одинаковое количество личинок колорадского жука (по 10 или 20 штук), банки закрывали двумя слоями марли, которые фиксировали резинкой. Через 2–3 суток учитывали процент съеденной части листьев картофеля.

Для исследования на всех этапах использовали культуральную жидкость, полученную при глубинной ферментации бацилл на шейкер-инкубаторе в течение 4 суток при температуре 28–30 °С и 220 об./мин. Питательная среда состояла, %: кукурузная мука (1,5–2,4), кормовые дрожжи (3–3,5), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0,5–0,6), $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ (0,02–0,04), $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (0,15–0,20) и вода (до 100).

Результаты исследований, их обсуждение. Существует несколько микроорганизмов, интересных для создания биоинсектицидов, например *Bacillus pumilis* (*Bp*), *Brevibacillus laterosporus* (*Brl*), *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Первые два продуцента являются малоэффективными поскольку имеют ряд недостатков, например, вызывают мягкую гниль у овощей, фруктов и технических культур (*Bp*) или относятся к малоизученным микроорганизмам (*Brl*). Наиболее подходящим микроорганизмом является *B. thuringiensis*, поскольку единственным его минусом является высокоспецифичность, которая в определенных моментах является плюсом [4, 7].

Бактерии *Bacillus thuringiensis* способны синтезировать β -эндотоксин, который имеет эффективное и высокоспецифичное действие на насекомых, в нашем случае на *Leptinotarsa decemlineata* (колорадского жука). Механизм действия эндотоксинов заключается в растворении кристаллов в кишечнике насекомых, расщеплении протоксинов до токсинов, связывании токсинов со специфическими рецепторами и формировании ими пор в мембранах клеток кишечника, что приводит либо к нарушению клеточного гомеостаза, либо к лизису клеток и разрушению эпителия кишечника насекомых, в итоге насекомое перестает питаться и погибает [5].

По совокупности представленных данных было решено выбирать продуцентов биоинсектицида из представителей вида *Bacillus thuringiensis*. На кафедре ранее было получено три штамма *Bacillus thuringiensis* из ВКПМ и выделено 15 изолятов, отнесенных к виду *B. thuringiensis*. Следующим шагом стало изучение активности роста и продуцирования δ -эндотоксина у имеющихся изолятов для оценки перспективности их дальнейшего исследования и использования.

Изначально было проведено определение жизнеспособных клеток в культуральной жидкости после выращивания изолятов в жидкой среде на шейкере с помощью чашечного метода Коха. У большинства культур концентрация живых клеток составляла 10^7 – 10^8 КОЕ/см³ (табл. 1). Наибольшие значения – $1,0 \times 10^9$ КОЕ/см³ и выше – были отмечены при ферментации культур 197-68, 200-73, 193-3, 205-64.

Далее определяли количество δ -эндотоксина в полученной культуральной жидкости с помощью микроскопирования (см. рис. 1, таблицу). По полученным данным видно, что культуры 111, 204-63, 201-76, 198-70 образовали на исследуемой среде чуть большее число кристаллических белков δ -эндотоксинов, хотя полученную разницу без статистической обработки нельзя назвать достоверной.

Результаты по исследованию активности изолятов *Bacillus thuringiensis*

Номер изолята	Концентрация живых клеток бацилл в культуральной жидкости, КОЕ/см ³	Количество кристаллов δ-эндотоксина в поле зрения микроскопа, шт.	Доля поверхности листа картофеля, съеденная личинками колорадского жука, %	Количество умерших личинок колорадского жука, шт.
101-1797	$1,8 \times 10^7$	1,5	60	2
102-5081	$4,8 \times 10^8$	1,4	30	4
103-2899	$9,1 \times 10^6$	1,2	15	3
111	$1,2 \times 10^8$	2,6	40	0
193-3	$2,0 \times 10^9$	1,4	20	2
194-4	$7,4 \times 10^7$	1,5	10	2
195-16	$1,5 \times 10^8$	2,3	10	4
196-67	$3,0 \times 10^7$	1,7	5	3
197-68	Более $3,0 \times 10^9$	1,6	20	3
198-70	$1,2 \times 10^8$	2	15	2
199-71	$2,7 \times 10^6$	1,6	20	4
200-73	$2,2 \times 10^9$	1,4	70	0
201-76	$1,9 \times 10^8$	2,4	30	0
202-77	$5,1 \times 10^7$	1,2	5	2
203-78	$1,8 \times 10^7$	1,7	20	2
204-63	$1,6 \times 10^8$	2	60	0
205-64	$1,0 \times 10^9$	1,5	45	2
206-74	Менее $1,0 \times 10^6$	1,8	30	2
Контроль	–	0	85	1



Рис. 1. Микрофотография препарата с изолятом 201-76

После проведения двух исследований инсектицидной активности культуральной жидкости, полученной после ферментации изолятов, против личинок колорадского жука *in vitro* были определены наиболее эффективные изоляты: 202-77, 196-67, 195-16 и 194-4 (см. таблицу). Как можно увидеть на рис. 2б, листья картофеля, обработанные культуральной жидкостью изолята 111, были довольно хорошо объедены, что показывает отсутствие инсектицидного действия данной культуры. Для сравнения представлено фото пробы (рис. 2а), обрабо-

танной штаммом 202-77: листья остались нетронутыми, стрелкой указана умерщвленная личинка колорадского жука.

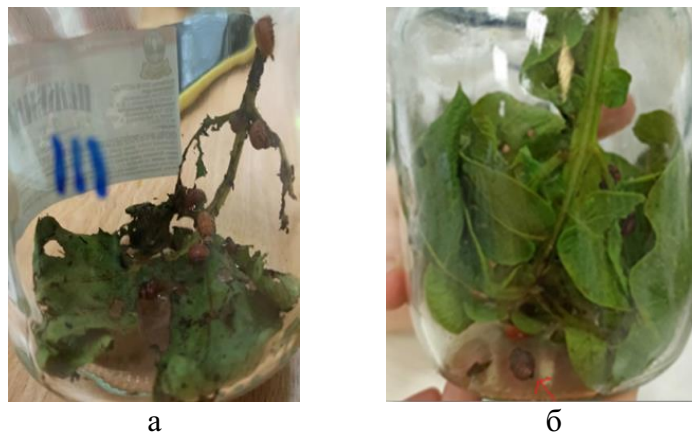


Рис. 2. Результаты исследования инсектицидной активности изолятов:
а – 202-77; б – 111

По полученным результатам из имеющихся 18 культур *Bacillus thuringiensis* были выбраны четыре изолята с наиболее выраженными инсектицидными свойствами: 202-77, 194-4, 195-16, 196-67.

Дальнейшей задачей является разработка технологии производства биоинсектицида. В разработку входит: оптимизация состава питательной среды, подходящей для роста культуры и синтеза δ -эндотоксинов; оптимизация температуры, рН и длительности культивирования, выбор посевной дозы, методов концентрирования и высушивания.

Выводы. Из проделанной работы и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Из теоретических данных определили ряд перспективных микроорганизмов для использования в качестве биоинсектицида, из которых выбрали бактерии вида *Bacillus thuringiensis* как наиболее подходящие под цель работы.

2. Определили активность роста и продукцию δ -эндотоксинов у имеющихся 18 культур бактерий *Bacillus thuringiensis* при ферментации на среде из кукурузной муки и кормовых дрожжей. Очевидной достоверной разницы по продукции эндотоксина не обнаружили.

3. При исследовании инсектицидной активности против личинок колорадского жука *in vitro* были определены наиболее эффективные изоляты *Bacillus thuringiensis*: 202-77, 196-67, 195-16 и 194-4.

Библиографический список

1. Белоусова М. Е. Энтомоцидная активность новых штаммов экспериментальных инсектицидов на основе *Bacillus thuringiensis* Berliner : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.07. СПб., 2019. 150 с.
2. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124386> (дата обращения: 05.02.2022).
3. Защита картофеля от колорадского жука и парши // allbest. URL: https://revolution.allbest.ru/agriculture/01176112_0.html#text (дата обращения: 03.01.2022).
4. Зубашева М. В. Характеристика штаммов *Brevibacillus laterosporus* и продуцируемых ими биологически активных соединений : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.03. М., 2012. 139 с.
5. Климентова Е. Г. Антимикробное действие дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* в отношении ряда фитопатогенных бактерий : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07. Ульяновск, 2001. 171 с.
6. Молявко А. А., Антощенко Ф. Е., Зейрук В. Н. Пути снижения ущерба от колорадского жука // Защита и карантин растений. 2011. № 6. С. 46–48.
7. *Bacillus subtilis* // Пестициды.ru. URL: https://www.pesticide.ru/active_substance/bacillus_subtilis (дата обращения: 01.02.2022).

Оценка эффективности антимикробной обработки при различных вариантах водоподготовки в пищевой промышленности

Л. В. Устюжанинова^a, В. Базарбаева^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бб-4101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud106710@vyatsu.ru^b

Аннотация. Вода – это важный компонент, потому что живые организмы состоят из воды на 70% и более. Водные ресурсы широко применяются для пищевых производств в качестве сырья, а также для технологических нужд, поэтому очень важно проводить качественную водоподготовку. Целью работы является оценить эффективность антимикробной обработки образцов воды при разных вариантах водоподготовки в пищевой промышленности. Во всех образцах воды в 100 мл не обнаружены ОКБ и ТКБ, в 20 мл не обнаружены споры сульфитредуцирующих клостридий. По полученным результатам наибольший антимикробный эффект (сравнение по уровню ОМЧ) был получен при выдержке нефльтрованной воды под вакуумом при 75 °С в течение 20–30 минут. Во всех остальных случаях общая обсемененность воды была выше, чем у образца из-под крана без обработки (вода артезианская, не хлорированная). Поэтому рекомендуется стерилизация воды (термическая или мембранными фильтрами) или хотя бы ее интенсивное кипячение в течение 15–30 минут непосредственно перед использованием. Особенно полезна представленная информация будет для специалистов пищевых производств.

Ключевые слова: вода, показатели микробиологической безопасности, обеззараживание воды, водоподготовка.

Введение. Вода – это важный компонент: более чем на 70% живые организмы состоят из воды. Водные ресурсы широко применяются для пищевых производств в качестве сырья, а также для технологических нужд (мытьё, уборка и др.). Важно правильно очищать воду от микроорганизмов, которые значительно влияют на её дальнейшее использование для тех или иных нужд. Микробиологическая чистота воды в большой степени влияет на последующую чистоту получаемого продукта [3].

Ни одно пищевое производство, которое изготавливает продукты питания или напитки (пусть это будут как большие, так и малые предприятия), не может обойтись без определенного набора требований, касающихся определенных качеств и технологических параметров воды. Параметры, определенные для каждого производства, могут отличаться, но самое главное в том, чтобы вода была очищена от опасных микроорганизмов, которые при попадании в человеческий организм могут привести к серьёзным проблемам со здоровьем. Неправильно

очищенная вода, недобросовестная работа по всем стадиям очистки в значительной степени оказывают влияние не только на вкус или цвет, но и, что самое важное, на качество и безопасность готовой продукции, которую выпускают предприятия. Помимо этого из-за неправильной обработки воды может сократиться срок годности полученного продукта, а также срок службы производственного оборудования [4].

Например, существуют определенные требования к производству напитков, например ограниченное солесодержание, отсутствие бактерий и микроорганизмов и другие [1].

Методы водоподготовки имеют огромное значение для обеспечения качества жизни населения, они имеют свои преимущества и недостатки, ведь правильно очищенная вода, готовая к употреблению, убережёт человечество от опасных заболеваний, которые могут передаваться вместе с водой. На сегодняшний день существуют следующие методы (этапы) водоподготовки: методы осаждения в промышленной очистке воды (коагуляция и флокуляция) и химическое осаждение [7]; мембранные способы водоподготовки (макрофильтрация, микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос) [6]; адсорбция; умягчение воды; кондиционирование воды; обеззараживание воды различными методами; удаление органических загрязнений; удаление нитратов из воды; обезжелезивание; осветление; обессоливание; дехлорирование [6, 7]. Это самые эффективные способы водоподготовки, которые отлично помогают на пищевом производстве. Из методов обеззараживания воды чаще всего применяются: хлорирование, озонирование, обработка УФ-излучением, тепловое воздействие, фильтрация через специальные фильтры [4, 6–7].

Цель работы является оценить эффективность антимикробной обработки образцов воды при разных вариантах водоподготовки в пищевой промышленности.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

– определить основные микробиологические показатели качества питьевой воды в представленных образцах;

– сравнить полученные значения между собой и с нормируемыми показателями;

– сделать вывод о том, какие способы водоподготовки более эффективны.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования выступали образцы воды после разных вариантов водоподготовки, которые нам предоставил производитель напитка, заинтересованный в наиболее эффективном методе водоподготовки на своем производстве.

Определение показателей: ОМЧ, ТКБ, ОКБ, споры сульфитредуцирующих клостридий, – проводили по МУК 4.2.1018-01 [5]. При определении общего микробного числа в 1 мл исследуемой воды вносят в чашку Петри (стерильную) и заливают 10–12 мл теплого (44°C) расплавленного питательного агара. В 1 мл питьевой воды должно быть не более 50 КОЕ. ОКБ и ТКБ определяли методом мембранной фильтрации: чашки с фильтрами инкубировали вверх дном в термостате при температуре 37 °С в течение 24 часов. Отсутствие спор сульфитредуцирующих клостридий определяли методом прямого высева четырех проб по 5 мл [5]. Согласно ГОСТ 29185-2014 споры сульфит-редуцирующих клостридий определяются следующим образом: пробу воды 20 мл (четыре пробирки по 5 мл) прогревали на водяной бане в пробирках при температуре 75 °С в течение 15 мин для исключения вегетативных форм (при исследовании хлорированной воды прогревание проб можно не производить) и, не охлаждая, заливали в каждую пробирку по 10 мл расплавленного железосульфитного агара, резко остужали и инкубировали при 44 °С 24 часа [5, 2].

Результаты исследования и их обсуждение. Во всех образцах воды в 100 мл не обнаружены ОКБ и ТКБ, в 20 мл не обнаружены споры сульфитредуцирующих клостридий (см. таблицу). Поэтому эффективность разных методов оценивали по общей обсемененности проб (ОМЧ). По полученным результатам наибольший антимикробный эффект был у выдержки нефльтрованной воды под вакуумом при 75 °С в течение 20–30 минут. Во всех остальных случаях общая обсемененность воды была выше, чем у образца из-под крана без обработки.

Содержание живых микроорганизмов в исследованных образцах воды, предоставленных с производства напитка

Номер образца	Наименование образца с указанием типа водоподготовки	Показатель		
		ОМЧ, КОЕ/см ³	ОКБ и ТКБ, в 100мл	Споры сульфитредуцирующих клостридий в 20 мл
1	Вода из бактерицидной (УФ) лампы	$(1,4 \pm 0,1) \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены
2	Вода фильтрованная некипяченая	$(2,0 \pm 0,2) \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены
3	Вода фильтрованная кипяченая 20 мин	$(6,6 \pm 0,2) \times 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены
4	Вода не фильтрованная, вакуум 75 °С	0,36 НВЧ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
5	Вода фильтрованная через фильтр Райфил и фильтр Гейзер умягчитель, две пробы	$(5,3 \pm 0,4) \times 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены
		$(3,4 \pm 0,3) \times 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены
6	Вода фильтрованная через фильтр Райфил и фильтр Гейзер умягчитель и кипяченая 15 мин, три пробы	$(1,8 \pm 0,2) \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены
		$(1,5 \pm 0,2) \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены
		$(1,8 \pm 0,2) \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены
7	Вода из крана, не фильтрованная (артезианская)	$(7,5 \pm 0,2) \times 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены
8	Фильтрованная вода	$(7,1 \pm 0,1) \times 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены

Как видно из представленных данных, фильтрация воды приводит к увеличению концентрации ОМЧ (образцы 7 и 8). При этом кипячение ее незначительно снижает (образцы 2 и 3), а иногда и способствует ее увеличению (образцы 5 и 6), что вызывает сомнения по поводу техники осуществления процесса кипячения воды (соблюдение временного и температурного режима для всего объема воды), ее охлаждения и отбора проб (соблюдения асептики при данных процессах). Кроме того, если после кипячения вода какое-то время хранилась, то численность микроорганизмов могла восстановиться и даже увеличиться.

Также видно, что бактерицидная лампа не осуществляет дезинфекцию воды (образец 1). Это связано с тем, что обработка УФ-излучением требует времени (минимум 30 мин); кроме того, проникновение излучения через толщу воды ограничено.

Увеличение ОМЧ в результате фильтрации может быть связано с тем, что часть микроорганизмов остается на фильтрах и трубопроводах и при отсутствии каждодневной антимикробной обработки размножается там, может образовывать биопленки, а при следующем запуске смывается, оказываясь в фильтрованной воде.

Выводы. Таким образом, по результатам микробиологических исследований образцов воды можно сделать следующие основные выводы:

1. Вода, применяемая в производстве напитка, имеет очень высокое содержание ОМЧ. Фильтры и бактерицидная лампа не снижают содержание микроорганизмов в воде и даже могут способствовать его увеличению за счет образования биопленок во время простоя оборудования.

2. Наименьшую микробную контаминацию имел образец нефильтрованной воды после нагревания при 75 °С под вакуумом.

3. Образцы кипяченой воды также имели довольно высокое значение ОМЧ. Скорее всего, это связано с тем, что образцы кипяченой воды были не свежими и/или отбирались не в стерильную тару/не асептически.

4. Во всех образцах воды в 100 мл не обнаружены ОКБ и ТКБ, в 20 мл не обнаружены споры сульфитредуцирующих клостридий.

5. Поэтому рекомендуется стерилизация воды (термическая или мембранными фильтрами) или хотя бы ее интенсивное кипячение в течение 15–30 минут перед использованием (именно перед использованием, без хранения).

Планируется провести исследования по влиянию УФ-излучения и термического воздействия на различные группы микроорганизмов при их нахождении в воде.

Библиографический список

1. Арсенов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий. URL: <http://komfortcondition.ru/vodosnabzhenie-promyshlennyh-predpriyatij-arsenov-v-g-2/> (дата обращения: 07.02.2022).
2. ГОСТ 29185–2014. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях: принят 29.08.2014; действует с 1.01.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119547> (дата обращения: 06.02.2022).
3. ГОСТ Р 51232–98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества: принят 17.12.1998; действует с 01.07.1999. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003120> (дата обращения: 05.02.2022).
4. Кожин И. В. Очистка питьевой и технической воды. М.: Издательство ООО «БАСТЕТ», 2008. 304 с.
5. МУК 4.2.1018-01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды: принят 9.02.2001; действует с 1.07.2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029648> (дата обращения: 07.02.2022).
6. Рябчиков Б. Я. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.
7. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка : учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 680 с., 178 ил.

Оценка азотфиксирующей активности бактерий, выделенных из почв Кировской области

Л. В. Устюжанинова^a, А. С. Безруков^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы ББ-3101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud123663@vyatsu.ru^b

Аннотация. В современном мире всё острее встает проблема нехватки еды, связанная с ростом численности населения. Одна из причин недостатка еды – это низкая урожайность растений, связанная с нехваткой азота. Решением этой проблемы могут выступать удобрения. Удобрения – это вещества для питания растений и повышения плодородия почвы, но, к сожалению, кроме положительных эффектов, удобрения способны оказывать и негативное влияние. Необходимо искать удобрения, способные повысить урожайность, не принося при этом вреда биогеоценозу в целом и всем его частям по отдельности. Кроме этого необходимо учитывать уровень сложности производства таких удобрений и возможность использовать их в разных природных условиях. Решением является использование биопрепаратов на основе азотфиксирующих микроорганизмов. Цель данной работы – оценка азотфиксирующей активности штаммов, полученных в ходе предыдущих исследований, и оценка возможности создания на их основе биоудобрений.

Ключевые слова: микробиологическое удобрение, биоудобрение, свободноживущие азотфиксаторы, бактерии рода *Azotobacter*.

Введение. В современном мире всё острее встает проблема нехватки еды, обусловленная ростом численности населения. Одна из причин – это низкая урожайность растений, связанная с нехваткой азота. Решением этой проблемы могут выступать удобрения. Удобрения – это вещества для питания растений и повышения плодородия почвы [3], но, к сожалению, кроме положительных эффектов, удобрения способны оказывать и негативное влияние. Необходимо искать удобрения, способные повысить урожайность, не принося при этом вреда биогеоценозу в целом и всем его частям по отдельности. Кроме этого необходимо учитывать уровень сложности производства таких удобрений и возможность использовать их в разных природных условиях.

Получение штаммов азотфиксаторов и создание биопрепаратов – это длительный научно-производственный процесс, включающий следующие этапы [8]:

1. Научно-исследовательская работа – реизоляция штаммов из их среды обитания, селектирование, изучение и сохранение их в коллекциях.

2. Подготовительный этап производства – подготовка питательных сред, восстановление физиологической активности азотфиксирующих бактерий по-

сле условий хранения, подготовка предприятия (система очистки воздуха и т. п.).

3. Производственный процесс – культивирование микроорганизмов в биореакторах; выделение конечного продукта; подготовка носителя (тары для жидких форм) и инокуляция используемого носителя.

4. Хранение или инкубирование биопрепарата в специальных условиях.

5. Контроль качества продукции.

6. Очистка сточных вод и/или газовых выбросов и утилизация отходов.

Объекты исследования – изоляты азотфиксаторов, выделенных из разных образцов почвы, обозначенных растением-индикатором, рядом с которым образцы почвы и отбирали [2]. Основные азотфиксирующие бактерии Кировской области относятся к родам *Azotbacter* и *Rhizobium*. Далее будет приведена краткая характеристика данных родов микроорганизмов.

Бактерии рода *Azotbacter* представляют собой крупные клетки овальной формы диаметром 1,5–2,0 мкм, от палочковидных до кокковидных. Эндоспор не образуют, но образуют цисты. Грамотрицательные, подвижные и являются аэробами. В не симбиотическом состоянии фиксируют не менее 10 мг N₂ в расчете на 1 грамм потребленного углерода, встречаются в почве и воде [6]. Бактерии рода *Rhizobium* представляют собой палочки 0,5–0,9×1,2–3,0, за счёт содержания β-гидроксипутирата преломляют свет при фазово-контрастной микроскопии. Грамотрицательные, подвижные за счет перетрихальных/субполярного жгутика (жгутиков), являются аэробами. В корневых клубеньках присутствуют в виде плеоморфных форм – бактериоидов [6].

Цель данной работы – оценка активности штаммов бактерий-азотфиксаторов, выделенных их почв Кировской области, и возможности разработки технологии производства биоудобрения на их основе. Основные задачи работы:

– провести ферментацию выделенных изолятов азотфиксаторов на жидкой среде Эшби;

– определить содержание азота в среде до и после ферментации и оценить активность азотфиксации у исследуемых изолятов;

- определить концентрацию биомассы культур после ферментации;
- выбрать изоляты для дальнейшей работы.

Методы исследования. Изначально использовали селективные среды для выделения изолятов азотфиксирующих бактерий. Для этого на питательную среду Эшби были помещены образцы почвы в виде разложенных по трафарету комочков, и затем было проведено культивирование в термостате при температуре 25° длительностью 5–10 суток. После этого методом истощающего штриха на среде Эшби были получены чистые культуры азотфиксирующих микроорганизмов [2].

Затем была произведена ферментация бактерий на жидкой питательной среде Эшби [7] в шейкер-инкубаторе при 26 °С и 150 об/мин.

Чашечным методом Коха (высев на агаризованные среды) определяли число живых клеток в исходной пробе [4].

Для определения активности роста биомассы и активности азотфиксации сначала проводили центрифугирование на скорости 9000 об/мин в течение 10 минут, чтобы отделить культуральную жидкость от биомассы. После этого рассчитывали концентрацию биомассы $X_{б/м}$, г/л, по формуле:

$$X_{б/м} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot (1 - \omega/100) \cdot 1000}{V},$$

где m_1 – масса пустой пробирки типа Falcon, г;

m_2 – масса пробирки типа Falcon с биомассой после центрифугирования, г;

ω – влажность биомассы, %;

V – объем культуральной жидкости, взятый для центрифугирования, мл;

1000 – коэффициент перевода г/мл в г/л.

Культуральная жидкость далее использовалась для определения азотфиксирующей активности. Суть метода заключается в определении концентрации азота в культуральной жидкости с помощью фотоколориметрии. Перед этим необходимо добавить к 1 мл культуральной жидкости 15 мл дистиллированной воды и 1 мл реактива Неслера, в случае образования опалесценции измерения проводят повторно, добавляя 14 мл дистиллированной воды, 1 мл реактива Неслера и 1 мл раствора сегнетовой соли. Далее проводят интенсивное встряхива-

ние пробирок, перед этим закрывая пробирки пробками. Затем проводили измерение оптической плотности раствора на спектрофотокориметре при длине волны 440 нм. Концентрацию азота в пересчёте на NH_4^+ определяли по калибровочной кривой [5].

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты исследования активности роста и азотфиксации на жидкой среде Эшби с мелом у восьми изолятов, выделенных из почв Кировской области, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования активности роста и азотфиксации у бактерий, выделенных из почв Кировской области

Номер образца	Концентрация сухой биомассы, г/л	Среднее значение оптической плотности по двум измерениям	Концентрация азота пересчёте на NH_4^+ , мг/л
1	4,2	0,123	1,38
2	77,6	0,747	Более 8,4
3	74	1,114	Более 12,5
4	67,8	0,470	5,29
7	15,8	0,168	1,89
8	16,2	0,495	5,57

При выборе культуры азотфиксаторов для эксперимента учитывались результаты предыдущих исследований по влиянию данных культур микроорганизмов на прорастание семян растений в условиях *in vitro* [1] и оценивалась их активность роста на агаризованных средах при получении чистых культур.

Из полученных в данном эксперименте данных можно сделать вывод, что наиболее перспективными штаммами азотфиксирующих микроорганизмов являются изоляты под номерами 3 и 2, так как они позволили получить наибольшее количество биомассы и показали наибольшую азотфиксирующую активность.

Выводы. При проведении данной исследовательской работы по анализу активности изолятов азотфиксаторов были обнаружены штаммы, обладающие высокой азотфиксирующей активностью, следовательно, эти образцы под номерами 2 и 3 можно использовать в разработке биоудобрения.

Библиографический список

1. Влияние азотфиксаторов на прорастание семян / Е. А. Мартинсон, Л. В. Устюжанинова, Д. Р. Шишкина, А. С. Безруков // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. Электрон. текстовые дан. Киров : Вятский государственный университет, 2021. URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2021-tom-2.pdf> (дата обращения: 05.02.2022).
2. Выделение азотфиксаторов из почв Кировской области / Е. А. Мартинсон, Л. В. Устюжанинова, Д. Р. Шишкина, А. С. Безруков // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. Электрон. текстовые дан. Киров : Вятский государственный университет, 2021. URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2021-tom-2.pdf> (дата обращения: 05.02.2022).
3. ГОСТ 20432-83. Удобрения. Термины и определения: принят 13.07.1983; действ. с 01.07.1984. М. : Издательство стандартов, 1992. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023006> (дата обращения: 05.02.2022).
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: 05.02.2022).
5. Исследования процесса глубинного культивирования аэробных микроорганизмов : метод. указания к лабораторной работе № 1. Киров : ВятГТУ, 1999. 28 с.
6. Определитель Бактерий Берджи / Дж. Хоултан, Н. Кринг, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямс, Д. Берджи. М. : Мир, 1997.
7. Питательные среды для культивирования. Республиканская коллекция микроорганизмов. URL: <http://www.rcm.kz/ru/sw> (дата обращения: 05.02.2021).
8. Сытников Д. М. Биотехнология микроорганизмов азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // Біотехнологія. 2012. Т. 5. № 4.

Сравнительная характеристика источников сырья для получения белковых изолятов

Л. В. Устюжанинова^а, Р. Ю. Завалин^б

старший преподаватель кафедры микробиологии^а

студент группы Бм-1101-01-00^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^а, stud142457@vyatsu.ru^б

Аннотация. Белок является важным веществом в жизни человека. Существующие проблемы с нехваткой белковых продуктов чаще всего решались наращиванием сельскохозяйственной промышленности, но ее развитие негативно сказывалось на экологии планеты, а удовлетворить спрос растущего населения пищей при этом никак не получается. Получение белковых изолятов из разных видов сырья позволит приблизить нас к решению этих проблем. Такой способ производства белка сокращает выбросы парниковых газов к минимуму и является отличной альтернативой животному белку. Сырьем для такого производства может являться любой биологический объект с достаточным содержанием белка и хорошим аминокислотным составом. Целью исследования является получение сравнительной характеристики разных источников белковых изолятов и обобщенной схемы их получения. Для аналитического исследования способов получения изолятов и изучения их характеристик использовалась научно-техническая и патентная информация. В работе рассмотрены достоинства и недостатки основных источников белковых изолятов. Технологии производства отличаются в зависимости от сырья, но можно составить обобщенную схему классического получения белка, что также было сделано в данной статье. Данный материал будет интересен и полезен представителям пищевых производств.

Ключевые слова: изолят белка, растительный белок, белок из микроорганизмов, белок из насекомых.

Введение. Белки – главный строительный материал организма человека. На данный момент главным источником белка является животноводство. Хронический дефицит полноценного белка – важнейшая из проблем современного человечества. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций и Всемирной организации здравоохранения (FAO/WHO), на рубеже XX–XXI вв. дефицит пищевого белка в мире составлял не менее 20 млн тонн в год [11].

По данным Росстата, большую долю промышленных производств продуктов питания в РФ занимают мясная, мукомольная, масложировая и молочная промышленность [15].

Увеличение спроса на продовольствие стимулирует ускорение темпов развития такой области сельского хозяйства, как животноводство, которое, в свою очередь, является одним из самых значительных источников выброса парниковых газов. Выбросы углекислого газа в животноводстве связаны с про-

цессами дыхания, производством кормов, производственными процессами при переработке продуктов животного происхождения, переработкой и транспортировкой охлажденных продуктов [5].

Большая часть выбросов – 62%, что составляет 5,0 гигатонн в CO₂-эквиваленте – приходится на крупный рогатый скот. Эта цифра примерно поровну делится между молочным и мясным стадом. Уровень выбросов, источником которых является разведение свиней, птицы, буйволов и мелких жвачных, гораздо ниже – это примерно 7–11% от суммарных выбросов сектора. Наибольшее количество выбросов приходится на говядину и коровье молоко – 3,0 и 1,6 гигатонны CO₂-экв. соответственно. За ними следуют свинина (0,82 гигатонны CO₂-экв.), мясо и яйца кур (0,79 гигатонны CO₂-экв.), буйволиное мясо и молоко (0,7 гигатонны CO₂-экв.), мясо и молоко мелких жвачных (0,5 гигатонны CO₂-экв.). Остальные выбросы приходятся на другие виды птицы и непищевые продукты [9].

В России, по данным Росстата, выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве на 2019 г. составляют 114,17 млн тонн CO₂-экв. (рис. 1) [15].

ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ¹⁾											
(миллионов тонн CO ₂ -эквивалента в год)											
	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Всего	104,88	103,53	106,19	105,18	107,66	107,54	108,60	112,49	113,12	112,83	114,17
в том числе:											
внутренняя ферментация сельскохозяйственных животных	43,01	40,48	39,43	40,12	40,51	39,90	39,68	39,40	39,38	39,37	39,09
системы сбора и хранения навоза	10,82	11,55	11,47	11,68	12,10	12,05	12,21	12,81	12,55	12,67	12,28
рисоводство	0,43	0,62	0,64	0,62	0,58	0,60	0,62	0,64	0,58	0,56	0,60
возделываемые почвы	49,79	50,10	53,86	51,92	53,67	54,12	55,29	58,88	59,77	59,25	61,26
известкование и внесение мочевины	0,83	0,78	0,78	0,84	0,80	0,87	0,80	0,77	0,84	0,98	0,93

¹⁾ Данные Российского национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом.

Рис. 1. Выбросы парниковых газов в РФ [15]

Сокращения выбросов CO₂ в атмосферу от мясной промышленности можно достичь таким путем, как замена животного белка. Источником белка в данном случае могут быть растения, насекомые и микроорганизмы.

Целью исследования является получение сравнительной характеристики разных источников белковых изолятов и обобщенной схемы их получения.

Задачи:

1. Обоснование актуальности производства белковых изолятов.
2. Описание основных характеристик белковых изолятов и их преимущества по сравнению с животным белком.
3. На основании научно-технической и патентной информации разработка краткого описания обобщенной технологии производства белковых изолятов из различных источников сырья.

Ведущий подход. Для аналитического исследования способов получения изолятов и изучения их характеристик использовалась научно-техническая и патентная информация.

Способы производства зависят от источника сырья. Для их сравнения были выбраны следующие источники изолята белка: соя, горох, люпин, тутовый шелкопряд, черная львинка, дрожжи.

Результаты исследований, их обсуждение. При анализе данных по источникам белковых изолятов была составлена сравнительная таблица [3, 4, 6–8, 10, 12–14, 16–18].

Растительное сырье является на данный момент самым распространенным вариантом для получения изолята белка. Соя пока занимает лидирующие позиции в качестве источника белкового изолята. Этому способствует высокое содержание в ней белка. Соя появилась одной из первых на рынке пищевого белка, что тоже сказалось на ее популярности. Но со временем соя как источник белка теряла свои преимущества на рынке. Содержание фитоэстрогенов, негативно влияющее на здоровье человека, особенно женщин, высокое развитие аллергенности пошатнуло первенство сои на рынке [8, 13, 14].

Сравнительная характеристика источников изолята белка

Источник изолята белка	Содержание белка, % от АСВ	Достоинства	Недостатки
Соя	Примерно 40	Высокий уровень содержания белка; низкое содержание крахмала; состав незаменимых аминокислот почти идентичен составу белков животного	Высокая аллергенность; зависимость содержания белка в зерне от климатических факторов; специфические органолептические свойства; содержание

Источник изолята белка	Содержание белка, % от АСВ	Достоинства	Недостатки
		происхождения; высокая усвояемость; хорошая урожайность во всем мире	фитоэстрогенов; один из самых высоких показателей загрязнения пестицидами
Горох	От 20 до 30	Высокая усвояемость; богат лизинном; низкая аллергенность; хорошие гелеобразующие, эмульгирующие и водосвязывающие свойства; аминокислотный состав близок к идеальному для человека	Специфический запах; зависимость содержания белка в зерне от климатических факторов
Люпин	От 32,0 До 56,0	Неприхотливость к климатическим условиям; низкая аллергенность; повышенное содержание незаменимых аминокислот	Содержание алкалоидов; зависимость производства изолята от урожая
Кормовые дрожжи	36–48	Большая скорость роста микроорганизмов; удовлетворительная биологическая ценность белков; независимость производства от погодных условий; простота в выращивании	Повышенное содержание нуклеиновых кислот, аллергенов, антигенных факторов и ряда других нежелательных веществ в составе клеточных стенок
Пекарские дрожжи	33–34		
Черная львинка	38–46	Выращивается на самых разных отходах; высокое содержание всех незаменимых аминокислот; большие перспективы в использовании как пищевого белка	В Европейском союзе существуют общие принципы безопасности пищевых продуктов и кормов – «Общий закон о пищевых продуктах» и «Гигиенический пакет», в силу которых использование для откорма навоза и отходов питания запрещено; в основном используется как кормовой белок для животных; слабо изучены аллергические свойства
Тутовый шелкопряд	До 55	Высокая производительность; высокая усвояемость; положительный эффект на здоровье организма	В основном использование для корма животным; слабо изучены аллергические свойства

Альтернативой сое может стать такое перспективное сырье, как горох: его аминокислотный состав более сбалансирован, чем у сои, а его хорошие гелеобразующие, эмульгирующие и водосвязывающие свойства вызвали спрос на гороховый белок у производителей растительного молока и мяса [10, 17].

Люпин также является перспективным растительным сырьем для получения изолятов белка. Единственный его минус – это содержание в нем разных видов алкалоидов [4, 16].

Растительное сырье очень хороший источник изолята белка, сыскавший применение в различных сферах промышленности (пищевая, фармацевтическая и косметическая). Самый большой недостаток производства растительных белков – сильная зависимость от урожайности [8].

Белковые изоляты, полученные из насекомых, имеют большую популярность на рынке Азии, где пищевой белок находится в большом недостатке. Главным достоинством такого изолята является содержание всех незаменимых аминокислот. Аминокислотный состав белка из насекомых сильно схож с яичным белком, который является эталоном по их содержанию. На рынке не так много производителей изолятов белка для использования в пищевой промышленности. В основном полученный белок используют для кормовых целей [3, 6, 12, 18].

Микроорганизмы как источник белка стали отличной альтернативой растениям и насекомым. Они имеют большую скорость роста, чем у конкурентных видов сырья. Независимость производства от погодных условий позволяет получать биомассу микроорганизмов круглогодично. Например, дрожжи устойчивы к инфекциям, легко отделяются от среды благодаря крупным размерам клеток, способны усваивать различные источники углерода, азота, могут расти на простых средах. Однако микроорганизмы содержат повышенное количество нуклеиновых кислот и ряда других нежелательных веществ в составе клеточных стенок [7].

По различным прогнозам, мировой рынок изолята белка будет только расти. В России основным источником белковых изолятов пока является соя, но все больше компаний интересуются наиболее безопасными и лучшими по качеству альтернативами. Уралхим, например, вложил около 300 млн рублей в развитие технологии получения чистого белка из гороха [1, 2].

Классическая схема выделения белкового изолята включает следующие этапы, представленные на рис. 2 [8].

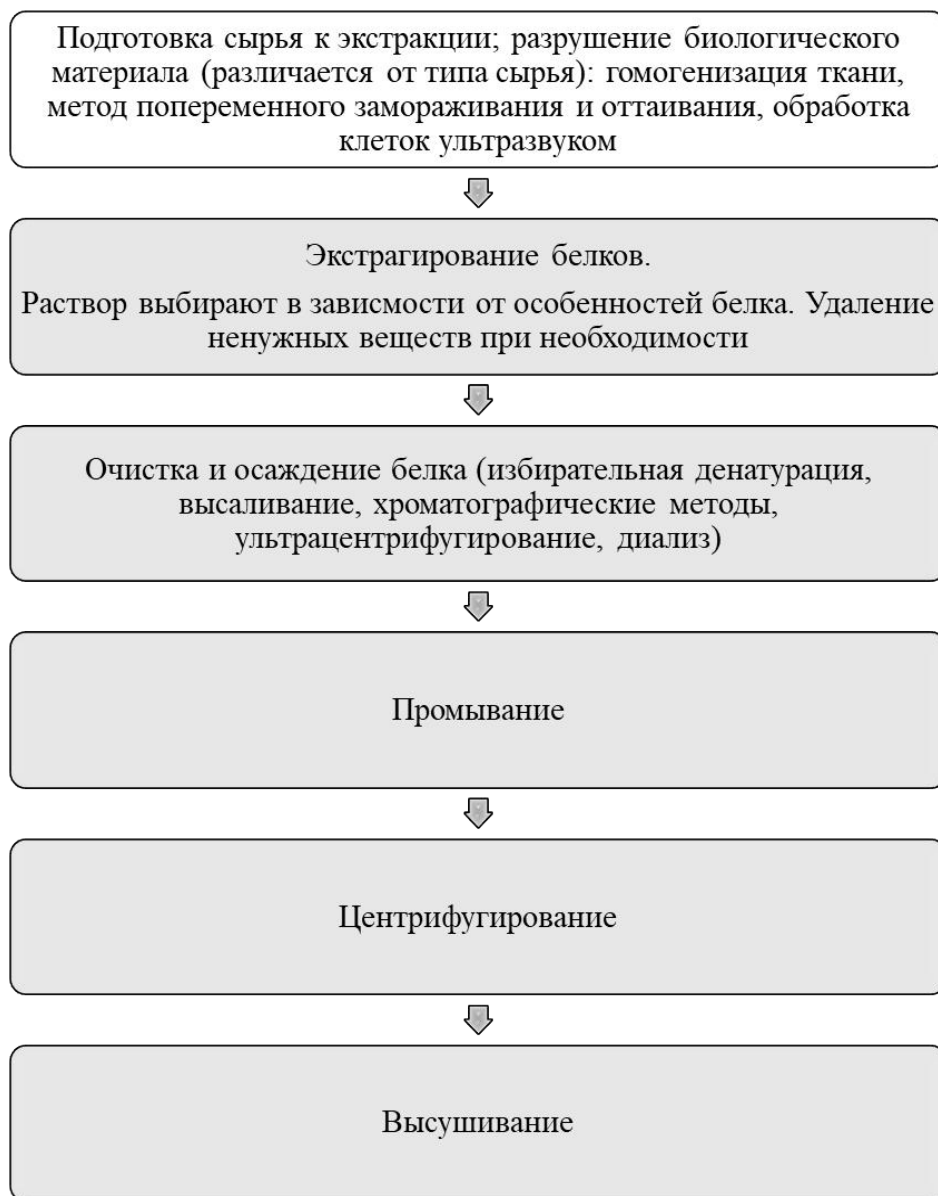


Рис. 2. Классическая схема получения белка [8]

Весь процесс чаще всего проводят при пониженных температурах, чтобы не допустить денатурации белка. Экстрагент выбирают так, чтобы помимо наиболее полного выделения белка отбросить максимальное количество сопутствующих примесей, происходит не всегда в одну фазу. Очистка также чаще всего происходит в несколько стадий, на каждой последующей стадии применяются все более тонкие методы очистки белка. Для очистки и осаждения применяются различные методы [8].

Главным недостатком большинства способов извлечения белковых изолятов является необходимость применения агрессивных веществ, для элиминации которых из конечных продуктов требуется многократная промывка водой.

Это создает экологические проблемы и значительно удорожает получаемый изолят [8].

Выводы. Производство белковых изолятов является большой необходимостью для всего мира. Оно может помочь снизить выброс парниковых газов в атмосферу и избавиться от дефицита полноценного белка.

В работе рассмотрены различные виды сырья для получения изолята белка с их достоинствами и недостатками, а также приведена классическая схема получения белкового изолята.

Библиографический список

1. «Уралхим» вложил 300 млн рублей в разработку альтернативных продуктов из гороха. URL: <https://www.forbes.ru/newsroom/biznes/434675-uralhim-vlozhil-300-mln-rublej-v-razrabotku-alternativnyh-produktov-iz-goroха> (дата обращения: 06.02.2022).
2. Global Protein Isolate Market – Industry Trends and Forecast to 2028. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-protein-isolates-market> (дата обращения: 06.02.2022).
3. Longvah T., Mangthya K., Ramulu P. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae // Food Chemistry. 2011. Т. 128. № 2. С. 400–403.
4. Агафонова С. В., Рыков А. И., Мезенова О. Я. Оценка биологической ценности белков люпина и перспектив его использования в пищевой промышленности // Вестник Международной академии холода. 2019. № 2. С. 79–85.
5. Алексеева Н. А. Влияние животноводства на выбросы парниковых газов // Молодежь и наука. 2019. № 5–6.
6. Евлагина Е. Г., Матанская Ю. С. Технология инновационных функциональных биологически активных продуктов на основе гусениц тутового шелкопряда // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Воронеж, 2013. С. 124–128.
7. Байнович Б. и др. Альтернативы мясному белку // Все о мясе. 2012. № 6. С. 24–27.
8. Компанцев Д. В. и др. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. С. 58–58.
9. Модель экологической оценки мирового животноводства (ГЛЕАМ). URL: <https://www.fao.org/gleam/results/ru/> (дата обращения: 06.02.2022).
10. Пахотина И. В. и др. Особенности формирования содержания белка в зерне гороха в условиях Западной Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (163). С. 60–67.
11. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. URL: <https://www.fao.org/home/ru> (дата обращения: 06.02.2022).
12. Садыкова Э. О. и др. Пищевая и биологическая ценность биомассы личинок *Hermetia illucens* // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 2 (534). С. 73–82.
13. Синеговская В. Т., Очкурова В. В., Синеговский М. О. Содержание белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 5. С. 15–19.
14. Смагина А. В., Сытова М. В. Анализ использования соевого белка в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2011. Т. 23. С. 174–179.

15. Федеральная служба государственной статистики. URL: [https:// rosstat.gov.ru/](https://rosstat.gov.ru/) (дата обращения: 06.02.2022).
16. Хрулев А. А., Бесчетникова Н. А. Белок из люпина: технологии, применение, перспективы // Пищевая промышленность. 2015. № 12. С. 63–65.
17. Хрулёв А. А., Бесчетникова Н. А., Федотов И. А. Тенденции развития и экономические аспекты производства горохового протеина // Пищевая промышленность. 2016. № 4. С. 24–29.
18. Юматов Е. Н. Оценка новых источников белка насекомых в условиях Российской Федерации как устойчивая альтернатива традиционным вариантам производства белоксодержащих продуктов // Сельское хозяйство. 2019. № 1. С. 1–24.

Изучение возможности получения этанола из молочной сыворотки

Л. В. Устюжанинова^a, А. Д. Леушина^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бб-4101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud105833@vyatsu.ru^b

Аннотация. На данный момент в производстве пищевого этилового спирта используются ценные ресурсы: зерновые культуры, картофель и прочее. Все острее встает вопрос поиска альтернативного сырья для производства этанола. В то же время существует проблема утилизации молочной сыворотки, лишь малая часть которой на данный момент перерабатывается и используется в дальнейшем. Обе эти проблемы можно решить при использовании молочной сыворотки в качестве сырья для производства этилового спирта. Целью данного исследования является изучение процесса кислотного гидролиза молочной сыворотки с возможностью дальнейшего получения из нее этилового спирта. В работе использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание. Основным методом исследования – определение содержания в гидролизате редуцирующих сахаров эбулиостатическим методом. Наибольшая концентрация редуцирующих сахаров наблюдалась после 30 минут гидролиза при исходной концентрации молочной сыворотки. При прочих разведениях максимальная концентрация сахаров отмечалась после 120 минут гидролиза. Наименьшее количество потерь и более полный гидролиз наблюдался при кратности разведения 2 и продолжительности гидролиза 120 минут. Но, так как для спиртового брожения нужна довольно высокая концентрация сахаров в субстрате, необходимо гидролизовать исходную концентрированную сыворотку. Для уменьшения потерь планируется попробовать проводить гидролиз в более мягких. Технологию получения этанола из молочной сыворотки могут применять предприятия, занимающиеся производством этилового спирта.

Ключевые слова: этанол, молочная сыворотка, кислотный гидролиз, ферментализ.

Введение. Этиловый спирт является ценным ресурсом технической и пищевой промышленности. Но для его производства используется пищевое сырье, активно задействованное в других отраслях пищевой промышленности, такое как сахарная свекла, сахар-сырец, зерновые культуры, а также картофель. Все эти продукты являются ценным пищевым и кормовым сырьем с высокой степенью производственной нагрузки на них [7].

При этом в России ежегодное образование молочной сыворотки, являющейся отходом молочного производства, превышает 5 млн тонн. Из них 55%, а это 2,75 млн тонн, сливается на поля и в сточные воды, нанося вред окружающей среде [2]. И лишь 20% молочной сыворотки подвергаются дальнейшей переработке.

Молочная сыворотка содержит в себе лактозу – углевод группы дисахаридов. Напрямую он не подвергается сбраживанию дрожжами сахаромицетами,

типовыми продуцентами этилового спирта [4]. Из лактозы путем гидролиза можно получить галактозу и глюкозу, которые являются моносахарами. Глюкоза и галактоза могут сбраживаться с получением этилового спирта. Таким образом, молочная сыворотка, отход молочного производства, может стать сырьем для промышленного получения этанола. Тем самым можно решить сразу две проблемы, а именно преизбыток производственной нагрузки на пищевые ресурсы, используемые сейчас в качестве сырья для получения этанола, а также снежение объема сливаемой молочной сыворотки.

Целью данного исследования является изучение процесса кислотного гидролиза молочной сыворотки с возможностью дальнейшего получения из нее этилового спирта.

Задачи:

- провести кислотный гидролиз молочной сыворотки при разной кратности разведения в течение разного времени;
- определить количество образуемых моносахаров и их общий выход;
- оценить возможность использования полученных гидролизатов для брожения.

Методы исследования. Объектом исследования является образец молочной сыворотки.

При работе с научно-технической информацией использовались такие методы, как анализ, обобщение, описание.

Содержание в гидролизате редуцирующих сахаров определяли эбулиостатическим методом Низовкина и Емельяновой [3]. Метод предназначен для определения редуцирующих сахаров в водных растворах. Он основан на реакции восстановления двухвалентной меди редуцирующими сахарами в щелочной среде при кипячении в присутствии желтой кровяной соли. Образующаяся закись меди, реагируя с желтой кровяной солью, дает хорошо растворимое комплексное соединение. Индикатором конца реакции служит метиленовая синяя, которая в окислительной среде имеет синюю окраску, а в восстановительной среде она бесцветна [3].

Установка для определения редуцирующих сахаров (рис. 1) состоит из прибора эбулиостата, электроплитки и бюретки на 10 мл с ценой деления 0,1 мл. Прибор эбулиостата имеет внешний сосуд (1) и внутренний сосуд (2). Во внешний сосуд, которым является коническая колба вместимостью 1 л, налита вода. Во время титрования он служит парообразователем. Внутренний сосуд, называемый эбулиостатом (рис. 2), является реакционным сосудом, в котором проводят титрование [3].

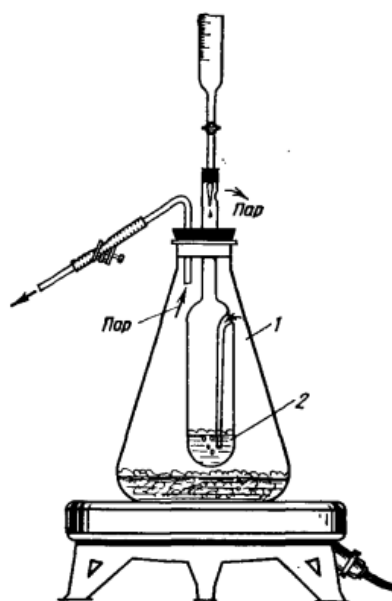


Рис. 1. Установка для определения редуцирующих сахаров эбулиостатическим методом (описание в тексте) [3]

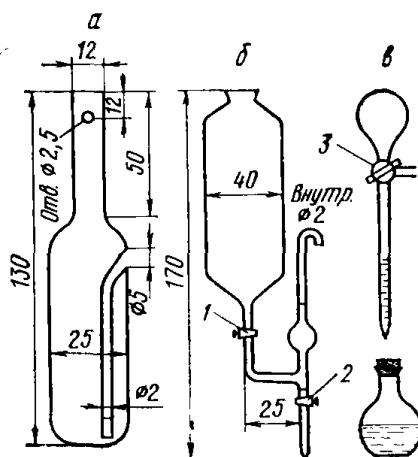


Рис. 2. Строение эбулиостата. а) эбулиостат; б) дозаторы [3]

Реактивы:

I раствор: 10 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и 0,04 г метиленовой сини растворяют в воде и объем раствора доводят до 1 дм³ (фелинг 1).

II раствор: 50 г сегнетовой соли растворяют в воде. Отдельно в воде растворяют 4 г жёлтой кровяной соли. Полученные растворы переносят в мерную колбу емкостью 1 дм³ и прибавляют 50%-ный раствор NaOH, содержащий 75 г NaOH (фелинг 2).

При проведении данных исследований использовали второй вариант титрования, так как молочная сыворотка при нагревании темнеет.

Из чистой глюкозы с известной влажностью готовят 0,1%-ный раствор, точное содержание глюкозы определяют титрованием растворами с известным титром. Полученным раствором заполняют бюретку. Суть анализа состоит в том, что сначала проводится реакция между растворами Фелинга 1 и 2 и определенным объемом анализируемого раствора, которые заливаются в эбуллиостат. А потом проходит дотитрование стандартным 0,1%-ным раствором глюкозы [3].

Концентрацию редуцирующих веществ в анализируемой пробе X, %, вычисляют в пересчете на глюкозу по формуле:

$$X = \frac{(T - C_{\text{глю}} \cdot V_{\text{глю}})}{V_{\text{а.ч.}}} \cdot n \cdot \frac{100}{1000} \quad (1)$$

где X – концентрация редуцирующих веществ (или редуцирующих веществ после инверсии) в анализируемом растворе, %;

T – титр медно-щелочного раствора по глюкозе, мг;

C_{глю} – концентрация глюкозы в растворе, которым проводилось дотитрование, мг/см³;

V_{глю} – объем раствора глюкозы, израсходованного на дотитрование, см³;

n – разбавление раствора для анализа;

V_{а.ч.} – объем аликвотной части (объем анализируемого раствора или его разведения, взятого для анализа), см³;

$\frac{100}{1000}$ – перевод в проценты.

Результаты исследований, их обсуждение. В табл. 1 представлены данные о составе молочной сыворотки [5]. Из таблицы видно, что в молочной сыворотке большую часть составляет лактоза.

Таблица 1

Состав молочной сыворотки по кормовой ценности

Компонент	Содержание в сыворотке	
	натуральной	сгущенной
Сухое вещество, %	48–52	40–60
Белок, г	9,1	44–65
Лактоза, г	47	310–400
Кормовые единицы	0,13	1,2

Как уже было сказано, для появления возможности дальнейшего сбраживания лактозы ее необходимо подвергнуть гидролизу. Для этой цели можно использовать минеральные или органические кислоты, а также ферменты. Наименее дорогостоящим является кислотный гидролиз, поэтому было решено исследовать сначала именно его.

Степень инверсии лактозы зависит от продолжительности нагревания, а также концентрации и вида кислоты (т.е. степени ее диссоциации). С увеличением продолжительности нагревания, концентрации кислоты и степени ее диссоциации степень инверсии возрастает [1]. Для проведения эксперимента нами была использована концентрированная соляная кислота.

Для эксперимента была использована молочная сыворотка в начальной концентрации 100%, 50% и 10%, т. е. с кратностью разведения 1, 2 и 10 соответственно. При высокой начальной концентрации сахаров потери в процессе гидролиза могут быть более существенными. При этом при низкой концентрации сахаров в готовом субстрате проводить процесс спиртового брожения будет экономически нецелесообразным. Поэтому и был выбран вариант исследовать разные варианты по концентрации сахаров, определять редуцирующие сахара каждые 30 минут в течение 120 минут гидролиза. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрация редуцирующих сахаров в гидролизате молочной сыворотки в пересчете на глюкозу, мг/мл

Кратность разведения молочной сыворотки	Продолжительность гидролиза, минут				
	0	30	60	90	120
1	54,1	90,2	79,6	82,0	85,9
2	27,1	42,2	41,8	43,7	48,4
10	5,4	5,7	7,1	7,4	8,1

Как видно из приведенной таблицы, наибольшая концентрация редуцирующих сахаров наблюдалась после 30 минут гидролиза при исходной концентрации молочной сыворотки (кратность разведения 1). При прочих разведениях максимальная концентрация сахаров была отмечена после 120 минут гидролиза. Наименьшее количество потерь и более полный гидролиз наблюдались при кратности разведения 2 и продолжительности гидролиза 120 минут (табл. 2). При этом для сбраживания в этанол нужно около 100–120 г/л (мг/мл) простых сахаров. Таким образом, лучше подвергать гидролизу исходную концентрированную сыворотку. Для уменьшения потерь можно попробовать проводить гидролиз в более мягких условиях: при температуре ниже 100 (на водяной бане) и/или за счет действия органических кислот. Планируется исследовать все указанные варианты.

Также нужно помнить, что реакция гидролиза эндотермическая, повышение температуры смещает равновесие в системе вправо, степень гидролиза возрастает [6].

Выводы. Был проведен кислотный гидролиз молочной сыворотки при кратности разведения 1, 2 и 10 в течение 120 минут, каждые 30 минут проводили анализ гидролизата. Наибольшая концентрация редуцирующих сахаров наблюдалась после 30 минут гидролиза при исходной концентрации молочной сыворотки (кратность разведения равна 1). При прочих разведениях максимальная концентрация сахаров отмечалась после 120 минут гидролиза. Наименьшее количество потерь и более полный гидролиз наблюдались при кратности разведения 2 и продолжительности гидролиза 120 минут. Но, так как для спиртового брожения нужна довольно высокая концентрация сахаров в субстрате, необходимо гидролизовать исходную концентрированную сыворотку. Для уменьшения потерь можно попробовать проводить гидролиз в более мягких условиях: при температуре ниже 100 (на водяной бане) и/или за счет действия органических кислот. Исследования планируется продолжить в этом направлении.

Библиографический список

1. Алексеев А. Л., Тариченко А. И. Физико-химические основы производства пищевых продуктов / Донской ГАУ. Персиановский, 2019. С. 257.
2. Евдокимов И. А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2006. № 2. С. 34–36.
3. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. С. 367.
4. Залашко М. В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. М. : Агропромиздат, 1990. С. 192.
5. Зипаев Д. В., Зимичев А. В. Молочная сыворотка – ценное сырье для вторичной переработки // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2007. № 2. С. 14.
6. Надеинский Б. П. Теоретические обоснования и расчеты в аналитической химии. М. : Советская наука, 1956. С. 109.
7. Яровенко В. Л., Устинников Б. А., Богданов Ю. П., Громов С. И. Справочник по производству спирта. Сырье технология и техноконтроль. М., 1981. С. 5–8.

Приготовление и исследование крема, обогащенного пробиотическими лактобактериями

Л. В. Устюжанинова^а, А. А. Надолинская^б

старший преподаватель кафедры микробиологии^а

студент группы Бб-2102-01-00^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^а, nolinskaa@gmail.com^б

Аннотация. Предлагается использовать пробиотические лактобактерии в составе косметических средств в двух направлениях: как натуральный консервант и как пробиотик для интимной гигиены. Целью данного исследования является изучение антимикробной защиты крема для рук, обогащенного пробиотическими лактобактериями в качестве натурального консерванта. Оценку антимикробной защиты крема оценивали согласно ГОСТ ISO 11930-2014. Микробиологическую чистоту крема определяли согласно МУК 4.2.801-99. При определении микробиологической чистоты образца крема № 1 было обнаружено небольшое превышение по дрожжам только в начальной пробе, после хранения образцы стали еще более микробиологически чистыми. Требуемый уровень антимикробной защиты не был достигнут, поэтому требуется доработка рецептур и/или технологии приготовления крема, обогащенного пробиотиками. Разрабатываемые рецептуры и технология приготовления косметических средств будут интересны компаниям, занимающимся производством парфюмерно-косметической продукции, так как это позволит им расширить ассортимент выпускаемой продукции вариантами с особо полезными свойствами и/или более натуральным составом, что, в свою очередь, соответствует последним тенденциям в сфере потребления косметической продукции и средств гигиены. Сами предлагаемые косметические средства будут интересны людям, стремящимся к осознанному потреблению, предпочитающим натуральный состав, желающим иметь средства ухода с профилактическими полезными свойствами.

Ключевые слова: пробиотики, пробиотические лактобактерии, косметические средства, рецептура, антимикробная защита.

Введение. Молочнокислые микроорганизмы используются при биологическом консервировании пищевых продуктов. А так как наблюдается тренд на «натуральную» косметику, свободную от веществ синтетического происхождения, в том числе искусственных консервантов, то актуально рассмотреть пробиотические лактобактерии, обладающие высокой антагонистической активностью, как консервирующие компоненты косметических средств. Также лактобактерии являются важной составляющей нормальной микрофлоры урогенитального тракта [2, 4]. Поэтому целесообразно обогащать средства интимной гигиены пробиотическими лактобактериями.

Поэтому пробиотические лактобактерии предлагается использовать в двух направлениях:

1. Как консервирующий агент для антимикробной защиты кремов для рук и тела (в дальнейшем возможно рассмотрение других видов косметической

продукции, в которых можно использовать пробиотики) [1]. Это позволит заменить химические консерванты на натуральный компонент, являющийся представителем нормальной микрофлоры человека [2].

2. Как пробиотик в составе средств для интимной гигиены, за счет чего данные средства могут оказывать профилактическое действие на мочеполовую систему женщин. Для лечения и профилактики «женских» заболеваний используются разные лекарственные средства с пробиотическими лактобактериями, но они не подходят для ежедневного использования [4]. Предлагается создать средства, способствующие поддержанию нормальной микрофлоры интимной области женщин, которые можно применять ежедневно, ведь лучше предотвращать заболевания, чем лечить их.

Целью данного исследования является изучение антимикробной защиты крема для рук, обогащенного пробиотическими лактобактериями в качестве натурального консерванта.

Задачи исследования:

1. Разработать общую схему составления рецептур и технологию производства кремов для рук и тела, обогащенных пробиотическими лактобактериями.

2. Приготовить образец крема для рук, обогатить его пробиотическими лактобактериями *Lactobacillus plantarum* 8p-A3.

3. Провести испытания, связанные с оценкой антимикробной защиты и микробиологической чистоты получившегося продукта.

4. Оценить эффективность консервирования крема согласно ГОСТ ISO 11930-2014 [3].

Методы исследования. Оценку антимикробной защиты крема оценивали согласно ГОСТ ISO 11930-2014 [3]. Микробиологическую чистоту крема определяли согласно МУК 4.2.801-99 [5].

Обоснование использования штамма лактобактерий *Lactobacillus plantarum* 8p-A3 в качестве пробиотического агента было проведено в предыдущей работе [6].

Результаты исследований, их обсуждение. На рис. 1 представлена общая схема составления рецептур кремов с натуральным составом.



Рис. 1. Общая схема составления рецептур кремов с натуральным составом

Образец крема № 1 имел следующий состав:

Водная фаза – травяной чай (отвар ромашки), 70%.

Жировая фаза – масло из абрикосовых косточек, 20%.

Эмульгатор – полисорбат 80 (твин-80), 9,7%.

Эмульгатор, загуститель – альгинат натрия, 0,3%.

Консервант – *Lactobacillus plantarum* 8p-A3, не менее 10^7 КОЕ/г.

Водную и жировую фазу готовили отдельно, нагревали до 75 °С. Жировую фазу (масло) нагревали на водяной бане, в нее же помещали эмульгатор (сначала твин-80, потом альгинат натрия), постоянно перемешивали. После растворения всех компонентов в однородную массу водную фазу медленно при перемешивании вливали в жировую фазу с эмульгатором, перемешивали миксером до кремообразного состояния (перемешивали долго и упорно, сначала на водяной бане, потом на воздухе). После охлаждения и ночи в холодильнике вносили концентрат пробиотической культуры и опять тщательно перемешивали. Микробиологическую чистоту крема сразу после приготовления определяли до внесения лактобактерий (табл. 1). Вся посуда и инструменты по возможности стерилизовались или обрабатывались дезинфицирующими средствами. Исходные ингредиенты анализу на микробиологическую чистоту не подвергались.

Крем после приготовления развешивали по стерильным упаковкам из стекла и пластика. Три упаковки по 20 г – на определение собственной анти-микробной защиты. Две упаковки по 20–30 г – на хранение, одна – при комнатной температуре, другая – в холодильнике. В процессе хранения также определяли микробиологическую чистоту крема (табл. 1).

При определении микробиологической чистоты образца крема № 1 было обнаружено небольшое превышение по дрожжам только в начальной пробе, после хранения образцы стали еще более микробиологически чистыми (табл. 1), возможно, за счет антагонизма лактобактерий или за счет особенностей состава. В следующий раз для сравнения нужно будет взять образец без консервантов вообще. Таким образом, при приготовлении косметических средств нужно еще более строго соблюдать правила асептики, чтобы получаемые крема соответствовали всем требованиям микробиологической чистоты.

Таблица 1

Результаты микробиологического исследования образца крема № 1

Группы показателей	Содержание микроорганизмов в 1 г продукции, КОЕ/г				
	КМАФАнМ	Дрожжи, дрожжеподобные и плесневые грибы	Бактерии семейства <i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Показатели сразу после получения крема	$(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^2$	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г
Показатели после 5 недель хранения крема при температуре $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$50 \pm 30^*$	Менее 5	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г
Показатели после 10 недель хранения крема в холодильнике при температуре $(6 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$50 \pm 30^*$	Менее 5	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г	Не обнаружены в 1 г
Микробиологические показатели безопасности парфюмерно-косметической продукции в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.681-97	Не более $1 \cdot 10^3$	Не более $1 \cdot 10^2$	Отсутствие в 1 г	Отсутствие в 1 г	Отсутствие в 1 г

Примечание: * количество колоний на чашке Петри менее 15.

Далее проводили оценку собственной антимикробной защиты крема согласно ГОСТ ISO 11930-2014 [3] от трех тест-культур: *E. coli*, *B. cereus*, *Aspergillus brasiliensis*. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Критерии оценки испытания на эффективность консервирования согласно ГОСТ ISO 11930-2014 представлены на рис. 2.

Таким образом, критерии оценки на эффективность консервирования крема № 1 выполнялись только в отношении тест-культуры *E. coli*. Защита от плесени *Aspergillus brasiliensis* не обеспечивалась совсем: наблюдался заметный рост плесени в емкости с опытным образцом (табл. 2). Поэтому необходимо доработать рецептуру и/или технологию приготовления крема, обогащенного пробиотиками, чтобы обеспечить нужный уровень антимикробной защиты.

Таблица 2

**Результаты
микробиологического исследования образца крема № 1**

Рассчитываемый параметр	Тест-культура	Время ферментации, сут.			
		0	7	14	28
Концентрация тест-культуры в образце, КОЕ/г	<i>E. coli</i>	$(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^6$	Менее 500	Менее 50	Менее 50
Логарифмический показатель снижения количества бактерий, R_x		–	Более 3,7	Более 4,7	Более 4,7
Концентрация тест-культуры в образце, КОЕ/г	<i>B. cereus</i>	$(7,1 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^4$	$(8,8 \pm 0,6) \cdot 10^3$	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^4$
Логарифмический показатель снижения количества бактерий, R_x		–	1,6	1,9	1,8
Концентрация тест-культуры в образце, КОЕ/г	<i>Aspergillus brasiliensis</i>	$(8,7 \pm 0,8) \cdot 10^3$	–	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^7$	$(4,9 \pm 0,4) \cdot 10^6$
Логарифмический показатель снижения количества бактерий, R_x		–	–	-3,1	-2,8

Таблица В.1 - Критерии оценки

Требуемые логарифмические показатели снижения ($R_x = \lg N_0 - \lg N_x$) ^a								
Микроорганизмы	Бактерии			<i>S. albicans</i>			<i>A. brasiliensis</i>	
Время отбора проб	T7	T14	T28	T7	T14	T28	T14	T28
Критерий А	≥ 3	≥ 3 и NI ^b	≥ 3 и NI	≥ 1	≥ 1 и NI	≥ 1 и NI	≥ 0 ^c	≥ 1 и NI
Критерий В	Не выполняется	≥ 3	≥ 3 и NI	Не выполняется	≥ 1	≥ 1 и NI	≥ 0	≥ 0 и NI

^a В данном испытании допускается отклонение логарифмического показателя до 0,5 (см. 5.7).

^b NI: без увеличения количества по сравнению с предыдущим замером.

^c $R_x = 0$, если $\lg N_0 = \lg N_x$ (нет увеличения исходного количества).

Рис. 2. Критерии оценки испытания на эффективность консервирования согласно ГОСТ ISO 11930-2014 [3]

Выводы. Составлена общая схема рецептур кремов для рук и тела, обогащенных пробиотическими лактобактериями в качестве консерванта. Был приготовлен образец крема для рук, обогащенный пробиотическими лактобактериями *Lactobacillus plantarum* 8p-A3. Для данного образца провели испытания, связанные с оценкой собственной антимикробной защиты и микробиологической чистоты получившегося продукта. При определении микробиологической чистоты образца крема № 1 было обнаружено небольшое превышение по дрожжам в начальной пробе, после хранения образцы стали еще более микробиологически чистыми и соответствовали всем микробиологическим требованиям. Таким образом, при приготовлении косметических средств нужно еще более строго соблюдать правила асептики, чтобы получаемые кремы изначально соответствовали всем требованиям микробиологической чистоты. Критерии оценки на эффективность консервирования крема № 1 выполнялись только в отношении тест-культуры *E. coli*. Защита от плесени *Aspergillus brasiliensis* не обеспечивалась совсем. Поэтому необходимо доработать рецептуру и/или технологию приготовления крема, обогащенного пробиотиками, чтобы обеспечить нужный уровень антимикробной защиты.

Библиографический список

1. Асташкина А. П. Современные взгляды на биологическую роль бифидо- и лактобактерий // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2010. № 1.
2. Беликов О. Е., Пучкова Т. В. Консерванты в косметике и средствах гигиены. М., 2003. 204 с.

3. ГОСТ ISO 11930-2014. Продукция косметическая. Микробиология. Оценка анти-микробной защиты косметической продукции: принят 25.06.2014; действ. с 01.01.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112684> (дата обращения: 07.02.2021).

4. Зюбр Т. П., Мурашкина И. А., Васильев И. Б. Препараты нормофлоры : учеб.-метод. пособие: 31.10.2008. Иркутск, 2008. 59 с.

5. МУК 4.2.801-99. Методы микробиологического контроля парфюмерно-косметической продукции: принят 27.12.1999; действ. с 27.12.1999. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029647> (дата обращения: 07.02.2021).

6. Устюжанинова Л. В., Земцова У. О., Вятер В. А. Лактобактерии как компонент косметических средств // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. Электрон. текстовые дан. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 86–92. URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2021-tom-2.pdf> (дата обращения: 07.02.2021).

Влияние условий транспортировки на содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий в продукции

Л. В. Устюжанинова^a, Е. А. Нелюбина^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a
студент группы Бб-4101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud106992@vyatsu.ru^b

Аннотация. Известно, что пробиотические свойства продуктов зависят от свойств, проявляемых конкретным штаммом микроорганизма, от его содержания в продукте и от условий хранения. Во время загрузки и выгрузки продукции бывает сложно четко соблюдать условия хранения продукции. Поэтому цель данной работы – моделирование условий транспортировки пробиотических продуктов, содержащих бифидобактерии и молочнокислые бактерии, и выявление зависимости их содержания от этих условий. Основным методом исследования является метод наиболее вероятного числа (НВЧ) для определения концентрации живых микроорганизмов. Испытания показали, что концентрация бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных продуктах изменялась незначительно, оставаясь в основном в следующих пределах: 10^8 – 10^9 КОЕ/г для бифидобактерий и 10^7 – 10^8 КОЕ/г для молочнокислых микроорганизмов, что соответствует информации, указанной на упаковках продуктов. Более низкие значения концентрации носили несистематический характер и, возможно, были связаны с флуктуацией концентраций и погрешностями метода. Таким образом, пребывание кисломолочных продуктов, обогащенных бифидобактериями, при комнатной температуре (+22...+26 °С) до четырех часов не оказало негативного влияния на сохранность микробных культур в продукте. Планируется проверить другие варианты отклонения условий транспортировки от требуемых. Результаты исследования могут быть интересны производителям и потребителям кисломолочных продуктов, в т. ч. обогащенных бифидобактериями.

Ключевые слова: бифидобактерии, молочнокислые микроорганизмы, кисломолочные продукты, функциональное питание, пробиотики.

Введение. На сегодняшний день на рынке существует значительное количество продуктов питания и препаратов, которые направлены как на профилактику, так и на коррекцию нарушений микрофлоры. Действующим началом таких продуктов и препаратов являются живые микроорганизмы. Как правило, это представители нормальной микрофлоры человека: бифидобактерии и лактобактерии. Их относят к пробиотикам – микроорганизмам, использующимся в терапевтических целях, а также пищевых продуктах и биологически активных добавках, содержащих живые микрокультуры [5].

Известно, что пробиотические свойства продуктов зависят от свойств, проявляемых конкретным штаммом микроорганизмов, от его содержания в продукте и в большей степени от условий хранения, поэтому необходимо обратить внимание на условия, которые могут повлиять на содержание пробиотиков в пищевых продуктах [6].

Цель данной работы – моделирование условий транспортировки пробиотических продуктов, содержащих бифидобактерии и молочнокислые бактерии, и выявление зависимости их содержания от этих условий.

Согласно цели, были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить свойства основных пробиотических микроорганизмов;
- 2) подобрать подходящие метод и среды для эксперимента;
- 3) смоделировать различные условия транспортировки и провести несколько серий высевок;
- 4) на основании полученных результатов оценить, как влияют условия транспортировки на концентрацию пробиотиков в кисломолочных продуктах.

Исследуемыми объектами являются бифидобактерии и молочнокислые бактерии, содержащиеся в функциональных кисломолочных продуктах. Бифидобактерии – это важнейший представитель микрофлоры человека как в количественном отношении – их удельный вес в составе микробиоценозов составляет от 85 до 98%, так и в качественном, с учетом их роли в поддержании гомеостаза организма человека [2]. Бифидобактерии (лат. *Bifidobacterium*) относятся к роду грамположительных облигатных анаэробных бактерий, не образуют спор, имеют форму немного изогнутых палочек длиной 2–5 мкм, концы клеток бифидобактерий часто раздвоенные Y- или V-образной формы, булавовидные, расположены одиночно, цепочками или скоплениями в виде «китайских иероглифов», неустойчивы в кислой среде, температурные пределы культивирования 34–41 °С, оптимальная температура 36–38 °С; анаэробы, но при высоких концентрациях CO₂ толерантны к кислороду; хемоорганотрофы; метаболизм сахаролитический; газа не образуют; глюкозу сбраживают преимущественно до уксусной и молочной кислот; каталазаотрицательные, но могут вырабатывать каталазу, если растут в аэробных условиях [1].

Молочнокислые бактерии, как правило, неподвижны, не образуют спор, грамположительные, не восстанавливают нитраты в нитриты, не образуют пигментов, обладают небольшой протеолитической активностью; цитохромы и каталазу не образуют; некоторые продуцируют пероксидазу. Аэротолерантные и

кислототолерантные, требовательны к источникам питания. По форме клеток молочнокислые бактерии бывают кокковые и палочковидные. Диаметр кокковых форм от 0,5–0,6 до 1 мкм; они располагаются единично, парами или в виде цепочек различной длины [7].

Методы исследования. Основным методом исследования является метод наиболее вероятного числа (НВЧ) для определения концентрации живых микроорганизмов. Из навески продукта готовят исходное и ряд десятикратных разведений до такой степени, чтобы можно было определить предполагаемое НВЧ микроорганизмов [3]. Из питательных сред использовали бифидум-среду для определения бифидобактерий и бульон MRS для определения молочнокислых микроорганизмов.

В качестве объектов исследования были взяты кисломолочные продукты:

1. Биоваренец без сахара 2,5%, производитель ООО МНПК «Вяткабиопром» «Целебная радуга», масса 150 г, массовая доля жира 2,5%, срок годности 14 суток. В норме содержание молочнокислых организмов не менее 1×10^7 КОЕ/г. В норме содержание бифидобактерий не менее 1×10^8 КОЕ/г.

2. Биойогурт «Активиа» со злаками 2,2%, производитель АО «Данон Россия», масса 260 г, массовая доля жира 2,2%, срок годности 35 суток. В норме содержание молочнокислых организмов не менее 1×10^7 КОЕ/г. В норме содержание бифидобактерий не менее $3,4 \times 10^7$ КОЕ/г.

Для начала каждую потребительскую упаковку с кисломолочным продуктом подписали: 0 часов, 2 часа, 4 часа. Упаковки, подписанные «2 часа» и «4 часа», держали вне холодильника при комнатной температуре соответствующее количество времени. Перед вскрытием поверхность потребительской упаковки с продуктом обмыли для удаления грязи, протерли 70%-м раствором этилового спирта. После вскрытия продукт тщательно перемешали, пипеткой отобрали 0,5 г продукта и поместили в первую стерильную пробирку, добавили 4,5 мл физраствора и перемешали. В семь пробирок разлили физраствор по 4,5 мл, затем из 1-й пробирки во 2-ю пробирку пипеткой перенесли 0,5 мл суспензии и перемешали (10^{-2}), из 2-й пробирки в 3-ю пробирку (10^{-3}), из 3-й пробирки в

4-ю пробирку (10^{-4}) и так далее. Для приготовления каждого разведения брали новую стерильную пипетку. Все манипуляции проводили согласно рекомендациям [3, 4]. Таким образом, получили следующие разведения: 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , которые в дальнейшем использовали для высевов методом НВЧ. Для каждого высеваемого разведения подготовили по три пробирки со средой MRS (в каждую вносили по 1 мл разведенного продукта) и по три пробирки с бифидум-средой (вносили по 0,1 мл на дно пробирки). Для каждой среды сделали контроль физраствора и контроль питательной среды. Посевы культивировали при $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, через 3–5 суток смотрели результаты. Учет результатов производили по ГОСТ ISO 7218-2015 [4].

Результаты и их обсуждение. Кисломолочные продукты, в том числе и обогащенные бифидобактериями, рекомендуется хранить в холодильнике при температуре от $+2$ до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Во время транспортировки, в частности во время загрузки и выгрузки продукции, температура может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону. Поэтому было решено изучить, как отклонения от рекомендуемого температурного режима хранения продукции повлияют на сохранность бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов. В начале исследования в качестве отклонения была выбрана комнатная температура: $+22\dots+26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Продукт оставляли при данной температуре на 2 или 4 часа, отбирали пробу на анализ, а потом убирали обратно в холодильник на хранение. Через определенные интервалы времени отбирали пробы на анализ во время хранения. При анализе определяли концентрацию живых клеток бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов методом НВЧ. Полученные результаты по каждой серии высевов представлены в табл. 1–4.

По представленным результатам видно, что концентрация бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных продуктах изменяется незначительно, даже когда срок хранения был больше срока годности. Для «Биоваренца» это 14 суток, для «Активиа» – 35 суток. Именно общими сроками годности продукции, выбранной в качестве модели исследования, обусловлены сроки испытаний.

Концентрация колебалась в основном в следующих пределах: 10^8 – 10^9 КОЕ/г для бифидобактерий (минимальное значение – $3,6 \times 10^7$ КОЕ/г) и 10^7 – 10^8 КОЕ/г (минимальное значение – $9,2 \times 10^6$ КОЕ/г) для молочнокислых микроорганизмов, что соответствует информации, указанной на упаковках продуктов. Более низкие значения концентрации носили несистематический (случайный) характер и, возможно, были связаны с флуктуацией концентраций и/или погрешностями метода. С учетом верхнего доверительного предела для указанных минимальных полученных концентраций значений, достоверно ниже указанных на упаковках концентраций живых микроорганизмов, не получается. В итоге высокие концентрации бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов остаются на протяжении периода, превышающего рекомендованные производителем сроки годности. Например, для «Биоваренца» это 14 суток, но высокие концентрации живых бактерий наблюдались и после 4,5 недели хранения продукции.

Пребывание кисломолочных продуктов, обогащенных бифидобактериями, при комнатной температуре (+22...+26 °С) до 4 часов не оказало негативного влияния на сохранность микробных культур в продукте. Но это способствовало более сильному отстаиванию и отделению сыворотки от сгустка, что может нарушать органолептические характеристики продукта, особенно с ненарушенным сгустком, как у «Биоваренца».

Таблица 1

**Содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий
в начале эксперимента (первая серия высево)**

Проба (продукт, время выдержки при комнатной температуре)	Концентрация бифидобактерий, КОЕ/г	Концентрация молочнокислых бактерий, КОЕ/г
Активиа, 0 ч	$9,3 \times 10^8$	$9,2 \times 10^6$
Активиа, 4 ч	$3,6 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$
Биоваренец, 0 ч	$7,5 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$
Биоваренец, 2 ч	$2,3 \times 10^8$	$3,6 \times 10^7$
Биоваренец, 4 ч	$9,3 \times 10^8$	$2,3 \times 10^7$

Таблица 2

**Содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий через неделю
(вторая серия высево)**

Проба (продукт, время выдержки при комнатной температуре)	Концентрация бифидобактерий, КОЕ/г	Концентрация молочнокислых бактерий, КОЕ/г
Активиа, 0 ч	Более 1×10^9	Более 1×10^8
Активиа, 4 ч	$2,4 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$
Биоваренец, 0 ч	$1,1 \times 10^9$	$2,2 \times 10^7$
Биоваренец, 2 ч	$1,1 \times 10^9$	$1,1 \times 10^8$
Биоваренец, 4 ч	$4,6 \times 10^8$	$1,1 \times 10^8$

Таблица 3

**Содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий через две недели
(третья серия высево)**

Проба (продукт, время выдержки при комнатной температуре)	Концентрация бифидобактерий, КОЕ/г	Концентрация молочнокислых бактерий, КОЕ/г
Активиа, 0 ч	$4,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^8$
Активиа, 4 ч	$9,3 \times 10^7$	$1,1 \times 10^8$
Биоваренец, 0 ч	$2,4 \times 10^8$	Более 1×10^8
Биоваренец, 2 ч	$1,1 \times 10^9$	Более 1×10^8
Биоваренец, 4 ч	$1,1 \times 10^9$	$4,6 \times 10^7$

Таблица 4

**Содержание бифидобактерий и молочнокислых бактерий через 4,5 недели
(четвертая серия высево)**

Проба (продукт, время выдержки при комнатной температуре)	Концентрация бифидобактерий, КОЕ/г	Концентрация молочнокислых бактерий, КОЕ/г
Активиа, 0 ч	$9,3 \times 10^8$	$9,3 \times 10^7$
Активиа, 4 ч	$4,6 \times 10^8$	Более 1×10^8
Биоваренец, 0 ч	$1,1 \times 10^9$	Более 1×10^8
Биоваренец, 2 ч	$1,1 \times 10^9$	$1,1 \times 10^8$
Биоваренец, 4 ч	$4,6 \times 10^8$	Более 1×10^8

Выводы. Таким образом, по всему вышеизложенному можно сделать следующие выводы:

- 1) Были изучены морфология и свойства бифидобактерий и молочнокислых бактерий.
- 2) На основании свойств исследуемых объектов и кисломолочных продуктов были подобраны подходящие среды и методы исследования.
- 3) Провели несколько серий высево продуктов, выдержанных при комнатной температуре 0, 2 и 4 часа. Планируется продолжение эксперимента при

экспозиции продуктов при минусовой и при повышенной температуре (+30...+35°C).

4) Испытания показали, что концентрация бифидобактерий и молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных продуктах изменялась незначительно, оставаясь в основном в следующих пределах: 10^8 – 10^9 КОЕ/г для бифидобактерий и 10^7 – 10^8 КОЕ/г для молочнокислых микроорганизмов, что соответствует информации, указанной на упаковках продуктов. Более низкие значения концентрации носили несистематический характер и, возможно, были связаны с флуктуацией концентраций и погрешностями метода.

Таким образом, пребывание кисломолочных продуктов, обогащенных бифидобактериями, при комнатной температуре (+22...+26 °C) до 4 часов не оказало негативного влияния на сохранность микробных культур в продукте. Планируется проверить другие варианты отклонения условий транспортировки от требуемых. Результаты исследования могут быть интересны производителям и потребителям кисломолочных продуктов, в т. ч. обогащенных бифидобактериями.

Библиографический список

1. Бактерии в ЖКТ: нормальная микрофлора и возбудители болезней. URL: <https://www.gastroscan.ru/handbook/118/1822> (дата обращения: 26.09.2021).
2. Бондаренко В. М., Учайкин В. Ф., Мурашова А. О. и др. Дисбактериоз: современные возможности профилактики и лечения. М. 1994. С. 1–4.
3. ГОСТ 26670-91. Продукты пищевые: методы культивирования микроорганизмов: принят 01.01.1993. М., 1993. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021109#7D20K3> (дата обращения: 08.02.2022).
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: 08.02.2022).
5. Пробиотики. Сухие или жидкие? URL: <https://biovesta.ru/blog/probiotiki-suhie-ili-zhidkie> (дата обращения: 26.09.2021).
6. Тариченко А. И., Емельянов А. М. Технология пробиотиков и продуктов на их основе : учеб. пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. С. 7–28.
7. Щетко В. А., Фещенко В. Ю. Выделение молочнокислых бактерий, перспективных для пищевой промышленности, с целью последующей их идентификации // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2015. № 2. С. 42–43.

**Влияние условий хранения
микробиологического препарата
для деструкции пожнивных остатков на сохранность
клеток продуцентов**

Л. В. Устюжанинова^a, А. Д. Рычкова^b, Ю. А. Фоминых^c

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бм-2101-01-00^b

студент группы Бм-1101-01-00^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud123665@vyatsu.ru^b, stud142464@vyatsu.ru^c

Аннотация. При производстве микробиологических препаратов для улучшения плодородия почвы важно правильно подобрать формы используемого препарата и оптимальные сроки его хранения с целью сохранения жизнеспособности используемых штаммов микроорганизмов. Целью данной работы являлось изучение динамики биологической активности различных форм биопрепарата на основе живых клеток и спор бактерии рода *Bacillus* при их длительном хранении. Определение биологической концентрации бацилл в биопрепаратах проводили каждый месяц чашечным методом Коха. В препарате, полученном после ферментации на среде с мелассой, бациллы сохраняются лучше, концентрация за четыре месяца хранения при комнатной температуре снизилась незначительно. В жидких и концентрированных препаратах, полученных после культивирования на питательной среде № 2, значительное снижение количества живых клеток во всех случаях происходило в первый месяц хранения и в холодильнике, и при комнатной температуре. При дальнейшем хранении концентрация либо почти не изменялась, либо потихоньку продолжала снижаться. Поэтому для получения жидкой формы препарата рекомендуется использовать среду на основе мелассы. Необходимо исследовать возможность получения концентрированных и сухих форм препарата после ферментации бацилл на среде с мелассой. Исследование продолжается. Полученные результаты могут быть интересны представителям АПК.

Ключевые слова: условия хранения, сохранность биопрепарата, концентрация живых клеток, формы препарата.

Введение. Для защиты сельскохозяйственных культур растений от болезней и вредителей и улучшения качества продукции сейчас применяют микробиологические препараты в качестве удобрений. В настоящее время большое внимание уделяется разработке и применению биопрепаратов многонаправленного действия. Основным компонентом данных препаратов является штамм или ассоциация штаммов продуцентов, действие которых направлено на восстановление плодородия и борьбу с болезнетворными организмами [5].

При производстве микробиологических препаратов для улучшения плодородия почвы важно правильно подобрать формы используемого препарата и оптимальные сроки его хранения с целью сохранения максимальной жизнеспособности используемых штаммов продуцентов [5].

В последнее время в качестве основного компонента микробиологических удобрений, которые будут активно улучшать плодородие почв, рассматриваются бактерии рода *Bacillus*. Обосновать выбор бацилл можно по нескольким направлениям [5]:

1. Безопасность для человека, животных и насекомых (за исключением некоторых патогенов группы *B. cereus* и *B. anthracis*).

2. Способность к выработке антимикробных веществ и токсинов, что говорит о способности бацилл подавлять рост фитопатогенных организмов.

3. Способность к спорообразованию, из-за чего выбранные микроорганизмы смогут дольше переносить неблагоприятные условия, обеспечивая более длительное действие препарата.

Также данные микроорганизмы способны вырабатывать активные ферменты и ускорять разложение пожнивных остатков, что способствует увеличению плодородия почвы.

Следует отметить, что в России биопрепараты и биоудобрения формально (по административному признаку) относятся к пестицидам и агрохимикатам. В нормативно-правовой базе отдельной классификации для подобных препаратов нет. Согласно Федеральному закону от 19 июля 1997 г. № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» все биопрепараты и биоудобрения, которые находятся в обороте, в обязательном порядке должны быть зарегистрированы в «Государственном каталоге агрохимикатов и пестицидов, разрешенных к применению на территории РФ». Государственная регистрация – это гарант качества биопрепаратов и биоудобрений, так как для ее получения препараты проходят целую серию различных проверок и испытаний [3].

За счет того что микробиологические препараты обычно содержат высокие концентрации биологических агентов (в свободном или сорбированном состоянии), внесенные таким образом микроорганизмы могут успешно конкурировать с аборигенной микрофлорой и захватывать экологические ниши, предоставляемые им растением [4, 7].

На современном рынке представлен ряд препаративных форм: сухая (в основном для препаратов на основе спорообразующих бактерий рода *Bacillus*), паста или сгущенная биомасса клеток, гели, жидкие формы, закрепленные на носителях и другие. Наибольшее распространение получила жидкая форма препаратов, представляющая собой культуральную жидкость с клетками штамма установленного титра, в том числе без стабилизаторов и консервантов. Такая форма, несмотря на ряд недостатков (небольшой срок хранения, неудобство транспортировки, нестабильность свойств и т. д.), имеет меньшую себестоимость, потому что требует меньше затрат труда, энергии и денежных вложений в целом, в том числе на оборудование [5].

Жидкие концентраты в технологическом плане имеют преимущества, так как могут применяться одновременно с гербицидами и фунгицидами, что экономит горючее, сокращает время агротехнических мероприятий без потери эффекта повышения урожайности [6].

Существует две основные формы выпуска биопрепаратов с высоким титром живых клеток: суспензионный концентрат (СК) и сухая форма (порошок) (П). В зависимости от формы выпуска к биопрепаратам предъявляются различные требования к хранению, транспортировке и применению. Перед использованием биопрепаратов в форме суспензионного концентрата необходимо перемешать содержимое ёмкости (канистры, бочки, флакона и пр.) для обеспечения однородности суспензии и исключения потерь микробной массы в виде осадка, образовавшегося при хранении. Растворение сухой формы биопрепаратов в воде производится непосредственно перед применением для исключения возможных негативных реакций. Для внесения жидкой формы биопрепаратов на поля можно использовать опрыскиватели-подкормщики ОПШ-15, предназначенные для внесения жидкой формы минеральных удобрений [2].

Для растворения и разведения биопрепаратов лучше использовать теплую (+17–25 °С) и мягкую воду с нейтральным значением рН, дехлорированную или артезианскую, чтобы уменьшить возможные негативные влияния физических и химических факторов [2].

Целью данной работы являлось изучение динамики биологической активности различных форм биопрепарата на основе живых клеток и спор бактерии рода *Bacillus* при их длительном хранении.

Задачи:

- получить разные формы биопрепарата (жидкую, концентрированную и сухую);
- поставить полученные образцы на хранение при разных условиях;
- во время хранения периодически определять содержание живых клеток продуцентов.

Методы исследования. В экспериментах использовались бактериальные культуры рода *Bacillus*: *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3. Для культивирования использовалась питательная среда № 2 и питательная среда с мелассой (составы приведены ниже). Культивирование осуществлялось в конических колбах разного объема в шейкер-инкубаторе при температуре 28–30 °С при 130–150 об/мин. Эксперимент был проведен в нескольких вариантах. После достижения фазы замедления роста (через одни сутки) часть бактериальной культуры разливалась в стерильные флаконы на 30 мл из темного стекла. Также с помощью центрифугирования готовили микробный концентрат смеси суточных культур трех исследуемых микроорганизмов, выращенных на ПС № 2. Половина проб хранилась в термостате при +25 °С, другая часть – в холодильнике при +5°С. Каждая культура (БАЦ-1, БАЦ-2, БАЦ-3) хранилась как по отдельности, так и в смеси друг с другом (в жидком виде). Концентрат – только в виде смеси всех трех культур.

Жидкая среда на основе мелассы имела следующий состав, г/дм³:

- меласса – 15,0 см³;
- кукурузный экстракт – 2,0 см³;
- K₂HPO₄·3H₂O – 0,2;
- KH₂PO₄ – 0,2;
- MgSO₄·7H₂O – 0,3;
- NaCl – 0,3;
- CaCO₃ – 3,0.

Полусинтетическая жидкая среда для культивирования бацилл с дрожжевым автолизатом (питательная среда № 2) имела состав, г/дм³:

- пептон сухой – 0,5;
- глюкоза – 10,0;
- дрожжевой автолизат с содержанием аминного азота 150 мг% – 5,0 см³;
- марганец хлористый 4-водный или марганец сернокислый – 0,01;
- железо (III) сернокислое 7-водное – 0,01;
- магний сернокислый 7-водный или магния хлорид 6-водный – 0,1;
- кальция хлорид – 0,08.

В данном эксперименте готовили питательную среду № 2 с добавлением 5,0 г калия дигидрофосфата и 11,0 г дикалия гидрофосфата на 1 литр питательной среды для буферизации среды в районе рН = 7,0.

Определение биологической концентрации бацилл в биопрепаратах проводили каждый месяц чашечным методом Коха [1] на питательной среде ГРМ-агар производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск.

Результаты исследований, их обсуждение. Одним из основных показателей качества биопрепарата является биологическая эффективность, которая характеризуется высоким титром активных клеток при его длительном хранении. В лабораторных условиях в жидких формах препарата проведена оценка изменения концентрации жизнеспособных клеток культур БАЦ-1, БАЦ-2, БАЦ-3 по отдельности и в смеси на протяжении четырех месяцев, результаты представлены в табл.1. Хранение препаратов в холодильнике экономически нецелесообразно, в исследовании было взято для сравнения.

По полученным данным видно, что в препарате, полученном после ферментации на среде с мелассой, бациллы сохраняются лучше, концентрация за четыре месяца хранения при комнатной температуре снизилась незначительно, оставаясь на уровне 10^8 КОЕ/мл. При получении препарата на ПС № 2 начальная концентрация была выше, чем на мелассе, но уже после месяца хранения даже в холодильнике заметно упала (в среднем с 10^9 до 10^6 – 10^7 КОЕ/мл) и стала ниже, чем на среде с мелассой. Хранение при +5 °С практически не повлияло на

увеличение сохранности бацилл в препаратах. Поэтому для получения жидкой формы препарата рекомендуется использовать среду на основе мелассы. Рекомендуемый температурный режим хранения – при температуре не выше +25 °С. Исследование продолжается.

Таблица 1

Изменение концентрации живых бацилл в жидких формах препарата для деструкции пожнивных остатков

Питательная среда, на которой велась ферментация	Температура хранения, °С	Культура	Время хранения, мес.				
			0	1	2	3	4
ПС № 2 с фосфатами	+25	БАЦ-1	$(6,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^6$
		БАЦ-2	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^7$	$(3,6 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(2,5 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^6$
		БАЦ-3	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^7$	$(5,2 \pm 0,4) \cdot 10^7$	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^7$	$(4,8 \pm 0,4) \cdot 10^6$
		Смесь	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^7$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(5,5 \pm 0,4) \cdot 10^5$
	+5	БАЦ-1	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(6,3 \pm 0,5) \cdot 10^6$	$(2,9 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(2,0 \pm 0,1) \cdot 10^6$
		БАЦ-2	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(4,2 \pm 0,4) \cdot 10^6$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(2,5 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(0,9 \pm 0,1) \cdot 10^6$
		БАЦ-3	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(8,2 \pm 0,6) \cdot 10^4$	$(7,5 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(7,7 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^5$
		Смесь	$(9,3 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(9,6 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^6$
Среда с мелассой	+25	БАЦ-1	$(4,7 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^8$
		БАЦ-2	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,8 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$
		БАЦ-3	$(4,5 \pm 0,4) \cdot 10^7$	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(3,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,6 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^8$
		Смесь	$(2,3 \pm 0,2) \cdot 10^8$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^8$

При оценке сохранности бацилл в концентратах выявили, что независимо от температуры хранения концентрация живых бацилл значительно снизилась в первый месяц хранения (с 10^{10} до 10^8 КОЕ/г), а потом почти не изменялась (табл. 2). Для сравнения необходимо исследовать возможность получения концентрированных форм препарата после ферментации бацилл на среде с мелассой. Тогда можно будет сделать вывод о том, какую среду лучше использовать для получения данной формы продукта. Также планируется получить и исследовать хранение сухих форм данного биопрепарата.

**Изменение концентрации живых бактерий
в концентрированных формах препарата (только смесь
из трех культур бактерий) для деструкции пожнивных остатков**

Питательная среда, на которой велась ферментация	Температура хранения, °С	Время хранения, мес.			
		0	1	2	3
Питательная среда № 2 с фосфатами	+25	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,0 \pm 0,1) \cdot 10^8$
	+5	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^{10}$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^8$

Выводы. В жидком препарате, полученном после ферментации на среде с мелассой, бактерии сохраняются лучше, концентрация за четыре месяца хранения при комнатной температуре снизилась незначительно, оставаясь на уровне 10^8 КОЕ/мл. Поэтому для получения жидкой формы препарата рекомендуется использовать среду на основе мелассы. В препаратах, полученных после ферментации на среде № 2, концентрация живых бактерий заметно снизилась за первый месяц хранения, в том числе в холодильнике: у жидких форм она упала в среднем с 10^9 до 10^6 – 10^7 КОЕ/мл, у концентратов – с 10^{10} до 10^8 КОЕ/г. Таким образом, хранение при +5 °С практически не повлияло на увеличение сохранности бактерий в препаратах. Поэтому экономически более выгодно во всех отношениях хранить препараты при комнатной температуре. Необходимо исследовать возможность получения концентрированных и сухих форм препарата после ферментации бактерий на среде с мелассой. Исследование продолжается.

Библиографический список

- ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: принят 18.06.2015; действ. с 01.07.2016. М. : Стандартинформ, 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124386> (дата обращения: 05.02.2022).
- Рекомендации по применению биологических препаратов ООО «НПИ «Биопрепараты» в растениеводстве, кормопроизводстве и животноводстве / Р. П. Ибатуллина, Ф. К. Алимова, А. П. Кожемяков, И. Ю. Крошечкина, Ф. М. Менликиев. Казань : Центр инновационных технологий, 2017. 136 с.
- Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов по состоянию на 28 января 2022 г. Электронный ресурс. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (дата обращения: 31.01.2022).
- Муродова С. С., Давранов К. Д. Комплексные микробные препараты. Применение в сельскохозяйственной практике // *Biotechnologia acta*. 2014. Vol. 7. № 6. С. 92–101.

5. Саламатова Ю. А., Минаева О. М., Акимова Е. Е. Эффективность хранения ряда бактериальных препаратов в жидкой форме // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 1 (9).

6. Соколова М. Г., Акимова Г. П., Вайшла О. Б., Верхотуров В. В. Биобезопасная бактериальная технология для улучшения качества растительного сырья // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 2(3). С. 100–104.

7. Степин А. Д., Астратова Т. Г., Митюков А. С. Влияние микробиологических препаратов комплексного действия на продуктивность и устойчивость к фитопатогенам льна-долгунца // Агрофизика. 2017. № 1. С. 44–51.

Выделение и исследование продуцентов биополимеров

Л. В. Устюжанинова^a, А. М. Серебряков^b, Е. И. Марьина^c

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бб-2102-01-00^{b, c}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud127330@vyatsu.ru^b stud125969@vytsu.ru^c

Аннотация. Изучение продуцентов биополимеров, их жизнедеятельности стало более актуальным из-за роста интереса людей к созданию экологически чистых материалов. К синтезу биополимеров способны разные бактерии, в том числе бактерии рода *Azotobacter*. Целью данной исследовательской работы стало изучение различных образцов почвы для выделения из них бактерий – продуцентов биополимеров. В работе использовались следующие методы: определение механического состава почвы, качественная реакция на карбонаты, тест-полоски для определения нитратов, определение кислотности с помощью рН-метра, посев почвенных комочков и наблюдение за ростом колоний; различные методы окрашивания: по Граму, тушью и фуксином, суданом черным; микроскопирование, качественная реакция на альгинаты с хлоридом кальция. Во всех образцах были обнаружены бактерии рода *Azotobacter*, процент обрастания комочков составил от 86 до 100%. Все почвы имеют слабощелочную реакцию, карбонаты в них не обнаружены; содержание нитратов и механический состав отличаются. У изолятов В1 и К1 при окраске суданом черным отмечена способность к накоплению полимерных соединений. Все шесть выбранных изолятов (В1, В2, К1, А2, Д4 и Н4) дали положительную качественную реакцию на альгинаты. Исследования указанных изолятов продолжаются. Полученные результаты могут быть интересны и полезны исследователям, занимающимся проблемой биоразлагаемого пластика или интересующимся бактериями рода *Azotobacter*.

Ключевые слова: род *Azotobacter*, продуценты биополимеров, почва, альгинаты.

Введение. Азотфиксация – это процесс восстановления молекулярного азота (N_2) до аммиака ферментным комплексом нитрогеназа в клетках азотфиксирующих бактерий. Растворимые соединения азота доступны для усваивания растениями, а почва, насыщенная такими соединениями, считается более плодородной. Азотфиксацию способны осуществлять прокариоты, тогда как у эукариот отсутствуют гены, ответственные за данный процесс [4].

Род *Azotobacter* – это род свободноживущих грамотрицательных бактерий, обитающих в почве. Представители рода *Azotobacter* интересны не только тем, что способны фиксировать азот, многие из них также являются продуцентами биополимеров, которые могут стать основой биопластика [1]. Именно эта их особенность и стала основой данного проекта. Интерес к биоразлагаемым материалам существует не первый год. Но из-за неуклонно растущих мусорных свалок, загрязнения пластиком суши, морей и океанов актуальность данного направления также растет с каждым годом [1, 2].

Целью данной исследовательской работы стало изучение различных образцов почвы для выделения из них бактерий – продуцентов биополимеров.

Чтобы достичь цели, были поставлены следующие задачи:

- собрать различные образцы почв для их дальнейшего исследования,
- провести посев и наблюдение за колониями бактерий-азотфиксаторов,
- изучить механический и химический состав почв,
- провести различные эксперименты по выявлению способности синтезировать биополимеры с шестью wybranными изолятами бактерий.

Методы исследования. Для проведения исследовательской работы были отобраны образцы почвы из различных районов Кировской области, а также Архангельской и Костромской областей (табл. 1):

- В1, В2 – поселок Вичевщина, Куменский район, Кировская область.
- К1, К2 – город Котельнич, Котельничский район, Кировская область.
- А1, А2 – пгт Тужа, Тужинский район, Кировская область.
- Д4 – город Галич, Галичский район, Костромская область.
- Н4 и НЛ – город Коряжма, Архангельская область.

Таблица 1

Характеристика мест забора образцов для исследования

Образец	Дата забора образца	Место забора (назначение)	Координаты	Глубина забора	Детали описания участка
В1, В2	24.10.2021	Агроценоз	58.194498°, 50.084774°	15 см	Был посажен лук. Гряда удобрялась древесной золой и навозом, а также удобрением для роста и развития
К1, К2	25.10.2021	Агроценоз	58.317812°, 48.330769°	5 см	Была посажена капуста. Гряда удобрялась древесной золой и навозом. За два месяца до сбора земли на гряде был рассыпан чернозём
А1, А2	06.10.2021	Агроценоз	57.616244°, 47.93099°	8 см	На месте забора земли находилась компостная куча
Д4	29.10.2021	Агроценоз	58.370892°, 42.395903°	15–20 см	Был посажен лук. Гряда удобрялась древесной золой и навозом
Н4	23.10.2021	Агроценоз	61.336440°, 47.279937°	10 см	Была посажена картошка. Гряда удобрялась навозом
НЛ	23.10.2021	Лес (елово-осиновый)	61.336141°, 47.279486°	15 см	Расположен рядом с дачным участком. Растут осины и ели

После сбора образцов был проведен ряд исследований с помощью следующих методов [1, 3]:

- механический состав почв определяли по описанию «поведения» увлажненной почвы при попытке скатать из нее шарик и растянуть его в жгут;
- наличие карбонатов – по наличию реакции с соляной кислотой (выделение пузырьков газа);
- нитраты определяли с помощью специальных тест-полосок;
- кислотность почв определяли с помощью рН-метра в почвенной вытяжке;
- выделение азотфиксирующих микроорганизмов проводили на среде Эшби методом почвенных комочков, которые раскладывали по трафарету; потом считали процент обрастания комочков почвы;
- наличие биополимеров в клетках бактерий выясняли по окраске суданом черным;
- принадлежность к роду *Azotobacter* предварительно оценивали по морфологии колоний и морфологии клеток после окраски по Граму и окраски тушью с фуксином;
- после ферментации самых активных изолятов на жидкой среде Эшби проводили качественную реакцию на альгинаты с CaCl_2 .

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты исследований механического состава почв и наличия в ней карбонатов, концентрации нитратов и кислотности почв, выделения азотфиксаторов и наличия биополимеров в их клетках, а также результаты качественной реакции на альгинаты представлены в таблице 2.

Кислотность у всех образцов была примерно одинаковая: 7,4–7,9. Карбонаты не были обнаружены. Количество нитратов сильно варьировалось: от менее 10 мг/л в лесной почве до более 250 мг/л в почве с огорода, удобряемого золой и навозом (табл. 2).

В ходе исследовательской работы был произведён посев комочков почвы на среду Эшби и наблюдение за ростом колоний бактерий *Azotobacter*. Чашки

Петри с комочками земли были оставлены на четверо суток в термостате при 25 °С. По прошествии необходимого времени проведена оценка результатов подсчетом процента обрастания почвенных комочков. При высеве образца НЛ наблюдался очень слабый рост прозрачных колоний. Во всех остальных случаях культуры микроорганизмов разрастались более активно, имели молочный цвет колоний, некоторые со временем темнели.

После выделения необходимых колоний были проведены следующие эксперименты: окрашивание образцов по Граму и тушью, а также исследование способности бактерий к накоплению полимерных соединений (окрашивание суданом).

После микроскопического исследования препаратов с колоний были отобраны шесть образцов для проведения исследования на определение накопления альгинатов при выращивании в жидкой культуре.

Таблица 2

Результаты исследования образцов почвы и азотфиксаторов, выделенных из них

Определяемый показатель	Образцы почвы								
	В1	В2	К1	К2	А1	А2	Д4	Н4	НЛ
Механический состав почвы	Средне-суглинистая		Средне-суглинистая		Легко-суглинистая		Тяжело-суглинистая	Легко-суглинистая	Средне-суглинистая
Наличие карбонатов в почве	–		–		–		–	–	–
Определение кислотности среды почвенной вытяжки, ед. рН	7,54		7,93		7,85		7,89	7,36	7,8
Определение содержания нитратов в почве, мг/л	Более 250		45		100		45	45	Менее 10
Процент обрастания комочков почвы на четвертые сутки культивирования, %	100	100	100	97,8	100	100	100	94,2	86, рост слабый
Наличие биополимеров по окраске суданом черным	++	н	+	н	н	–	–	н	–
Качественная реакция на альгинаты с CaCl ₂	++	+++	+++	н	н	+	+++	++	н

Примечания:

«-» – отсутствие признака;

«+» – слабое проявление признака;

«++» – средняя степень проявления признака;

«+++» – высокая степень проявления признака;

«н» – показатель не определяли

В ходе исследования было обнаружено, что во всех образцах почвы присутствуют представители рода *Azotobacter*. Но стоит отметить, что наиболее активное обрастание по истечении четырех дней наблюдается у комочков земли, взятой с активно удобряемых агроценозов.

Из всех исследованных колоний только у образцов В1 и К1 была обнаружена способность к накоплению полимерных соединений при окрашивании суданом черным.

При последующем исследовании отмечена положительная реакция всех изучаемых культур на накопление альгинатов в разном количестве. Поэтому дальнейшее исследование по влиянию аэрации на накопление альгинатов в жидкой среде будет проводиться со всеми шестью выбранными культурами.

Выводы. Для исследования было отобрано шесть образцов почв из разных мест РФ, по использованию почв: пять – из агроценозов и один – контрольный, из елово-осинового леса.

В результате исследования определили, что бактерии рода *Azotobacter* активнее развиваются в почвах плодородных, с хорошей аэрацией (в агроценозах), процент обрастания комочков почвы на четвертые сутки был от 94,2% до 100%. Большая часть азотфиксаторов, выделенных из лесной почвы, по морфологии колоний не относится к роду *Azotobacter*.

При изучении физико-химических характеристик обнаружили, что все почвы имеют слабощелочную реакцию, карбонаты в них не обнаружены. Содержание нитратов и механический состав отличаются.

Результаты качественного определения биополимеров в клетках бактерий отличаются в зависимости от использованного метода. Поэтому при оценке потенциальных продуцентов биополимеров рекомендуется использовать разные методы.

Эта работа положила начало исследованию, которое позволит в дальнейшем подробнее изучить продуценты биополимеров, которые могут пригодиться для производства экологически чистых материалов.

Библиографический список

1. Биосинтез альгинатов бактериями рода *Azotobacter* / Г. А. Бонарцева, Е. А. Акулина, В. Л. Мышкина и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. № 1. С. 61–68.
2. Борисова А. Мусорная эволюция: как природа помогает решать проблему свалок. РБК. URL: https://www.rbc.ru/opinions/technology_and_media/28/04/2018/5ae32b979a79477b07a6a271 (дата обращения: 07.02.2022).
3. Охотник за микробами : метод. рек. и инструкции по применению набора. Новосибирск, 2021. 34 с.
4. Умаров М. М., Кураков А. В., Степанов А. Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М., 2007. 30 с.

Исследование способности штаммов продуцентов подавлять рост фитопатогенных грибов

Л. В. Устюжанинова^a, Ю. А. Фоминых^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бм-1101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud142464@vyatsu.ru^b

Аннотация. При разработке микробиологического препарата для обработки пожнивных остатков важно подобрать штаммы продуцентов и исследовать их производственно полезные характеристики. Одной из важных характеристик является способность продуцентов подавлять рост фитопатогенов. В растительных остатках после сбора зерновых культур активно развиваются болезнетворные для растений грибы и микроорганизмы, которые к тому же подавляют рост полезной микрофлоры почвы. Целью данной работы является исследование способности штаммов продуцентов биопрепарата для обработки пожнивных остатков подавлять рост фитопатогенов. Антагонистическая активность определялась методом агаровых блоков и методом лунок. Согласно полученным данным, культура *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 обладает антагонистической активностью по отношению к грибам *Penicillium*, *Botrytis*, *Trichoderma* и *Fusarium*. Однако рост фитопатогенов зависит от состава питательной среды, и проявление антагонизма было выявлено не во всех случаях. Полученные данные обосновывают необходимость многокомпонентного состава разрабатываемого препарата. Статья может быть интересна представителям АПК и разработчикам биопрепаратов.

Ключевые слова: микробиологический препарат, фитопатогены, антагонизм, пожнивные остатки.

Введение. Одной из главных задач в сельском хозяйстве является восстановление плодородия почв. После сбора урожая зерновых культур на полях остается стерня – нижние части стеблей зерновых. Со временем такие остатки подвергаются процессу гумусообразования, то есть разложения. Естественный процесс гумусообразования занимает очень долгое время (от трех до пяти лет), таким образом, почва становится непригодной для выращивания зерновых уже на следующий сезон. Вдобавок к длительному разложению пожнивных остатков в них также развивается большое количество фитопатогенов [2].

Раньше для решения данной проблемы в аграрно-промышленных комплексах сжигали стерню, но такой метод только усугубляет ситуацию: сжигание пожнивных остатков приводит к выгоранию гумуса на глубине до 7 см, нарушаются водно-физические свойства почвы, а также погибает вся ее микрофлора. Помимо перечисленных факторов, сжигание стерни на огромных полях пожароопасно. В настоящее время сжигание стерни на полях запрещено [2].

Применение химических и минеральных удобрений для ускоренного разложения остатков является оптимальным решением, однако внесение таких

удобрений происходит в огромных количествах, что губительно влияет на рост сельскохозяйственных культур [4].

На рынке появляются микробиологические препараты – деструкторы пожнивных остатков. С их помощью процесс разложения соломы на поле принимает более естественный вид. Микроорганизмы являются неотъемлемой частью агробиоценозов, но количество полезной микрофлоры при этом уменьшается, и их место занимают фитопатогены [4].

В состав разрабатываемого микробиологического препарата входит ассоциация микроорганизмов рода *Bacillus*. Ранее были исследованы их основные производственно полезные характеристики, подобрана оптимальная питательная среда для ферментации [5, 6]. К производственно полезным характеристикам относятся способность к разложению соломы, мобилизации соединений фосфора и фиксация азота. Помимо перечисленных характеристик, одной из важных является способность штаммов продуцентов подавлять рост фитопатогенов, потому что если агрокультуры будут получать все необходимые для их роста соединения, а возбудители болезней будут расти дальше, то полезный эффект препарата будет сводиться к нулю.

Целью данной работы является исследование способности штаммов продуцентов биопрепарата для обработки пожнивных остатков подавлять рост фитопатогенов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- подобрать культуры фитопатогенов, которые являются возбудителями болезней зерновых;
- оценить способность штаммов продуцентов подавлять рост фитопатогенов методом агаровых блоков и методом лунок.

Методы исследования. В качестве тест-культур фитопатогенов были взяты грибы родов: *Penicillium*, *Botrytis*, *Trichoderma*, *Fusarium*.

Для культивирования грибов использовали коммерческие питательные среды:

1. Плотная питательная среда Чапека производства НПЦ «Биокомпас-С» (Россия).

2. Сухая среда «Питательная среда № 2 ГРМ (Сабуро)» производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск.

Антагонистическую активность культур *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 по отношению к тест-культурам определяли методом агаровых блоков, а также луночным методом [5, 1].

Для определения антагонистической активности луночным методом в чашках со средами делали лунки, далее высевали тест-культуры грибов со скошенного агара Сабуро на чашки микробиологической иглой таким образом, чтобы игла касалась среды между прорезанными лунками. После осуществляли заполнение лунок культуральной жидкостью исследуемых микроорганизмов *B. subtilis* БАЦ-1, *B. subtilis* БАЦ-2 и *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3, выращенных на питательной среде № 2 [5] или на среде с мелассой, по 100 мкл в лунку. Культивирование проводили в течение 14 суток при температуре +25 °С.

Методом агаровых блоков исследование проводили аналогично, только вместо вырезания и заполнения лунок раскладывали агаровые блоки, вырезанные из посевов культур бацилл газоном на питательную среду ГРМ-агар (производства ФГУП ГНЦ ПМБ, г. Оболенск).

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты способности исследуемых штаммов проявлять антагонизм по отношению к фитопатогенам представлены на рис. 1–4.

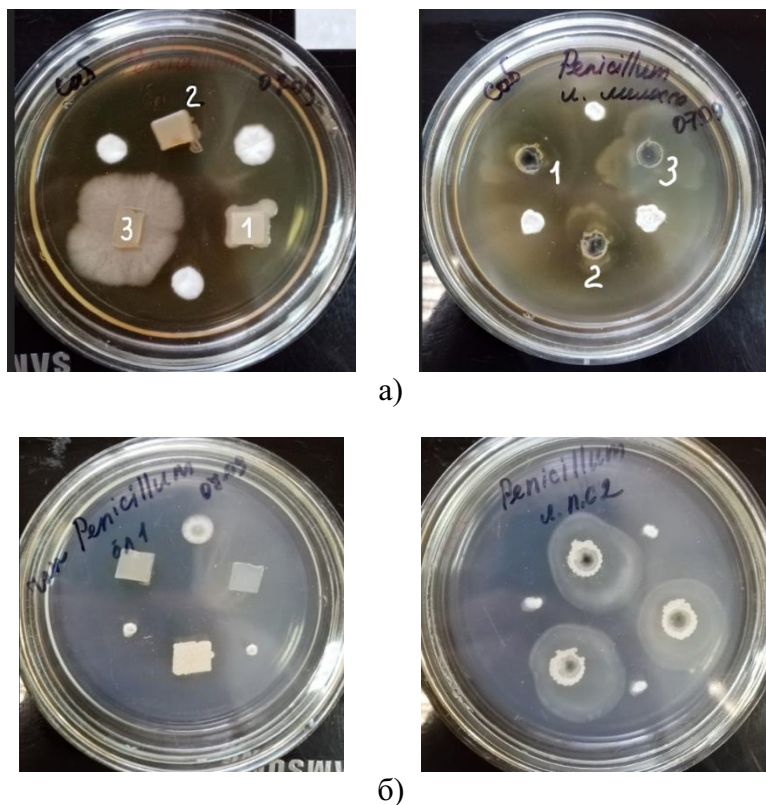


Рис. 1. Антагонизм культур бацилл по отношению к грибу *Penicillium*:
 а) на среде Сабуро; б) на среде Чапека;
 1 – *B. subtilis* БАЦ-1, 2 – *B. subtilis* БАЦ-2, 3 – *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3

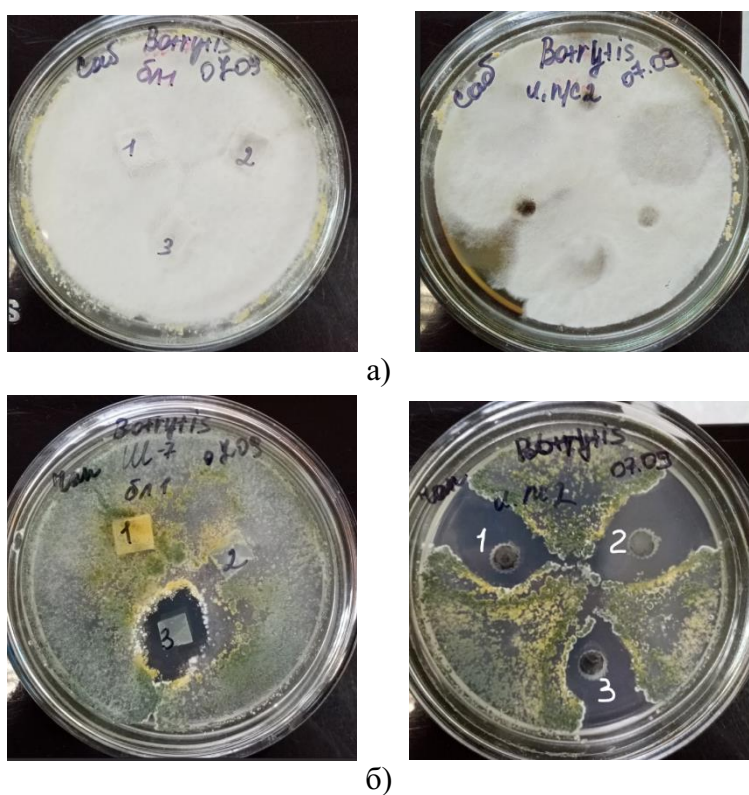
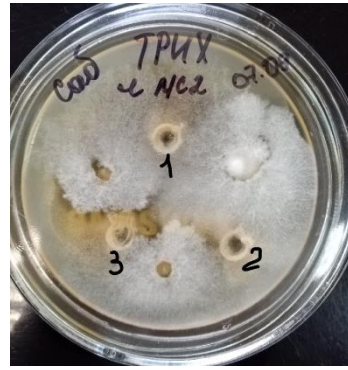
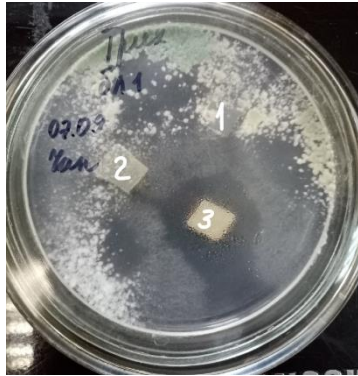


Рис. 2. Антагонизм культур бацилл по отношению к грибу *Botrytis*:
 а) на среде Сабуро; б) на среде Чапека;
 1 – *B. subtilis* БАЦ-1, 2 – *B. subtilis* БАЦ-2, 3 – *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3



a)



б)

Рис. 3. Антагонизм культур бацилл по отношению к грибу *Trichoderma*:
 а) на среде Сабуро; б) на среде Чапека;
 1 – *B. subtilis* БАЦ-1, 2 – *B. subtilis* БАЦ-2, 3 – *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3



a)



б)

Рис. 4. Антагонизм культур бацилл по отношению к грибу *Fusarium*:
 а) на среде Сабуро; б) на среде Чапека;
 1 – *B. subtilis* БАЦ-1, 2 – *B. subtilis* БАЦ-2, 3 – *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3

В ходе исследования антагонистической активности бацилл против фитопатогенов было обнаружено заметное подавление роста по отношению к грибу рода *Penicillium* у всех трех штаммов. Антагонизм культур по отношению к грибу рода *Botrytis* на разных средах проявлялся по-разному. Это связано с составом питательных сред: на среде Сабуро гриб растет активнее, чем на среде Чапека. Однако при исследовании методом блоков на среде Чапека можно четко увидеть сдерживание роста тест-культуры гриба штаммом *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 и смесью бацилл при исследовании методом лунок. С тест-культурой гриба *Trichoderma* аналогичная ситуация. В ходе изучения антагонистической активности по отношению к тест-культуре гриба *Fusarium* было выявлено, что на обеих средах штамм *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 подавляет рост фитопатогена.

Вывод. В ходе исследования способности штаммов продуцентов подавлять рост фитопатогенных грибов было выявлено, что штамм *B. amyloliquefaciens* БАЦ-3 обладает такой активностью. Штаммы *B. subtilis* БАЦ-1 и *B. subtilis* БАЦ-2 рост фитопатогенов не подавляют, но исследование [3] показало, что данные штаммы обладают целлюлозолитической, азотфиксирующей и фосфатмобилизирующей активностью, что очень важно для разрабатываемого биопрепарата. Полученные данные обосновывают необходимость многокомпонентного состава разрабатываемого препарата для обеспечения его многонаправленного действия. Статья может быть интересна представителям АПК и разработчикам биопрепаратов.

Библиографический список

1. Авдеева Л. В. [и др.] Антагонистическая активность штаммов *Bacillus Amyloliquefaciens* subsp. *Plantarum* IMB В-7404 в БИМ В-439Д по отношению к фитопатогенным бактериям и микромицетам // Микробиол. журн. 2014. Т. 76. № 6. С. 27–33.
2. Акимова Е. Е. и др. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности : учеб. пособие : [для бакалавров, магистрантов и аспирантов вузов, студентов средних спец. учеб. заведений по направлениям «Биотехнология средств защиты растений», «Сельскохозяйственная биотехнология» «Агрономия», «Защита растений»]. Томск, 2018.
3. Методы определения антибиотикопродуктивности и антибиотикорезистентности : метод. указания к лабораторному практикуму / А. Н. Сизенцов. Оренбург : ГОК ОГУ, 2009. 102 с.
4. Петров В. Б., Чеботарь В. К. Микробиологические препараты-базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 11–15.
5. Устюжанинова Л. В., Фоминых Ю. А., Вятер В. А. Экспериментальное обоснование выбора питательной сред для ферментации бактерий рода *Bacillus* с целью получения био-

препарата // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. Электрон. текстовые дан. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 123–128. URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2021-tom-2.pdf>.

б. Фоминых Ю. А., Рычкова А. Д., Вятер В. А., Устюжанинова Л. В. Экспериментальное обоснование выбора продуцентов биопрепарата для разложения пожнивных остатков // Сборник материалов VII Международной очно-заочной научной конференции «Форум молодых ученых: мир без границ» в рамках Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса» : в 4 ч. Ч. 1. Секции 1,2,3,4. Донецк : «ДОНМАН», 2021. С. 400–403.

Опасность пищевых вирусов, попадающих в продукты питания

Л. В. Устюжанинова^a, А. А. Шинку^b

старший преподаватель кафедры микробиологии^a

студент группы Бм 2101-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: lv_ustyuzhaninova@vyatsu.ru^a, stud123675@vyatsu.ru^b

Аннотация. Со стороны государства в пищевой отрасли контролируются такие показатели, как наличие или отсутствие бактерий, дрожжей, плесени или их количественное содержание. Но наличие пищевых вирусов, возбудителей серьезных кишечных инфекций, остается без надзора. Такие инфекции могут ухудшить здоровье, снизить качество жизни, впоследствии могут возникнуть тяжелые осложнения, а в некоторых случаях вирусы могут привести к смертельному исходу. Поэтому изучение пищевых вирусов, их свойств, способов борьбы с ними – это то, чем должны заниматься исследователи для обеспечения безопасности пищевых продуктов. Целью данного исследования является изучение наиболее распространенных пищевых вирусов. В данной работе использовались такие методы, как анализ, наблюдение, обобщение, сравнение, использовался системный подход. Показано, что инфицирование пищевыми вирусами продуктов питания может произойти на любой стадии их получения. При этом вирусы достаточно устойчивы к различным способам инактивации. Информация в данной работе может помочь специалистам на пищевых предприятиях и исследователям лучше понять природу пищевых вирусов, разработать методы профилактики и борьбы с ними.

Ключевые слова: пищевая отрасль, продукты питания, микробиологическая безопасность, пищевые вирусы, кишечные инфекции.

Введение. О случаях выявления в продуктах питания вирусов известно намного меньше, чем о выявлении других микроорганизмов. Это связано с тем, что вирусы не способны размножаться на питательных средах и для их культивирования используют чувствительные клетки [10]. Вирусы не вызывают изменения состояния пищевых продуктов, их органолептических свойств, и отследить наличие вирусов без вооружения специальными знаниями, оборудованием и материалами невозможно [8].

Вирусы могут в течение нескольких месяцев храниться в пищевых продуктах или в окружающей среде. Большинство вирусов пищевого происхождения более стойкие, чем бактерии, к охлаждению, замораживанию, изменению рН, высушиванию, ультрафиолетовому облучению, нагреванию, изменению давления, дезинфекции и так далее [8].

Наиболее часто встречающимися вирусами пищевого происхождения являются: норовирус человека (HuNoV), ротавирус человека (HRV), вирус гепатита А (HAV), вирус гепатита Е (HEV), астровирус человека (HAstV), вирус

Айти (Айчи) (AiV), саповирус (SaV), аденовирус человека (HAdV) и энтеровирус (EV) [7]. Они и будут исследованы в данной работе.

Объектом исследования являются пищевые вирусы. Предметом исследования выбрана характеристика особенностей пищевых вирусов.

Целью данного исследования является изучение наиболее распространенных пищевых вирусов.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- 1) изучить способы распространения пищевых вирусов, способы попадания вирусов в продукты питания;
- 2) изучить симптомы при инфицировании пищевыми вирусами;
- 3) рассмотреть устойчивость вирусов к различным способам инактивирования.

Ведущий подход. В данной работе использовались такие методы, как анализ, наблюдение, обобщение, сравнение, использовался системный подход.

Результаты исследований, их обсуждение. Изучение пищевых вирусов в последние десятилетия особенно актуально. Количество научных работ растет, открываются новые лаборатории для изучения и контроля этих биологических объектов [11, 7, 9].

Норовирус и саповирус

Норовирусы являются причиной более 17–20% от всех диарейных инфекций. Сезонность осенне-зимняя. Источник – больной человек. Механизм передачи фекально-оральный. Пути передачи: контактно-бытовой (основной); алиментарный (до 15% от всех случаев), водный [11].

Норовирус обычно вызывает острый гастроэнтерит, тошноту, рвоту, диарею, лихорадку, недомогание и спазмы в животе [9]. Разрушение эпителиальных клеток ведет к угнетению ферментативной функции кишечника [11].

Саповирусная инфекция в целом сходна с норовирусной инфекцией. Для нее характерно более мягкое течение; наибольшую чувствительность к саповирусам проявляют дети в возрасте до 5 лет [11].

Продукты питания, несущие в себе опасность норовирусной и саповирусной инфекций: моллюски, ягоды и зеленые овощи, загрязненные во время удобрения почвы или политые загрязненной водой [9].

Соблюдение личной гигиены – основополагающий метод борьбы с этими вирусами [11]. Норовирусы устойчивы к воздействию кислых сред, эфира и относительно стабильны при нагревании [12].

Ротавирус

Инфекция у человека вызывается видами *Rotavirus* А, В и С. Ротавирусы являются основной причиной тяжелого гастроэнтерита у людей и животных. Особенно страдают дети и молодежь [11].

Ротавирусная инфекция – зооантропонозное высококонтагиозное острое инфекционное заболевание, характеризующееся преимущественным поражением желудочно-кишечного тракта в виде гастроэнтерита с симптомами диареи и рвоты, общей интоксикацией, дегидратацией и нередко наличием респираторного синдрома в начальном периоде болезни [13]. Для заболевания характерна осенне-зимняя сезонность [11].

Ротавирус животных и человека, выброшенный в сточные воды и окружающую среду, может загрязнять поверхностные воды, морепродукты, фрукты и овощи. Кроме того, инфицированный персонал пищевых производств может загрязнять продукты питания [7].

Инфекционность сохраняется при рН от 3 до 9, но теряется при серии замораживаний-оттаиваний, обработке додецилсульфатом натрия или дезинфектантами (бетапропиолактон, хлорсодержащие агенты, формалин, фенол с 95%-м этанолом) [12].

Гепатит А

HAV передается фекально-оральным путем, прямым контактом или приемом загрязненной воды или пищи [7].

Инфекции, вызванные HAV, могут вызывать широкий спектр проявлений, но смертельный исход – редкость. Инкубационный период колеблется от 2 до 6 недель. Начало инфекции характеризуется тошнотой с рвотой, недомога-

нием, болью в животе, потерей аппетита, учащенным пульсом, сыпью, головной болью и лихорадкой, запором, диареей. Так как репродукция вируса происходит в гепатоцитах печени, то почти во всех случаях печень увеличена, а на коже и склерах наблюдается желтушность [2]. После болезни формируется пожизненный иммунитет [11].

Пищевые продукты на этапе производства загрязняются при орошении зараженной водой. Передача вируса гепатита А с помощью пищевых продуктов очень высока, но соблюдение санитарных норм и личной гигиены значительно снижает вероятность инфицирования [9].

Вирус устойчив при кислых значениях рН и повышенной температуре [12].

Гепатит Е

Клиническая картина HEV сходна с гепатитом А [11].

Гепатит Е передается главным образом фекально-оральным путем и через загрязненную воду [5]. Кроме того, потребление сырого мяса, печени и других внутренних органов инфицированных животных может вызвать гепатит у людей. Также навоз зараженных животных, используемый в качестве удобрения или стоков, может загрязнять источники воды с сопутствующим загрязнением овощей или моллюсков [7].

Вирус чувствителен к хранению при низких температурах и йодсодержащим дезинфицирующим средствам. Вирион HEV более термостойкий, чем HAV [5].

Астровирус

Астровирусы вызывают от 2 до 8% всех случаев острого вирусного гастроэнтерита. Механизм передачи инфекции фекально-оральный (пути передачи: алиментарный, контактный, водный). Течение патологии более легкое, чем при норовирусном гастроэнтерите. Многие случаи инфекции протекают бессимптомно [11, 7]. При инфицировании развивается диарея, рвота, тошнота, беспокойство, головная боль, недомогание, дискомфорт в животе и лихорадка. Сезонность: чаще в осенние и ранние зимние месяцы [6].

Вирионы устойчивы при рН 3, при температуре 60°C – 5 минут, резистентны к воздействию хлороформа, жирорастворителей, неионных и анионных

детергентов, устойчивы к инактивации пропанолом, бутаном и этанолом, отбеливателем, моющими средствами и ультрафиолетовой обработке [6].

Вирус Айти (Айчи)

Клинические симптомы инфекции включают диарею, тошноту, рвоту, боль в животе и лихорадку [1].

Люди могут быть заражены этим вирусом из загрязненной питьевой воды, а также после употребления сырых моллюсков [7].

In vitro AiV устойчив к спиртам, теплу, хлору, высокому гидростатическому давлению, хлороформу, неионным моющим средствам [3].

Аденовирус

Основные пути передачи: воздушно-капельный и алиментарный; возможна контактная передача. Загрязненная пища и вода также являются переносчиками инфекции [7].

Аденовирус человека вызывает гастроэнтерит, респираторные заболевания, геморрагический цистит, гепатит и т.д. Летальный исход – редкость [7].

Вирусы чувствительны к жирорастворителям. Инактивация вируса происходит при 56°C в течение не менее 10 минут [12].

Энтеровирус

Энтеровирусная инфекция характеризуется лихорадкой и полиморфизмом клинических симптомов, обусловленных поражением центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта, легких, печени, почек и других органов. Энтеровирусы также вызывают менингит и энцефалит [7, 4].

Энтеровирус передается преимущественно фекально-оральным путем, но некоторые виды могут передаваться через дыхательные выделения [7, 11].

Частицы вируса устойчивы к эфиру и стабильны при pH 3-10 [4].

Выводы. В данной работе были рассмотрены и изучены основные пищевые вирусы, а именно: норовирус человека (HuNoV), ротавирус человека (HRV), вирус гепатита А (HAV), вирус гепатита Е (HEV), астровирус человека (HAstV), вирус Айти (Айчи) (AiV), саповирус (SaV), аденовирус человека (HAdV) и энтеровирус (EV).

Вирусы были рассмотрены с нескольких сторон: изучены способы их распространения, способы попадания вирусов в продукты питания, описаны симптомы при инфицировании пищевыми вирусами, изучена их устойчивость к различным способам инактивирования.

Делая выводы, можно сказать, что продукты питания могут быть заражены, вступив в контакт с загрязненной сточной водой, почвой, при жизни животного, во время обработки, хранения или окончательной подготовки: либо непосредственно от инфицированных людей, либо в результате контакта с загрязненной окружающей средой, то есть инфицирование продуктов питания может произойти на любой стадии его получения.

В основном пищевые вирусы вызывают гастроэнтерит, рвоту, тошноту, лихорадку. Некоторые вирусы поражают печень, центральную нервную систему, сердечно-сосудистую систему и другие органы.

Кроме того, вирусы достаточно устойчивы к различным способам инактивации. В связи с этим разработка новых методов обработки от вирусов в пищевых продуктах имеет важное значение. Следует отметить, что соблюдение санитарных и гигиенических норм является неотъемлемой частью производства пищевых продуктов и профилактики заражения пищевыми вирусами.

Библиографический список

1. Aichi Virus in Sewage and Surface Water, the Netherlands / Willemijn J. Lodder, Saskia A. Rutjes, Katsuhisa Takumi, and Ana Maria de Roda Husman // *Emerg Infect Dis*. 2013 Aug; 19(8): 1222–1230. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3739534> (дата обращения: 21.12.2021).
2. Dotzauer A. Hepatitis A Virus // University of Bremen, Bremen, Germany. *Encyclopedia of virology*. 2 ed. Elsevier Ltd, 2008. Pp. 343–350. URL: <https://archive.org/details/b.w.j.mahym.h.v.vanregenmortel2008encyclopediaofvirology/page/n1/mode/2up> (дата обращения: 19.12.2021 г.).
3. Enrique Rivadulla, Jesús L. Romalde A Comprehensive Review on Human Aichi Virus // *Virology*. 2020 Oct; 35(5): 501–516. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7223127> (дата обращения: 22.12.2021).
4. Hughes L. E., Ryan M. D. Enteroviruses of Animals // University of St. Andrews, St. Andrews, UK *Encyclopedia of virology*. 2 ed. Elsevier Ltd, 2008. Pp. 130–136. URL: <https://archive.org/details/b.w.j.mahym.h.v.vanregenmortel2008encyclopediaofvirology/page/n1/mode/2up> (дата обращения: 18.12.2021).
5. Meng X. J. Hepatitis E Virus // Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA. *Encyclopedia of virology*, 2 ed. Elsevier Ltd, 2008. Pp. 377–383. URL: <https://archive.org/details/b.w.j.mahym.h.v.vanregenmortel2008encyclopediaofvirology/page/n1/mode/2up> (дата обращения: 19.12.2021).

6. Moser L. and Schultz-Cherry S. Astroviruses // University of Wisconsin – Madison, Madison, WI, USA. Encyclopedia of virology. 1 ed. Elsevier Ltd, 2008. Pp. 204–211. URL: <https://archive.org/details/b.w.j.mahym.h.v.vanregenmortel2008encyclopediaofvirology/page/n1/mode/2up> (дата обращения: 19.12.2021).
7. Pehara A., Govaris A. Foodborne Viruses and Innovative Non-Thermal Food-Processing Technologies // Foods. 2020 Oct 23; 9(11):1520. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33113926> (дата обращения: 18.12.2021).
8. Sánchez G., Bosch A., Pintó R. M. Hepatitis A virus detection in food: current and future prospects // Lett Appl Microbiol. 2007 Jul; 45(1):1–5. URL: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-765X.2007.02140.x> (дата обращения: 17.12.2021 г.).
9. The common foodborne viruses: A review / Velebit B., Djordjevic V., Milojevic L. and oth. // The 60th International Meat Industry Conference MEATCON2019, Conf. Series: Earth and Environmental Science. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/333/1/012110/pdf> (дата обращения: 14.12.2021).
10. Волошина И. Н., Скромная О. И. Пищевые продукты как источник вирусных инфекций // Научное электронное периодическое издание Южного федерального университета «Живые и биокосные системы». 2014. Вып. № 9. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-9/article-13> (дата обращения: 17.12.2021).
11. Медицинская вирусология : учеб. пособие / И. И. Генералов, Н. В. Железняк, В. К. Окулич и др. Витебск : ВГМУ, 2017. С. 129–133. URL: https://www.elib.vsmu.by/bitstream/123/17775/1/Meditsinskaia_virusologija_Generalov-II_2017.pdf (дата обращения: 14.12.2021).
12. Общая вирусология с основами таксономии вирусов позвоночных : учеб. пособие / А. Н. Сизенцов, А. О. Плотников, Е. А. Дроздова и др. Оренбург : ОГУ, 2012. С. 403–439. URL: <https://studfile.net/preview/16371485> (дата обращения: 15.12.2021).
13. Хлынина Ю. О. Ротавирусная инфекция у детей // Лекарственный вестник. 2020. № 2 (78). Т. 14. URL: <https://www.volgmed.ru/uploads/journals/articles/1600343432-drugs-bulletin-2020-2-3707.pdf> (дата обращения: 10.10.2021).

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Исследование деструкции смесей биополимеров

А. А. Бурков^a, Е. В. Товстик^b, А. Д. Краев^c, У. А. Шестакова^d

кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП^a

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник^b

аспирант группы ХТа-1501-03-00, старший лаборант кафедры ХТПП^c

студент группы ХТб-4501-07-00^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация^{a, b, c, d}

E-mail: aa_burkov@vyatsu.ru^a, ev_tovstik@vyatsu.ru^b, usr21900@vyatsu.ru^c, stud104946@vyatsu.ru^d

Аннотация. Пластмассы в жизни человека играют огромную роль, так как с каждым годом происходит рост количества предприятий, на которых полимерные материалы либо производятся, либо потребляются. Использование пластмасс растет, поэтому встает вопрос об утилизации полимерных отходов. Одним из решений данной проблемы является замена традиционных пластмасс на биоразлагаемые. Существуют различные виды биополимеров: полилактид, полигидроксиалканоаты и другие. Наиболее коммерчески используемый биodeградируемый полимер – полилактид. Существенным минусом данного материала является высокая цена, низкая пластичность, жесткость, скорость и степень кристаллизации, а также этот материал более чувствителен к химическому и биологическому гидролизу. Совмещение полилактида и натурального каучука позволяет устранить недостатки полилактида, а также получить оптимальные свойства материала. Целью данной работы является исследование микробиологической деструкции смесевых композиций на основе полилактида и натурального каучука, оценка интенсивности протекания биоразрушения. В данной работе было проведено испытание на стойкость к воздействию микромицетов в жидкой питательной среде с использованием следующих штаммов грибов: *Fusarium AC*, *Penicillium SK-2-3*. Биоразложение проводили в стерильной жидкой среде Чапека. Помещали культуры грибов, затем вносили образец полимера. Культивировали грибы в течение месяца. По истечении биоразложения каждый образец был исследован методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Областью применения результатов является разработка экспресс-теста на биоразложение исследуемых материалов, оценка влияния изменения состава на динамику и глубину процессов деструкции.

Ключевые слова: полилактид, натуральный каучук, биоразлагаемые полимеры, микромицеты, биodeградация.

Введение. Самым популярным материалом на планете является пластмасса. Она обладает рядом преимуществ, таких как удобство, дешевизна, прочность, легкость, длительная продолжительность эксплуатации, но не все преимущества являются положительными. Чем дольше срок службы материала, тем дольше он разлагается, соответственно, происходит загрязнение окружающей среды, воды, воздуха, земли, появляются кислотные дожди и происходит накопление мусора. Решить данную проблему можно заменой традиционных пластмасс на биоразлагаемые.

Биоразлагаемые полимеры – это пластмассы, которые способны разлагаться в окружающей среде под действием микроорганизмов (бактерий или грибов). Про-

цесс биодegradации включает разложение материала под воздействием микроорганизмов и приводит к образованию воды, диоксида углерода, метана, которые не представляют опасности для окружающей среды, решая проблему отходов [4].

Во всех случаях биодegradации наблюдается взаимодействие полимера и живого организма. Биодеструкция вызвана микроорганизмами (бактериями, грибами), наиболее агрессивными из них являются *Aspergillus* и *Penicillium*; макроорганизмами (животными, высшими растениями). Механизм биоразложения различается в зависимости от типа полимера, микроорганизмов и условий окружающей среды. Методы оценки биоразлагаемости разделяются следующим образом: условия проведения испытаний; продолжительность; уровень регламентации – стандартные и нестандартные; определяемый параметр биоразлагаемости (биообрастания, массы, деформационно-прочностных показателей, степени дегратации макро-, микро- и молекулярной структуры образцов, молекулярно-массового распределения полимерного связующего и др.) [1].

Целью работы является изучение биодеструкции, а также проведение и разработка экспресс-теста на биоразложение. Задачами исследования являются: подбор микроорганизма, оказывающего максимальное влияние на биоразложение материала, а также исследование данных смесей различными методами физико-химического анализа.

Методы исследования. Для изготовления материала был использован полилактид (ПЛА) марки Ingeo™ Biopolymer 4043D и натуральный каучук (НК) марки SVR-5. Для биоразложения использовались штаммы грибов *Fusarium AC* и *Penicillium SK-2-3*.

Для проведения испытания были получены образцы разных составов, которые указаны в табл. 1.

Таблица 1

Маркировка образцов

Маркировка образцов	Состав
ПЛА100	ПЛА – 100 масс. ч.
НК100	НК – 100 масс. ч.
60/40 ПЛА/НК 0МА	ПЛА – 60 масс. ч., НК – 40 масс. ч., 0 масс. ч. малеинового ангидрида
80/20 ПЛА/НК 10МА	ПЛА – 80 масс. ч., НК – 20 масс. ч., малеиновый ангидрид – 10 масс. ч.
80/20 ПЛА/НК 5МА 5П	ПЛА – 80 масс. ч., НК – 20 масс. ч., малеиновый ангидрид – 5 масс. ч., пероксид Luperox F40 – 5 масс. ч.

Испытание на стойкость к воздействию микромицетов проводили в течение 30 дней. Сущность метода заключается в том, что материал заражают спорами микромицетов в растворе минеральных солей с добавлением сахарозы. Микромицеты растут за счёт питательных веществ, содержащихся в среде и материале. Образцы полимеров для опыта изготавливали прессованием, не вызывающим изменения структуры и химического состава [3].

В испытании использовали следующие штаммы грибов: *Fusarium* AC и *Penicillium* SK-2-3; чашки Петри с образцами представлены на рис. 1.

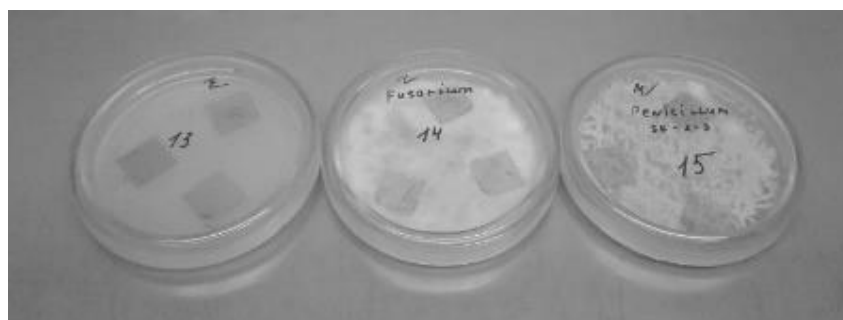


Рис. 1. Испытание на стойкость к воздействию микромицетов

Для оценки грибостойкости в стерильную жидкую среду Чапека (состав: сахароза – 30 г, NaNO_3 – 3 г, KH_2PO_4 – 1 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5 г, KCl – 0,5 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 г, агар-агар – 20 г) помещали культуру *Fusarium* AC, *Penicillium* SK-2-3; затем в среду вносили предварительно обработанный спиртом образец полимера. Контролем служила среда Чапека с полимером, но без гриба. Культивировали колбы в течение месяца на шейкере со следующими параметрами: 160 об/мин, 8/16 час [5]. Образцы показаны на рис. 2.

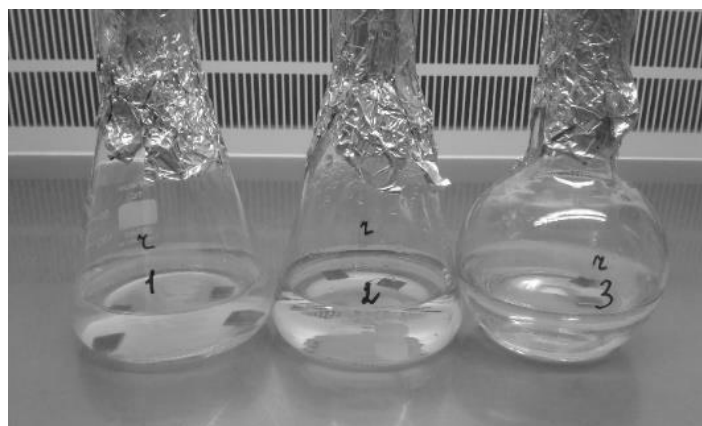


Рис. 2. Образцы, помещенные в среду Чапека

По окончании срока выдержки образцы полимеров извлекали из среды, отмывали, обрабатывали спиртом, повторно промывали дистиллированной водой, высушивали на воздухе при комнатной температуре. Исследовали данные образцы на дифференциальном сканирующем калориметре DSC-60 [1]. Для испытания было выбрано четыре образца одного состава: исходный (без выдержки), контрольный (выдержка только в среде), а также выдержанные в среде с добавлением *Fusarium AC* и *Penicillium*.

Результаты работы. В результате испытаний было выявлено, что образцы ПЛА100 и 80/20 ПЛА/НК 5МА 5П отличаются: удельная энтальпия плавления фазы ПЛА исходного образца выше, чем пленки, подвергшейся разрушению грибом (табл. 2). Соответственно, при биоразложении грибом кристаллической фазы стало меньше и энтальпия у такого образца уменьшилась [2].

Таблица 2

Результаты испытания на дифференциально сканирующем калориметре

Образец	Пик плавления кристаллической фазы			
	Начало, °С	Середина, °С	Завершение, °С	Удельная теплота, Дж/г
ПЛА100 исходный	135,9	148,8/154,3	159,6	31,3
ПЛА100 контрольный	139,0	148,8/154,7	159,7	23,2
ПЛА100 <i>Fusarium AC</i>	140,6	148,7/154,9	159,2	17,8
ПЛА100 <i>Penicillium SK-2-3</i>	135,5	148,7/154,4	158,7	27,4

При контакте гриба с пленками ПЛА структура полимерных материалов изменилась, что связано с уменьшением молекулярной массы, разложением аморфной фазы деградированных материалов, а также с образованием продуктов распада. Так, пленка полилактида с грибом *Fusarium AC* характеризуется удельной теплотой плавления на 13,5 Дж/г меньше, чем исходный образец [6].

Сравнивая образцы, мы выявили, что масса пленок ПЛА100 уменьшилась незначительно (в пределах одного процента), что связано с наличием в ПЛА эфирных связей, которые разрушились в процессе биоразложения. При анализе образцов НК100 выявлено, что уменьшение массы не произошло, так как данный материал весьма липкий, вследствие чего точность эксперимента низкая. Образцы 60/40 ПЛА/НК 0МА и 80/20 ПЛА/НК 5МА 5П показали существенное

снижение массы при культивации с грибом *Fusarium AC*. Пленки 80/20 ПЛА/НК 10МА показали примерно одинаковый и несущественный процент биодеградации во всех средах. Это говорит о том, что применение малеинового ангидрида в больших дозировках негативно влияет на биоразложение.

Выводы. Таким образом, было изучено биоразложение композиций на основе ПЛА и НК и разработана методика экспресс-тестирования таких материалов. Исследована биодеструкция образцов в различных модельных средах. Результаты показали, что грибок *Fusarium AC* повлиял на образцы в большей степени, так как отмечено существенное снижение массы, а также фаза ПЛА в смесях характеризуется более низкой степенью кристалличности и температурой плавления. Также установлено, что введение малеинового ангидрида влияет на биодеструкцию отрицательно, что подтверждается незначительными изменениями с фазой ПЛА в композициях, содержащих малеиновый ангидрид.

Библиографический список

1. Antipova T. V. et al. Biodegradation of Poly- ϵ -caprolactones and Poly-l-lactides by Fungi // *Journal of Polymers and the Environment*. 2018. Vol. 26. №. 12. Pp. 4350–4359. URL: <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1307-3> (published: 17.09.2018).
2. Dąbrowska G. B. et al. Comparative Study of Structural Changes of Polylactide and Poly (ethylene terephthalate) in the Presence of *Trichoderma viride* // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. №. 7. P. 3491. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms22073491> (published: 28.03.2021).
3. Janczak K. et al. Biodegradation of the plastics PLA and PET in cultivated soil with the participation of microorganisms and plants // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. Vol. 155. P. 105087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105087> (published: 01.11.2020).
4. Kowalczyk A. et al. Biodegradation of Polylactide Modified with Starch by Selected Species of Molds. 2017. URL: 10.11159/icepr17.114 (published: 06.06.2017).
5. Nowak B., Rusinowski S., Walach A. The composition of poly (vinyl chloride) with polylactide/poly (butylene terephthalate-co-butylene sebacate) and its biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium* // *International Biodeterioration & Biodegradation*, December 2020. URL: 0.1016/j.ibiod.2020.105153 (published: 10.12.2020).
6. Olewnik-Kruszkowska E. et al. Biodegradation of polylactide-based composites with an addition of a compatibilizing agent in different environments // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. Vol. 147. P. 104840. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104840> (published: 01.02.2020).

Эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука с добавлением продуктов микроволновой аминолитической деструкции полиэтилентерефталата

М. А. Вохмянин^а, Р. Л. Веснин^б

младший научный сотрудник центра компетенций «Полимерные материалы»^а
кандидат технических наук, зав. кафедрой химии и технологии переработки полимеров^б
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}
E-mail: vmisha7@gmail.com^а, rl_vesnin@vyatsu.ru^б

Аннотация. На сегодняшний день считается, что побочные продукты либо отходы производства в ближайшем будущем могут стать ценным альтернативным сырьем, в том числе для химической промышленности. В данной статье показано, что такие распространенные отходы, как отходы пластиковой упаковки (полиэтилентерефталат), могут служить источником сырья для получения новых ингредиентов для эластомерных композиций на основе полярных каучуков, что приводит к расширению ингредиентной базы полимерной отрасли. Для получения новых ингредиентов полиэтилентерефталат был подвергнут аминолитической деструкции под действием аминоспирта (моноэтаноламина) при микроволновом излучении. В результате был получен диамид терефталевой кислоты и олигомер на его основе, которые в дальнейшем исследовались в эластомерных композициях на основе бутадиен-нитрильного каучука. Показано пластифицирующее действие полученного олигомера, а также ускорение процесса серной вулканизации диамидом терефталевой кислоты. Полученные ингредиенты могут быть использованы в полимерной отрасли, в частности в полимерных композициях на основе полярных эластомеров и термопластов.

Ключевые слова: эластомерные композиции, бутадиен-нитрильный каучук, микроволновое излучение, отходы полиэтилентерефталата, аминолиз.

Введение. В современном обществе все больше уделяется внимание безотходным технологиям и замкнутым циклам производства и переработки различной продукции. Это относится и к пластиковым отходам [2, 4]. Наибольшая часть производимых термопластов (пластмасс) идет на одноразовые упаковки (бутылки, пакеты, различная тара), что в итоге вызывает достаточно большую нагрузку на окружающую среду вследствие стойкости полимеров к деградации в природе, а также трудности сбора, сортировки и утилизации больших объемов полимерных отходов [6].

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является одним из самых распространенных упаковочных материалов во всем мире. Такое распространение он получил за счет превосходных механических свойств [10]. Сейчас ПЭТ может перерабатываться механическим способом (измельчение и повторное формование), однако полимерные материалы не могут подвергаться такой бесконечной механи-

ческой переработке из-за термического разложения в процессе, а также загрязнения [3, 5]. Поэтому разработка иных процессов или методов переработки – неотъемлемое условие для эффективной утилизации пластиковых отходов [9]. Одним из наиболее привлекательных вариантов утилизации является химическая переработка, при которой ПЭТ деполимеризуется либо разлагается в исходные мономеры с последующим производством полезных органических низкомолекулярных продуктов. В некоторых случаях стоимость отходов может быть увеличена за счет получения нового ценного сырья [7, 8].

В связи с вышеизложенным целью данной работы является изучение процесса аминолитической деструкции (аминолиз) под действием моноэтаноламина при микроволновом излучении различной мощности и получение на основе продуктов деструкции новых ингредиентов для полярных каучуков.

Процесс аминолиза ПЭТ был выбран ввиду того, что в результате данных реакций может быть получено достаточно большое разнообразие продуктов зависимости от выбранного аминоспирта.

Для осуществления данной цели необходимо изучить влияние мощности микроволнового излучения на скорость аминолитической деструкции с точки зрения энергозатрат на проведение процесса; получить новый олигоэфирамид на основе продуктов деструкции ПЭТ; оценить влияние новых полученных ингредиентов на свойства эластомерных композиций.

Методы исследования. В качестве объектов исследования выбран полиэтилентерефталат как один из самых распространенных видов отхода термопластов.

Новые полученные ингредиенты вводились в эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН (ГОСТ Р 54556-2011, производство АО «Красноярский завод синтетического каучука» – КЗСК).

Изготовление резиновых смесей осуществлялось на лабораторном микро-смесителе с объемом загрузочной камеры 0,1 л (производство ООО «Полимермаш Групп»).

Исследования изготовленных эластомерных композиций осуществлялись по стандартным методикам в соответствии со стандартными методиками: опре-

деление вязкости сырой резиновой смеси по Муни на ротационном вискозиметре (ГОСТ 10722-76), снятие вулканизационных характеристик резиновых смесей (ГОСТ 12535-84), упруго-прочностные свойства (ГОСТ 270-75), твердость резин по Шору А (ГОСТ 263 -75).

Результаты исследований, их обсуждение. Изучение процесса аминолитической деструкции ПЭТ проводилось в смеси с моноэтаноламином (МЭА) в соотношении компонентов 1:5 (соответственно для ПЭТ:МЭА). Размер частиц ПЭТ в данном случае был 5x5 мм. Схема реакции деструкции представлена на рис. 1.

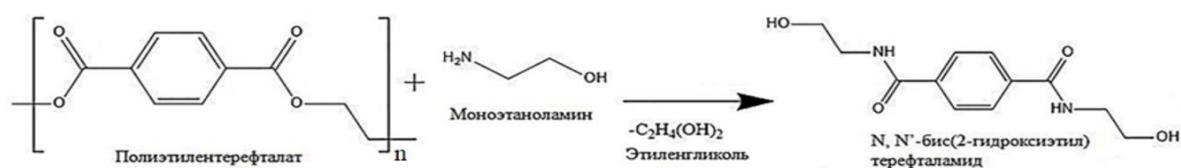


Рис. 1. Схема реакции аминолитической деструкции ПЭТ

В результате данной реакции образуется N, N'-бис(2-гидроксиэтил) терефталдиамид (БГЭТФА). Идентификация полученного соединения проводилась такими методами, как газовая хромато-масс спектрометрия, ИК-Фурье спектроскопия, ЯМР-анализ (^1H и ^{13}C). Полученные данные подтверждают строение полученного продукта деструкции.

Данная реакция для сравнения проводилась при двух различных методах нагрева: конвективном нагреве и микроволновом излучении. На рис. 2 и 3 показана зависимость выхода продукта (БГЭТФА) от времени реакций при различных условиях.

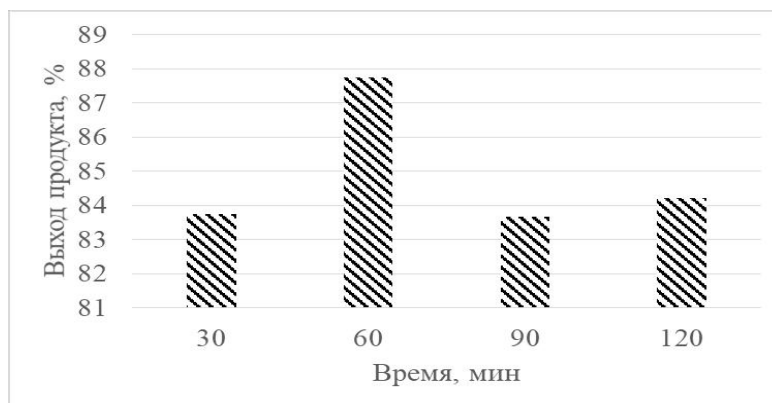


Рис. 2. Зависимость выхода продукта от времени реакции при конвективном нагреве

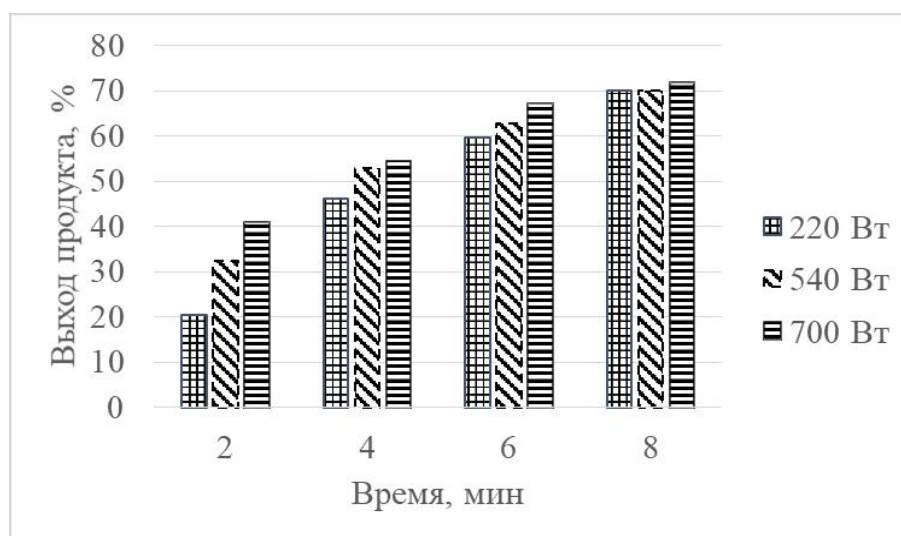


Рис. 3. Зависимость выхода продукта от времени реакции при микроволновом излучении

Как видно из рис. 2 и 3, максимальный выход продукта достигается при конвективном нагреве в течение 20–30 минут – от 88 процентов. Однако стоит учитывать затраченную электроэнергию на тот или иной способ нагрева. С точки зрения меньших энергозатрат на проведение процесса в данном случае оптимальным является микроволновое излучение, так как при выходе около 70 процентов затраченное время от 6 до 8 минут, что позволяет значительно сократить как само время реакции, так и затраты электроэнергии на нагрев.

В дальнейшем полученный продукт деструкции очищался от остатков аминспирта двухкратной перекристаллизацией из горячей (80–90 °С) воды.

Чистый БГЭТФА использовался в качестве мономера в реакции поликонденсации. Данная реакция проводилась в расплаве, при температуре от 190 до 220 °С (ступенчатый нагрев). В результате реакции поликонденсации получен олигомерный продукт (олигоэфирамид, оА), представляющий собой смолообразное вещество, вытягивающееся в волокна и кристаллизующееся при остывании. Температура плавления данного олигоэфирамида 85–90 °С.

Далее проводилось исследование эластомерных композиций на основе БНКС-40АМН с добавлением БГЭТФА и оА. В табл. 1 представлены рецептуры исследуемых смесей.

Таблица 1

Рецептуры резиновых смесей на основе БНКС-40АМН

Ингредиенты	Резиновая смесь, массовые части							
	1 (М)	2 (5ДА)	3 (10ДА)	4 (5оА)	5 (10оА)	6 (10ДБФ)	7 (10ДОФ)	8 (10ДОС)
БНКС-40АМН	100,0							
Сера	2,0							
Каптакс	1,5							
Оксид цинка	5,0							
Стеариновая кислота	1,5							
Технический углерод (П 803)	50	45	40	45	40	50	50	45
Продукт деструкции ПЭТ	–	5	10	–	–	–	–	–
Олигомер на основе продукта деструкции ПЭТ	–	–	–	5	10	–	–	–
ДБФ	–	–	–	–	–	10	–	–
ДОФ	–	–	–	–	–	–	10	–
ДОС	–	–	–	–	–	–	–	10
Итого	160	160	160	160	160	160	160	160

Смесь 1(М) является смесью сравнения без каких-либо добавок. Кроме этого для сопоставления некоторых показателей в данном случае были приготовлены смеси с распространенными пластификаторами дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат (ДОФ) и диоктилсебацат (ДОС).

В первую очередь рассматривалось влияние на кинетику серной вулканизации. В табл. 2 показаны параметры кинетики вулканизации полученных резиновых смесей. Снятие кривых вулканизации проводилось при температуре 160 °С в течение 30 минут.

Таблица 2

Параметры кинетики вулканизации приготовленных резиновых смесей

Смесь	T _{10%} , сек	T _{50%} , сек	T _{90%} , сек	M _L , дН·м	M _H , дН·м
1 (М)	48	184	1023	0,88	17,00
2 (5ДА)	48	167	982	1,04	20,49
3 (10ДА)	50	162	949	1,00	20,16
4 (5оА)	68	275	1098	0,75	15,50
5 (10оА)	52	276	950	0,80	15,61
6 (10ДБФ)	53	189	1034	0,60	14,76
7 (10ДОФ)	55	187	1048	0,72	14,86
8 (10ДОС)	54	190	1068	0,77	15,58

Как видно из данных табл. 2, добавление БГЭТФА (смеси 2 и 3) ускоряет процесс серной вулканизации, сокращая время $T_{90\%}$ на 4 и 7,2 процента соответственно для 5 и 10 массовых частей БГЭТФА. Стоит также обратить внимание, что добавление олигоэфирамида уменьшает минимальный и максимальный крутящий момент подобно действию пластификаторов ДОФ и ДОС. Это также подтверждается снижением вязкости по Муни (табл. 3).

В дальнейшем оценивались упруго-прочностные показатели полученных вулканизатов (табл. 3).

Добавление БГЭТФА незначительно сказывается на упруго-прочностных показателях исследуемых резин: наблюдается незначительное снижение условной прочности при разрыве (f_p) (смеси 2 и 3, табл. 3), однако при добавлении 10 массовых частей БГЭТФА увеличивается твердость (смесь 3, табл. 3).

Таблица 3

Упруго-прочностные характеристики резин на основе БНКС-40АМН с добавлением БГЭТФА и оА

Смесь	f_p , МПа	e , %	Твердость (Шор А)	Вязкость, ед. Муни
1 (М)	14,8	420	67	55
2 (5ДА)	14,7	380	66	62
3 (10ДА)	14,0	380	72	59
4 (5оА)	14,4	470	65	49
5 (10оА)	12,3	380	70	55
6 (10ДБФ)	13,6	480	62	38
7 (10ДОФ)	13,8	460	65	40
8 (10ДОС)	13,7	440	66	44

Иначе обстоит дело с добавлением олигомера на основе БГЭТФА. Как уже говорилось ранее, олигомер снижает вязкость резиновой смеси (смесь 4, табл. 3), однако добавление 10 массовых частей олигомера (смесь 5, табл. 3) приводит к увеличению вязкости, возможно, из-за плохой совместимости компонентов либо недостаточно равномерного распределения в матрице каучука. Влияние введенного олигомера на относительное удлинение при разрыве (e) однозначно показывает смягчающий (пластифицирующий) эффект: данный показатель становится соизмерим с показателями резин с добавлением ДОФ, ДОС и ДБФ (сравнение смесей 4 и 6, 7, 8).

Выводы. Исследован процесс аминолитической деструкции полиэтилен-терефталата моноэтаноламином при микроволновом излучении. Определены оптимальные параметры реакции с точки зрения энергозатрат и выхода продукта, а именно применение микроволнового излучения мощностью 540 либо 700 Ватт в течение 6–8 минут. Получен новый олигоэфирамид на основе продукта деструкции полиэтилентерефталата. Рассмотрено влияние диамида терефталевой кислоты и его олигомера на свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука: показано, что введение диамида терефталевой кислоты ускоряет процесс серной вулканизации, а также смягчающее (пластифицирующее) действие олигомера на основе продукта деструкции полиэтилен-терефталата. Полученные ингредиенты могут послужить для расширения сырьевой базы полимерных композиций в качестве дополнительных ускорителей серной вулканизации и технологической добавки для снижения вязкости сырых резиновых смесей.

Библиографический список

1. Beydoun K., Klankermayer J. Efficient plastic waste recycling to value-added products by integrated biomass processing // *ChemSusChem*. 2020. Vol. 13. № 3. Pp. 488–492.
2. Ignatyev I. A., Thielemans W., Vander Beke B. Recycling of polymers: a review // *Chem SusChem*. 2014. Vol. 7. № 6. Pp. 1579–1593.
3. Mark L. O., Cendejas M. C., Hermans I. The use of heterogeneous catalysis in the chemical valorization of plastic waste // *ChemSusChem*. 2020. Vol. 13. № 22. Pp. 5808–5836.
4. Pavel D., Awaja F. Recycling of PET // *Eur. Polym. J.* 2005. Vol. 41. P. 1453–1477.
5. Sinha V., Patel M. R., Patel J. V. PET waste management by chemical recycling: a review // *Journal of Polymers and the Environment*. 2010. Vol. 18. № 1. Pp. 8–25.
6. Алимпиев А. В., Дердиров А. М. Рециклинг ПЭТ-бутылки: зарубежная и российская практика // *Твердые бытовые отходы*. 2019. № 9. С. 38–39.
7. Потапова Е. В. Проблема утилизации пластиковых отходов // *Известия Байкальского государственного университета*. 2018. Т. 28. № 4. С. 535–544.
8. Решняк В. И., Витязева О. В. Исследование возможности утилизации пластиковых отходов, образующихся на объектах водного транспорта // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2016. № 3 (37). С. 45–52.
9. Супрун Л. В., Романенко С. В., Цыганкова Т. С. Анализ и решение проблемы утилизации и вторичной переработки полиэтилентерефталат отходов в городе Томске // *Векторы благополучия: экономика и социум*. 2012. № 4 (5). С. 107–112.
10. Сысова А. В., Черенцова А. А. Анализ направлений утилизации пластиковых отходов // *Современные технологии воспроизводства экологической среды на урбанизированных территориях*. 2020. С. 29–33.

Определение глицина в лекарственных препаратах методом спектрофотометрии с нингидрином

К. А. Карпова^a, А. И. Фокина^b

студент группы ХМб-3501-53-00^a

доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии^b
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: stud115872@vyatsu.ru^a, usr08614@vyatsu.ru^b

Аннотация. Глицин – самая маленькая аминокислота. Но даже так он неотъемлемый компонент белков и участник многих важных процессов в организме человека. В представленной работе рассмотрен вопрос количественного определения глицина спектрофотометрически после реакции глицина с нингидрином в лекарственных препаратах разных производителей. Установлено, что реализация методики требует строгого соответствия условий пробоподготовки. Установлены границы линейной зависимости «оптическая плотность – концентрация глицина в растворе». В данной методике очень большое значение имеет температура, при которой растворы нагревают на водяной бане; так, при 80 °С светочувствительность в 10 раз меньше, чем при 90 °С. Несомненно, предпосылки для дальнейшей разработки методики есть, при этом требуется найти четкие условия ее реализации.

Ключевые слова: глицин, количественное определение, спектрофотометрия, нингидрин.

Введение. Глицин – аминокислота, входящая в состав многих белков и биологически активных соединений. Он участвует в процессах снабжения кислородом клеток, выработке гормонов, поддержании целостности соединительной ткани. В то же время глицин – медиатор центральной нервной системы, который оказывает влияние на нормализацию сна, концентрацию внимания и памяти, снятие психоэмоционального напряжения. В организме человека из глицина синтезируются многие аминокислоты, белки и другие важные вещества [1, с. 59]. По мнению ряда ученых, глицин следует рассматривать как незаменимую аминокислоту. Так как количество глицина, продуцируемого человеческим метаболизмом, намного ниже, чем потребности клетки, возможна ситуация общего дефицита глицина у человека [2, с. 201]. С пищей человек получает недостаточное до нормы количество глицина. Отравиться глицином можно лишь при приеме необоснованно высоких его доз в течение продолжительного времени [3, с. 19]. Поэтому активно происходит выявление безопасных дозировок глицина при приеме его из дополнительных источников [4, с. 13]. Не секретом является тот факт, что в аптечной сети много контрафактной продукции, поэтому очень важна оценка качества лекарств [3, с. 20]. Поэтому разрабатываются различные методики качественного и количественного определения.

Методик определения глицина достаточно много, однако актуален вопрос исследования возможности применения простых, экспрессных, с применением безопасных реагентов, аналитических методик для контроля качества препаратов, содержащих глицин.

Цель работы – изучение возможности применения спектрофотометрического метода определения глицина в лекарственных препаратах с использованием нингидриновой реакции.

Для реализации цели были поставлены **задачи**:

1) взять за основу рекомендации по количественному определению глицина, разработать алгоритм анализа фармацевтических препаратов;

2) реализовать алгоритм определения, определиться с областью линейной зависимости «концентрация глицина в растворе – оптическая плотность»;

3) по разработанному алгоритму определить содержание глицина в препаратах «Глицин Форте Эвалар» («Эвалар», Россия), «ГЛИЦИН комплекс Mg B6» («ВТФ», Россия) и «Глицин» («Биотики», Россия);

4) согласно результатам эксперимента, разработать рекомендации для дальнейшего совершенствования методики (при необходимости).

Метод исследования – спектрофотометрическое определение глицина после его реакции с нингидрином. Готовят градуировочные растворы глицина с концентрациями 0,0025–0,02 мг/мл. К 5 мл растворов глицина прибавляют 2,5 мл 0,2% раствора нингидрина в ацетоне и нагревают при температуре 90 °С в течение 20 мин. После полного охлаждения раствор доводят до первоначального объема ацетоном и определяют оптическую плотность при длине волны 400 нм на спектрофотометре в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см. Аналогичным образом поступают с препаратами, содержащими глицин. За основу была взята методика спектрофотометрии с водным раствором нингидрина. [5, с. 69–71]. В методике с водным раствором после 20 минут кипячения растворы нужно сначала охлаждать, а потом разбавлять до 100 мл водой и ждать 1 час. В данной же методике используется меньше времени и реактивов, но она может быть менее точной.

Исследовали содержание глицина в препаратах: «Глицин Форте Эвалар» («Эвалар», Россия), «ГЛИЦИН комплекс Mg B6» («ВТФ», Россия) и «Глицин» («Биотики», Россия).

Результаты исследований, их обсуждение. В результате работы установлено, что при проведении анализа в условиях, представленных в методике, открываемость глицина: «Глицина» – 98–120%; «Глицина Форте Эвалар» – 92–110%; «ГЛИЦИН комплекс Mg B6» – 80–90%.

По фармакопеи открываемость должна быть в пределах 90–110%, следовательно, данную методику для определения глицина в препаратах (кроме «Глицин Форте Эвалар») следует дорабатывать, находить оптимальные условия ее реализации. Установлено, что реализация методики требует строгого соответствия условиям пробоподготовки. Так, например, очень большое значение имеет температура, при которой растворы нагревают на водяной бане: при 80 °С светочувствительность в 10 раз меньше, чем при 90 °С. Установлены границы линейной зависимости «концентрация глицина – оптическая плотность».

Выводы:

1) взяты за основу рекомендации по количественному определению глицина, и разработан алгоритм анализа фармацевтических препаратов. В основу анализа положено спектрофотометрическое определение глицина после его реакции с нингидрином (при нагревании в пробирках на водяной бане);

2) в результате реализации алгоритма определения установлена аналитическая область зависимости оптической плотности от концентрации 0,0025–0,02 мг/мл, соотношения реагентов, оптимальная для данного диапазона температура пробоподготовки;

3) по разработанному алгоритму определено содержание глицина в препаратах «Глицин Форте Эвалар» («Эвалар», Россия), «ГЛИЦИН комплекс Mg B6» («ВТФ», Россия) и «Глицин» («Биотики», Россия);

4) установлено, что для некоторых препаратов значения величины открываемости выходят за пределы открываемости. Однако устанавливаемые значения близки к опорным, что указывает на потенциальную возможность использования методики и необходимость поиска оптимальных условий ее реализации.

Библиографический список

1. Баева Е. С. Глицин и его роль в организме человека // Научный форум «Медицина, биология и химия». М. : ООО «Международный центр науки и образования», 2019. С. 59–63.
2. Макарова Л. М., Погорелый В. Е. Современный взгляд на роль глицина в организме и его возможный терапевтический потенциал // Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования. Петрозаводск, 2021. С. 199–219.
3. Головина Н. В., Доброхотов Д. А., Филиппова А. А. и др. Сравнительная характеристика методов количественного определения глицина в лекарственных формах разных производителей // Сборник статей IV Международного научно-Исследовательского конкурса «Достижения вузовской науки». Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2018. С. 17–21.
4. Ефременко Е. С. Биологическая роль глицина в метаболических процессах // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования». Кишинев : Научно-издательский центр «Мир науки», 2019. С. 12–15.
5. Симонян А. В., Саламатов А. А., Покровская Ю. С., Аванесян А. А. Использование нингидриновой реакции для количественного определения α -аминокислот в различных объектах. Волгоград, 2007. 106 с.

Влияние факторов выращивания мелиссы лекарственной на качество лекарственного растительного сырья

Е. А. Кислицына^а, С. Г. Скугорева^б

студент группы Хмб-3501-5300^а, Вятский государственный университет,
Киров, Российская Федерация^а

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
Сыктывкар, Российская Федерация^б

E-mail: elenakislicyna83863@gmail.com^а, skugoreva@mail.ru^б

Аннотация. Одним из перспективных источников седативных, антидепрессантных, антиоксидантных веществ является мелисса лекарственная. Обусловлено это тем, что влияние на организм природных компонентов, содержащихся в лекарственных растениях, признано более безопасным, чем искусственно созданных препаратов. В данной работе изучено влияние пространенных факторов выращивания (тип субстрата для выращивания, внесение комплексного удобрения «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ» и фитопатогена – микромицета *Fusarium culmorum*) в комнатных условиях на содержание суммы антиоксидантов, фенольных соединений и малонового диальдегида в мелиссе лекарственной сорта «Лимонный аромат». Сумму антиоксидантов определяли методом перманганатометрии, содержание фенольных соединений и малонового диальдегида – методом спектрофотометрии. Окислительный стресс растений, выращенных на садовом грунте, характеризовался большим уровнем, чем у растений, выращенных на торфогрунте, что, вероятно, вызвано недостатком элементов питания, в частности микроэлементов в субстрате выращивания. Внесение в торфогрунт *F. culmorum* и удобрения приводило к усилению накопления малонового диальдегида и антиоксидантов, что может свидетельствовать об интенсификации процессов окисления в клетках растений.

Ключевые слова: мелисса лекарственная, микромицеты, окислительный стресс, фенольные соединения, антиоксиданты.

Введение. Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) – многолетнее травянистое теплолюбивое растение. Оно широко используется как основа большого числа лекарственных препаратов, что обусловлено входящими в ее состав химическими соединениями [1, с. 32]. Одним из наиболее ценных свойств мелиссы лекарственной является антиоксидантная активность. Антиоксиданты («противодействующие окислению») – вещества, нейтрализующие атаки свободных радикалов в клетках живых организмов, тем самым препятствующие окислению клеточных структур. В мелиссе они представлены в основном фенольными соединениями [2, с. 15]. Фенольные соединения – вещества, содержащие ароматические кольца с гидроксильными группами, и их производные [3, с. 274]. Качество мелиссы лекарственной может оцениваться содержанием антиоксидантов. Мелисса, благодаря ее полезным свойствам, распространённое растение для выращивания. Однако условия выращивания могут

быть различными, что сказывается на качестве лекарственного растительного сырья. Из научной литературы известно, что восприимчивость сельскохозяйственных культур к болезням во многом зависит от условий окружающей среды, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние.

Целью работы было изучить влияние некоторых факторов выращивания в комнатных условиях на содержание суммы антиоксидантов, фенольных соединений и малонового диальдегида в мелиссе лекарственной.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие **задачи**:

- 1) создать различные условия выращивания;
- 2) в созданных условиях вырастить двухмесячные растения мелиссы сорта «Лимонный аромат»;
- 3) определить в растениях содержание суммы антиоксидантов, фенольных соединений и малонового диальдегида;
- 4) сделать вывод о влиянии условий на качество растительного сырья.

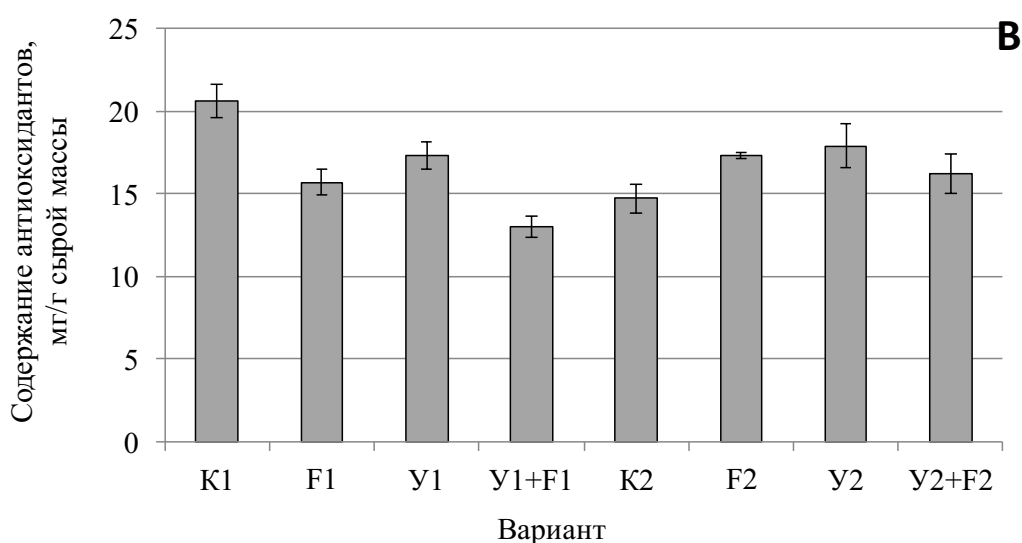
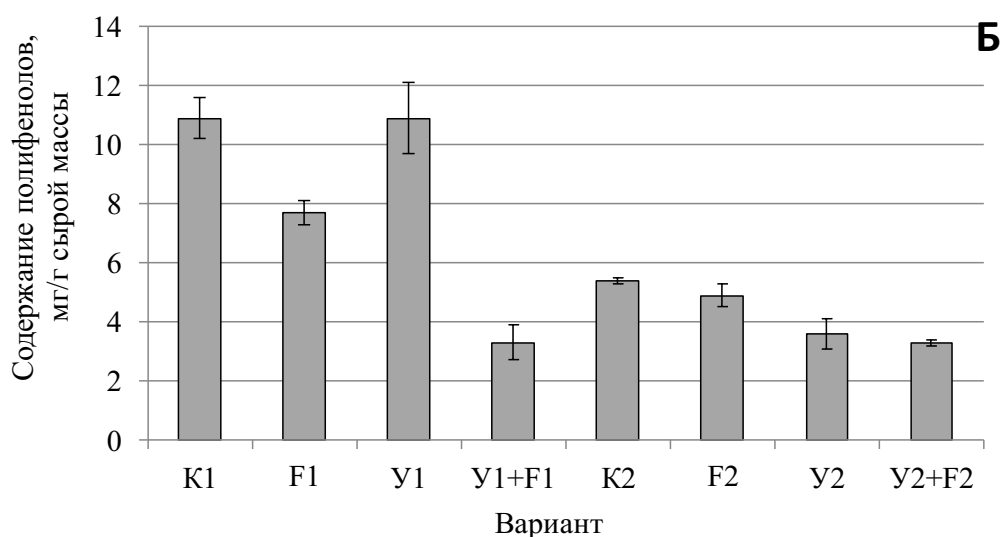
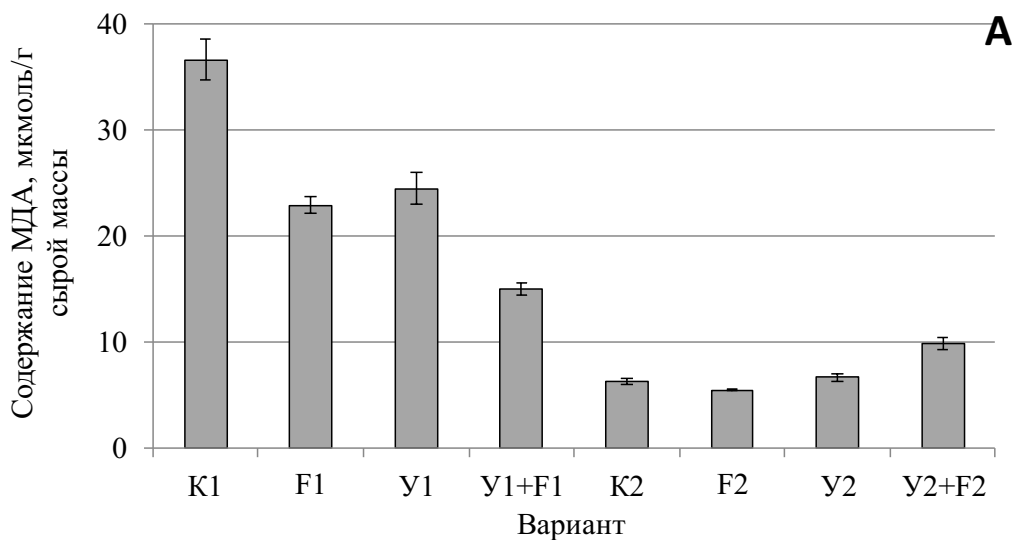
Методы исследования. Мелиссу лекарственную сорта «Лимонный аромат» высаживали параллельно в два субстрата: 1-я серия опыта – грунт садовый (рН = 7,1; С(К₂О) = 9 мг/100 г, С(Р₂О₅) = 141 мг/кг); 2-я серия опыта – торфосмесь для выращивания растений (рН = 5,9, С(К₂О) > 18 мг/100 г, С(Р₂О₅) = 654 мг/кг). Варианты в каждой серии: К – контроль (субстрат без внесения добавок); F – субстрат + *F. culmorum*; У – субстрат + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ»; У+F – субстрат + *F. culmorum* + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ». В обеих сериях опыта растения выращивали при $t = 18 \pm 2$ °С под фитолампой с чередованием режима смены дня и ночи (12 ч/12 ч). Через два месяца в листьях растений мелиссы определяли содержание малонового диальдегида [4], в спиртовой вытяжке (70%-ный этиловый спирт) суммарную антиоксидантную активность методом перманганатометрии [5] и количество фенольных соединений с реагентом Фолина-Чокальтеу [6]. Методики определения веществ были выбраны исходя из их широкого использования и точности получаемых результатов.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате эксперимента, направленного на исследование влияния микромицета *F. culmorum* и удобрения «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ» на антиоксидантную систему мелиссы, установлено, что при равных физических факторах (температура и освещенность) немаловажную роль играет тип субстрата для выращивания. Данный фактор влиял на работу антиоксидантной системы растений (рис. А – В) и на рост растений в целом.

По механическому составу садовый грунт – средний суглинок, торфогрунт – субстрат существенно более рыхлый, с включением не до конца разложившихся растительных фрагментов. Садовый грунт плотнее торфогрунта и беднее элементами питания. К большому накоплению малонового диальдегида и фенольных соединений в растениях привело выращивание мелиссы на садовом грунте (серия 1) по сравнению с аналогичными вариантами серии с торфогрунтом. Добавление микромицета (F1) и удобрения (У1) привело к снижению значений содержания фенольных соединений и малонового диальдегида по сравнению с контролем (К1), в большей степени в варианте с внесением удобрения и микромицета (У1+F1). Фенольные соединения принимают участие во многих биохимических процессах, выполняют широкий спектр функций: структурные, сигнальные и т. д. Эти соединения относятся и к стрессовым метаболитам, синтез которых усиливается при угнетении растения, что предполагает их участие в комплексной защитной реакции. Увеличение содержания фенольных соединений как отклик на окислительный стресс описано и для других растений, например тополя бальзамического [7, с. 160] и яровой пшеницы [8, с. 109].

Иной была реакция антиоксидантной системы мелиссы, выращенной на торфогрунте. По отдельным показателям можно проследить определенные тенденции: некоторое усиление процессов перекисного окисления липидов и суммы антиоксидантов в присутствии удобрения (У2) и микромицета (F2), снижение содержания фенольных соединений по сравнению с контролем (К2), содержание малонового диальдегида и фенольных соединений значительно ниже, чем в аналогичных вариантах с использованием садового грунта. Наибольшая корреляционная взаимосвязь между значениями содержания малонового

диальдегида и фенольных соединений проявилась во второй серии опыта. Между остальными параметрами взаимосвязи не установлено.



Содержание МДА, ФС и суммы антиоксидантов в мелиссе лекарственной:
 К – контроль, F – *F. culmorum*, Y – удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ»,
 Y+F – *F. culmorum* + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ».
 Серии: 1 – грунт садовый, 2 – торфосмесь

Результаты эксперимента показали, что содержание фенольных соединений и суммы антиоксидантов достаточно низкое в растениях обеих серий. Результаты проведенных ранее опытов по выращиванию мяты в комнатных условиях показывают, что содержание фенольных соединений в двухмесячных растениях мяты составило: при 21 °С 7–24 мг галловой кислоты/г и при 29 °С 50–94 мг галловой кислоты/г соответственно [9]. В данном эксперименте содержание фенольных соединений максимально достигало 12 мг галловой кислоты/г, что ниже, чем в предыдущем опыте, в 2–7 раз. При этом содержание малонового диальдегида, по которому можно определить уровень окислительного стресса, в ранее проведенном опыте составило 4–7 мкмоль/г (при 29 °С), в настоящем исследовании (при 18 °С) – от 5 до 35 мкмоль/г сырой массы соответственно [9, с. 56]. Все это указывает на достаточно высокий уровень окислительного стресса и невысокое накопление антиоксидантов в растениях в данном эксперименте.

Самый высокий уровень окислительного стресса испытывали растения контрольного варианта (К1), выращенные на садовом грунте, что подтверждается значениями всех трех показателей. Скорее всего, стресс вызван недостатком элементов питания в почве [10, с. 113]. Внесение удобрения и микромицеллов с культуральной жидкостью, содержащей элементы питания, позволяет улучшить условия роста и снизить уровень стресса. Имеются данные о стимуляции биохимических процессов мяты лекарственной веществами, вырабатываемыми грибами рода *Fusarium* [11, с.89], что могло обусловить снижение окислительного стресса в первой серии опыта.

Выводы:

1. Для выращивания мяты лекарственной сорта «Лимонный аромат» были созданы условия, которые могут быть воссозданы в домашних условиях: использован грунт, реализуемый в продажу для выращивания растений (торфосмесь), и грунт с частного садоводческого участка. В оба субстрата внесено комплексное минеральное удобрение и микромицелл *F. culmorum*. Семена растений посажены в грунт согласно рекомендациям на упаковке. Световой режим создан с помощью фитолампы.

2. Через два месяца выращивания в растениях определена сумма антиоксидантов, содержание малонового диальдегида и фенольных соединений.

3. Существенное влияние на растения оказал тип субстрата. У растений, выращенных на садовом грунте, отмечали проявления достаточно сильного окислительного стресса. Стресс снижался в присутствии удобрения и микромицета, однако все равно остается на высоком уровне, что требует дальнейших исследований. При выращивании на обоих субстратах не удалось получить лекарственное сырье со значениями содержания фенольных соединений, равными литературным данным или превышающими их.

4. Необходимо продолжить поиск условий, позволяющих вырастить растения с высоким содержанием фенольных соединений и отвечающих высокому уровню безопасности при использовании в качестве лекарственного сырья.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» рег. № 1021051202042-2-1.6.19.

Библиографический список

1. Попова Н. В., Литвиненко В. И., Бовтенко В. А. Анализ Melissa лекарственной и котовника кошачьего // Фармаком. 2008. № 4. С. 30–35.
2. Пояркова Н. М., Сапарклычева С. Е. Физиологическая роль фенольных соединений // Аграрное образование и наука. 2019. № 4. С. 14–19.
3. Милевская В. В., Темердашев З. А., Бутыльская Т. С., Киселева Н. В. Определение фенольных соединений в лекарственных растениях семейства Яснотковых // Журнал аналитической химии. 2017. № 3. С. 273–279.
4. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 2002. 208 с.
5. Пат. 2170930. РФ, МПК G01N 33/50. Способ определения антиокислительной активности: № 2000111126/14: заявл. 2000.05.05: опубл. 2001.07.20 / Т. В. Максимова, И. Н. Никулина, В. П. Пахомов и др.; патентообладатель Московская медицинская академия им. И. М. Сеченова.
6. ГОСТ Р 45588-2013 Прополис. Метод определения полифенолов. М. : Стандартинформ, 2020. 9 с.
7. Колтунов Е. В. Влияние стволовой гнили на фенольные соединения в листьях тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях урбанизации // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 155–161.
8. Осокина Н. В. Морфофизиологические реакции яровой тритикале и грибов рода *Fusarium* L. на воздействие регуляторов роста : дис. канд. биол. наук. М. : МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. 135 с.
9. Гущина П. И., Скугорева С. Г., Благодатских Я. Ю., Даровских Л. В. Влияние микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов на состояние антиоксидантной системы

Melissa officinalis L. // Сборник V Международной научно-практической конференции «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов». Екатеринбург, 2021. 208 с.

10. Хапугин И. А. Влияние минеральных удобрений на продуктивность Melissa лекарственной в условиях Юга нечерноземной зоны России : дис. ... канд. с-х. наук. Саранск, 2020. 225 с.

11. Рябчинская Т. А., Зимина Т. В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агротехнология. 2017. № 12. С. 62–92.

Получение композиций на основе биополимеров

А. Д. Краев^a, А. А. Бурков^b, Д. А. Бояринцев^c

аспирант группы ХТа-1501-03-00, старший лаборант кафедры ХТПП^a

кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП^b

студент группы ХТб-4501-07-00^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская федерация^{a, b, c}

E-mail: usr21900@vyatsu.ru^a, aa_burkov@vyatsu.ru^b, stud106664@vyatsu.ru^c

Аннотация. В настоящее время растет количество различных экологических проблем. Одной из главных проблем является производство полимеров из невозобновляемых источников, таких как нефть и газ, что, в свою очередь, приводит к постоянному истощению природных ресурсов. В связи с высокой устойчивостью синтетических полимеров актуальной стала проблема предотвращения загрязнения окружающей среды материалами, время разложения которых в естественных условиях значительно превышает продолжительность жизни человека. Решать данную проблему можно биоразлагаемыми пластмассами. Одним из самых многообещающих биоразлагаемых пластиков является полилактид. Основное преимущество полилактида в том, что при его изготовлении используется сырье из возобновляемых ресурсов – кукурузы или сахарного тростника. Целью данной работы является разработка рецептуры биоразлагаемого материала на основе полилактида и натурального каучука, который по свойствам будет похож на динамический термоэластопласт. Для достижения цели предлагается использовать в качестве вулканизирующего агента пероксид и провести динамическую вулканизацию эластомерной фазы смесевой композиции. В данной работе были получены композиции полилактида и натурального каучука в соотношении 50 на 50 с использованием органического пероксида Luperox F40. Разработаны два режима смешения: с предварительным распределением и без предварительного распределения пероксида в каучуке. Подобран режим смешения: при 180 °С в течение 20–22 минут в микросмесителе типа «Брабендер». Для полученных материалов были определены физико-механические характеристики, выбраны оптимальные рецептуры и режимы смешения. Областью применения результатов данной композиции является производство биоразлагаемого динамического термоэластопласта на основе полилактида и натурального каучука.

Ключевые слова: полилактид, натуральный каучук, динамическая вулканизация, пероксид, физико-механические свойства.

Введение. В современном обществе использование пластика довольно распространено. Мебель, детали машины, упаковочные материалы, оборудование и предметы быта – все это состоит из полимеров. Популярность продукции из пластика объяснима – это удобство, низкая цена, простота в использовании. Известно, что большой процент всех полимеров производится из нефти, газа или угля. В результате разложения полимеров в окружающую среду выделяется большое количество токсичных веществ, загрязняющих природу. Существуют некоторые способы решения данной проблемы: переработка, повторное использование и производство биоразлагаемых пластиков [3].

Биоразрушаемые полимеры отличаются от других пластмасс тем, что разлагаются в окружающей среде под действием факторов среды и микроорга-

низмов. Преимуществами использования биоразлагаемых полимеров являются возможность перерабатывать их как традиционные полимеры, быстрая разлагаемость в определенных условиях без вреда для окружающей среды.

Чаще всего в качестве биоразлагаемого полимера используется полилактид (ПЛА), так как он из всех биополимеров самый дешевый, легко перерабатываемый, при деградации не выделяет вредных веществ. Это перспективный материал, который поможет решить острую проблему утилизации отходов. Низкая токсичность, наряду с хорошими экологическими характеристиками, сделала ПЛА идеальным материалом для упаковки продуктов и других потребительских товаров [4]. Для получения материала, близкого по характеристикам к термоэластопластам, было предложено использовать смеси ПЛА с натуральным каучуком (НК).

Целью работы является получение композиции ПЛА и НК с использованием динамической вулканизации. Задачами исследования являются подбор оптимального режима смешения, подбор дозировок компонентов, оценка механических свойств композиций.

Методы исследования. Перед проведением смешения подготовили НК. Из-за высокой молекулярной массы природный каучук имеет низкую пластичность, что затрудняет его переработку. Для того чтобы устранить этот недостаток, нужно подвергнуть каучук пластикации. В данной работе пластикацию проводили на резиносмесительных вальцах при 80 °С в течение 7 минут.

В работе использовали ПЛА марки Ingeo™ Biopolymer 4043D. ПЛА сушили при 105 °С в течение 24 часов [1].

Проводили два вида смешения: с предварительным распределением пероксида в НК и без распределения. Были получены композиции ПЛА и НК в соотношении 50 на 50 масс.ч. с различным содержанием пероксида.

В ходе работы был выбран наиболее оптимальный порядок смешения: производили нагревание резиносмесителя до 180 °С, вводили ПЛА, в течение минуты он плавился, далее добавляли антиоксидант и смешивали еще 2 минуты. К данной смеси добавляли НК, распределяли его в течение 10 минут. По истечении времени добавили пероксид и распределяли примерно 10 минут. После

выгрузки смесь охлаждалась, для получения образцов в виде лопаток использовали литьевую машину. Для удобства использования были введены маркировки составов, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Маркировка образцов

Маркировка образцов	Состав
50/50 ПЛА/НК 0П	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 0 масс.ч. – пероксид Luperox F40.
50/50 ПЛА/НК 2П	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 2 масс.ч. – пероксид Luperox F40.
50/50 ПЛА/НК 4П	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 4 масс.ч. – пероксид Luperox F40.
50/50 ПЛА/НК 6П	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 6 масс.ч. – пероксид Luperox F40.
50/50 ПЛА/НК 2П 1МА	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 0 масс.ч. – пероксид Luperox F40, 1 масс.ч. – малеиновый ангидрид
50/50 ПЛА/НК 2П 1МА (без распределения)	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 0 масс.ч. – пероксид Luperox F40, 1 масс.ч. – малеиновый ангидрид. Без проведения предварительного распределения пероксида в каучуке
50/50 ПЛА/НК 2П 1МА (с распределением)	ПЛА – 50 масс.ч., НК – 50 масс.ч., 0 масс.ч. – пероксид Luperox F40, 1 масс.ч. – малеиновый ангидрид. С предварительным распределением пероксида в каучуке

Результаты исследований, их обсуждение. Для всех образцов были проведены испытания на физико-механические свойства. Испытания проводились на универсальной испытательной тест-машине серии Shimadzu Autograph AGS-X 5KN со скоростью 100 мм/мин. Результаты испытания представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты испытания образцов,
полученных без предварительного распределения**

Образец	Относительное удлинение при разрыве, %	Условная прочность при растяжении, МПа
50/50 ПЛА/НК 0П (без распределения)	13,6	11,7
50/50 ПЛА/НК 4П (без распределения)	23,7	13,1

Как видно из данных табл. 2, введение пероксида улучшает физико-механические свойства. Для лучшего диспергирования ингредиентов решили предварительно распределить пероксид в фазе НК при 60 °С в течение 10 минут [5]. Смешение композиции проходило при 180 °С. Сначала вводили в смеситель ПЛА, затем антиоксидант, в конце вводили НК с предварительно распределен-

ным пероксидом, смешивали в течение 15 минут [1]. Физико-механические свойства материалов представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов,
полученных с предварительным распределением**

Образец	Относительное удлинение при разрыве, %	Условная прочность при растяжении, МПа
50/50 ПЛА/НК 0П (с распределением)	13,6	11,7
50/50 ПЛА/НК 2П (с распределением)	57,4	13,4
50/50 ПЛА/НК 4П (с распределением)	68,4	14,4
50/50 ПЛА/НК 6П (с распределением)	30,9	17,5

Как видно из данных табл. 3, введение пероксида с предварительным распределением в фазе НК улучшает физико-механические свойства еще в большей степени. В части относительного удлинения при разрыве наилучшие показатели демонстрируют образцы с содержанием пероксида 2 и 4 масс.ч.

Также было принято решение получить смеси с добавлением малеинового ангидрида (МА) в качестве компатибилизатора. Смешение производилось в следующей последовательности: плавление ПЛА (в течение 1 минуты), смешение с антиоксидантом (3 минуты), ввод НК с пероксидом и смешение в течение 10 минут, ввод малеинового ангидрида и смешение еще в течение 10 минут [6]. Физико-механические свойства материалов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов, полученных с использованием МА

Образец	Относительное удлинение при разрыве, %	Условная прочность при растяжении, МПа
50/50 ПЛА/НК 0П 1МА	15,9	10,2
50/50 ПЛА/НК 2П 1МА	29,4	13,7
50/50 ПЛА/НК 4П 1МА	18,5	14,1
50/50 ПЛА/НК 6П 1МА	9,2	14,2

В ходе этого испытания установлено, что введение МА не приводит к улучшению физико-механических характеристик.

Также стоит отметить, что полученные материалы внешне отличались тем, что с предварительным распределением пероксида в НК композиция была более однородная.

Если сравнивать материалы с предварительным распределением и без распределения пероксида в НК, то прочность образцов практически не изменилась, а относительное удлинение у материалов с предварительным распределением увеличилась в 3 раза. Наилучшие свойства показала композиция с дозировкой пероксида 4 массовые части.

Выводы. Таким образом, была получена композиция ПЛА и НК с использованием органического пероксида Luperox F40. Были исследованы два метода смешения, и выявлен оптимальный режим – с предварительным распределением пероксида в каучуке. Определена дозировка пероксида 4 массовые части, при которой смесь имеет наивысшие физико-механические свойства. Путем исследования механических свойств, оценки степени равновесного набухания показана возможность существенного улучшения характеристик материалов с помощью динамического сшивания эластомерной фазы. Полученные результаты будут служить основой для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Huang Y. et al. Study on the effect of dicumyl peroxide on structure and properties of poly (lactic acid)/natural rubber blend // *Journal of Polymers and the Environment*. 2013. Vol. 21. № 2. Pp. 375–387. URL: <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0544-0> (published: 07.11.2012).
2. Mongkolvai A. et al. Preparation and properties of poly (lactic acid)/epoxidized natural rubber/nano-silica composites // *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd, 2018. Vol. 773. Pp. 20–24. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.773.20> (published: 06.06.2018).
3. Tábi T., Hajba S. Cross effect of natural rubber and annealing on the properties of poly (lactic acid) // *Periodica polytechnica-mechanical engineering*. 2019. Vol. 64. № 4. Pp. 270–277. URL: <https://doi.org/10.3311/PPme.12825> (published: 30.05.2019).
4. Tanrattanakul V., Jaratrotkamjorn R., Juliwanlee W. Effect of maleic anhydride on mechanical properties and morphology of poly (lactic acid)/natural rubber blend // *Mater Sci Forum*. 2019. Vol. 819. Pp. 284–289. URL: <https://doi.org/10.1007/PPme.14635> (published: 04.19.2019).
5. Zhang C. et al. Enhanced ductility of polylactide materials: Reactive blending with pre-hot sheared natural rubber // *Journal of Polymer Research*. 2013. Vol. 20. № 4. Pp. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1007/s10965-013-0121-9> (published: 14.03.2013).
6. Zheng M. et al. Structure evolution of bio-based PLA/ENR thermoplastic vulcanizates during dynamic vulcanization processing // *Polymer Testing*. 2020. Vol. 82. P. 106324. URL: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106324> (published: 07.02.2020).

Способы придания гидрофильности мембранам на основе поливинилиденфторида

И. С. Краева^a, С. В. Фомин^b, Е. С. Широкова^c, О. В. Елькин^d,
И. В. Толстобров^e, А. Н. Бушуев^f

аспирант группы ХТа-2501-03-00, инженер центра компетенций «Полимерные материалы»^a

кандидат технических наук, проректор^b

кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПП^c

кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник центра компетенций

«Экологические технологии и системы» ВятГУ^d

младший научный сотрудник центра компетенций

«Экологические технологии и системы» ВятГУ^{e, f}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d, e, f}

E-mail: stud127067@vyatsu.ru^a, rubber@vyatsu.ru^b, usr06779@vyatsu.ru^c, ov_elkin@vyatsu.ru^d,

usr08669@vyatsu.ru^e, usr08083@vyatsu.ru^f

Аннотация. В настоящее время фторполимерные материалы используются в различных сферах деятельности человека, так как обладают уникальными свойствами: высокой температурной стабильностью, химической стойкостью, повышенными диэлектрическими свойствами, механической прочностью, биологической инертностью и т.д. Перспективным фторполимерным материалом в области мембранных технологий является поливинилиденфторид. Мембраны из поливинилиденфторида эффективны для очистки вод от крупных коллоидных частиц, бактерий, простейших микроорганизмов, эмульгированных нефтепродуктов и т. п. Однако при использовании мембран из поливинилиденфторида для очистки водных сред существует ряд ограничений, связанных с низким уровнем смачиваемости мембраны водными растворами (низкая гидрофильность), а также с ее биообрастанием, что ведет к засорению пор, снижению проницаемости и сокращению срока службы мембраны. В настоящей работе для придания гидрофильности мембранам на основе поливинилиденфторида, полученных методом «замораживания», использован раствор «Пиранья». В результате обработки мембраны данным раствором на ее поверхности появляются гидроксильные группы. Повышение гидрофильности подтверждено снижением краевого угла смачивания по воде для обработанных в растворе «Пиранья» образцов мембран. При этом значения краевого угла смачивания при различной продолжительности обработки имеют сопоставимые значения, что может свидетельствовать о том, что уже при продолжительности обработки 10 минут реакция протекает практически полностью и количество гидроксильных групп на поверхности мембраны не увеличивается с повышением продолжительности обработки. Данные материалы могут найти применение в области мембранных технологий в системе очистки вод.

Ключевые слова: мембраны, фторполимерные материалы, поливинилиденфторид, краевой угол смачивания, гидрофильность.

Введение. Вода является как ценным природным ресурсом, так и основой всего живого. Потребности в ней с каждым годом возрастают, и дефицит пресной воды увеличивается. Процесс очистки воды при помощи мембранных технологий представляет огромный интерес как эффективный с точки зрения экономики и экологии.

Для изготовления мембран применяются различные полимерные материалы; особую группу среди материалов для производства мембран занимают

фторполимеры, а среди них наиболее широко используемым является поливинилиденфторид (ПВДФ).

ПВДФ широко используется [2] для мембран в системе очистки вод из-за своей доступности, легкости в обращении, механической прочности и биологической инертности. Благодаря способности растворяться в полярных растворителях (диметилформамиде, диметилсульфоксиде, тетрагидрофуране и др.) для формирования мембран могут быть использованы разнообразные технологии: инверсия фаз, полив из раствора, электроспиннинг и другие [5].

Однако использование ПВДФ мембран для очистки водных сред сталкивается с рядом ограничений, связанных с низким уровнем смачиваемости мембраны водными растворами, а также с ее биообрастанием, что ведет к засорению пор, снижению проницаемости и сокращению срока службы мембраны.

Преодолеть данные ограничения можно, повысив гидрофильность поверхности мембран на основе ПВДФ. Это можно сделать прививкой на поверхность мембраны функциональных групп или путем нанесения специального покрытия.

Нанесение специального тонкого гидрофильного слоя (покрытия) на поверхность мембраны является простейшим способом временного повышения гидрофильности. Для этого наиболее часто используют раствор поливинилового спирта (с последующим формированием химической связи), поливинилпирролидон, полиэтиленгликоль и глицерин [4].

Основной проблемой таких покрытий является нестабильность слоя во времени: он может быть удален (смыт) в процессе эксплуатации и/или очистки мембраны из-за относительно слабого взаимодействия между мембраной ПВДФ и самим слоем покрытия [4]. При нанесении такого слоя наблюдается снижение водопропускания, хотя гидрофильность и устойчивость к биообрастанию могут быть в некоторой степени улучшены.

Прививка на поверхность мембраны функциональных групп считается одним из наиболее перспективных методов придания ей специфических свойств: гидроксильные группы стабильны и обеспечивают длительную рабо-

тоспособность мембраны, имеется возможность точно контролировать структуру функциональной группы. Однако степень прививки может быть ограничена из-за низкой скорости реакции связывания. Кроме того, данный метод сложен для промышленного применения [4].

Для придания гидрофильности могут быть привиты такие функциональные группы, как гидроксильные, сульфонильные [4], карбоксильные, карбонильные, аминогруппы и др.

Цель исследования – придание гидрофильности поверхности мембран на основе ПВДФ с использованием раствора «Пиранья». В результате обработки мембраны данным раствором [6] на ее поверхности возникают гидроксильные группы [1], которые будут повышать гидрофильность поверхности.

Задачами исследования являются апробация методики повышения гидрофильности мембран на основе ПВДФ, полученных методом «замораживания», а также проведение оценки краевого угла смачивания поверхности мембраны и его изменение во времени для образцов с различной продолжительностью обработки раствором «Пиранья».

Методы исследования. Объектами исследования являлись ПВДФ марки Ф-2М (ООО «ГалоПолимер», Россия) и диметилсульфоксид (ДМСО) (АО «Вектон», Россия) квалификации «химически чистый» в качестве растворителя.

Мембраны получали из 25%-го раствора ПВДФ в диметилсульфоксиде методом «замораживания» по методике, описанной в [6].

Для активации поверхности мембран был использован раствор «Пиранья». Раствор готовили путем осторожного смешения 30 мл концентрированной серной кислоты (ООО «Сигма ТЕК», Россия), квалификации «химически чистый», и 20 мл медицинской перекиси водорода (АО «Вектон», Россия), полученный раствор был доведён до 250 мл дистиллированной водой. Для улучшения смачиваемости раствором «Пиранья» мембраны перед обработкой пятикратно погружались в этиловый спирт. Затем мембраны размещали в свежеприготовленный раствор «Пиранья» при температуре (23 ± 2) °С. После выдержки образцы промывались дистиллированной водой и вновь пятикратно погружа-

лись в этиловый спирт. Полученные мембраны хранились в дистиллированной воде.

Для оценки гидрофильности проводилось измерение краевого угла смачивания по воде поверхности мембраны и его изменение во времени. Исследование проводилось с помощью цифрового микроскопа марки U1600x (Espada, Россия).

Результаты исследований, их обсуждение. Мембраны ПВДФ были обработаны раствором «Пиранья» в течение 10, 20 и 30 минут. Углы смачивания поверхности мембраны и их изменение во времени для образцов с различной продолжительностью обработки раствором «Пиранья» представлены на рис. 1.

Как можно видеть, после обработки раствором «Пиранья» наблюдается уменьшение краевого угла смачивания (в начальный момент времени) с 82° для необработанной мембраны до 71° для мембраны, обработанной раствором «Пиранья» в течение 20 минут, что однозначно свидетельствует о повышении гидрофильности поверхности.

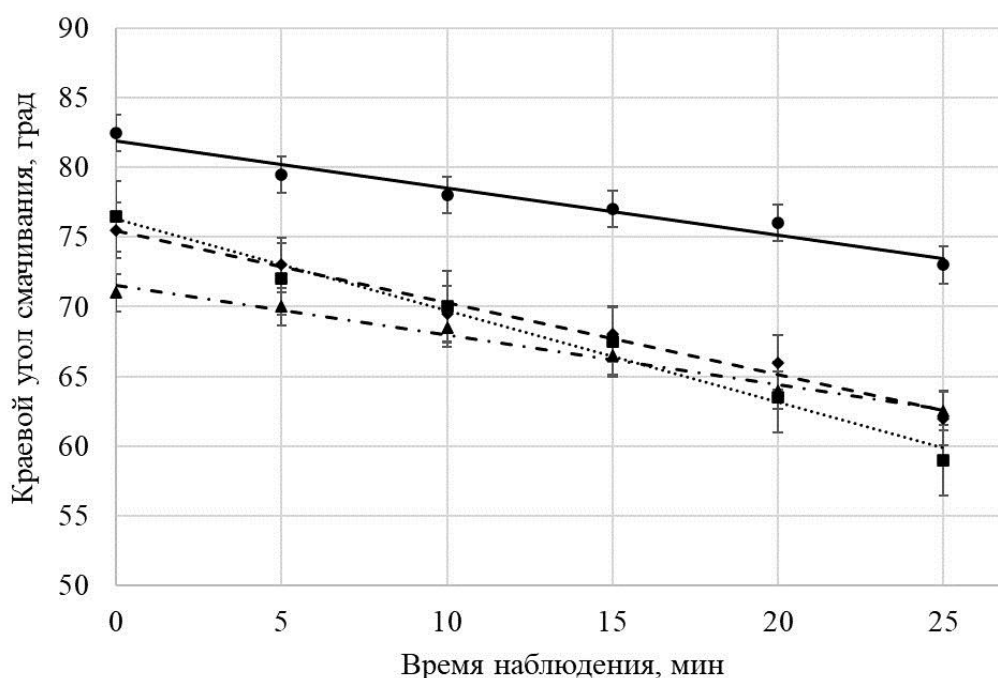


Рис. 1. Краевые углы смачивания поверхности мембраны и их изменение во времени для образцов с различной продолжительностью обработки раствором «Пиранья»:
● – необработанная ($R^2 = 0,9594$), ◆ – 10 минут ($R^2 = 0,9848$), ▲ – 20 минут ($R^2 = 0,984$),
■ – 30 минут ($R^2 = 0,9838$)

Выводы. Апробирована методика повышения гидрофильности мембран на основе ПВДФ, полученных методом замораживания, обработкой раствором «Пиранья». Показано, что обработка реактивом «Пиранья» – это легко осуществимый и эффективный метод регулирования гидрофильности мембран на основе ПВДФ.

Проведена оценка краевого угла смачивания поверхности мембраны и его изменение во времени для образцов с различной продолжительностью обработки раствором «Пиранья».

Однозначно показано, что при обработке раствором «Пиранья» происходит снижение краевого угла смачивания (увеличение гидрофильности). При этом значения краевого угла смачивания при различной продолжительности обработки имеют сопоставимые значения. Это может свидетельствовать о том, что уже при продолжительности обработки 10 минут процесс модификации поверхности протекает практически полностью и количество гидроксильных групп на поверхности мембраны не увеличивается с повышением продолжительности обработки.

Библиографический список

1. Al-Gharabli S. et al. Functional groups docking on PVDF membranes: Novel Piranha approach // *European Polymer Journal*. 2017. Vol. 96. Pp. 414–428. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.09.029> published: (01.11.2017).
2. Ebnesajjad S. *Fluoroplastics Plastics Design Library. Volume 2: Melt Processible Fluoropolymer*. 2015. 370 p.
3. Ebnesajjad S. *Introduction to fluoropolymers: materials, technology, and applications*. William Andrew, 2020. 405 p.
4. Jin Ran, Liang Wu, Zhenghui Zhang, Tongwen Xu Atom transfer radical polymerization (ATRP): A versatile and forceful tool for functional membranes // *Progress in Polymer Science*. 2014. Vol. 39. Is. 1. Pp. 124–144. URL: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.09.001> published: (01.01.2014).
5. Liu F. et al. Progress in the production and modification of PVDF membranes // *Journal of membrane science*. 2011. Vol. 375. № 1–2. Pp. 1–27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.014> published: (15.06.2011).
6. Широкова Е. С., Созинов П. А., Черепанова В. А. и др. «Зелёный» метод получения мембран для микрофльтрации на основе поливинилиденфторида // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. №. 4. С. 64–70.

Исследование коррозионной активности стали марки Ст3 в высококонцентрированных солевых растворах

В. А. Лихачев^a, М. А. Тупицын^b, С. С. Стариков^c

кандидат химических наук, доцент кафедры ТЭП^a

студент группы ХТм-2502-02-00^b

ведущий инженер-химик^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

Филиал «КЧХК» «АО ОХК Уралхим»^c

E-mail: lihachev@vyatsu.ru^a, stud123914@vyatsu.ru^b, stepan.starikov@uralchem.com^c

Аннотация. Сталь марки Ст3 является одним из наиболее распространенных видов сталей в производстве трубного проката, контактирующего с самыми разнообразными технологическими растворами. Актуальной задачей является оценка скорости коррозии стали Ст3 в конкретных промышленных средах и разработка методов снижения такой коррозии. В данной работе приведено исследование коррозионной активности стали марки Ст3 в концентрированном растворе нитрата и хлорида кальция с плотностью 1,6 г/см³ с добавлением одного из дешевых и распространенных ингибиторов коррозии – уротропина в различной концентрации. С помощью метода графического анализа катодных и анодных поляризационных кривых (метода экстраполяции) определена скорость коррозии стали Ст3 в высококонцентрированном солевом растворе, показано снижение скорости коррозии при введении ингибитора и определена оптимальная концентрация исследуемого ингибитора.

Ключевые слова: сталь 3, скорость коррозии, поляризационные кривые.

Введение. Сталь марки Ст3 является одним из наиболее распространенных видов сталей в производстве трубного проката. Данные трубы применяются в разных сферах деятельности и в процессе работы могут взаимодействовать с разнообразными средами, включая высококонцентрированные растворы солей. Подобные высококонцентрированные солевые растворы обладают высокими показателями плотности и вязкости и применяются в разных отраслях промышленности. Актуальной задачей является оценка скорости коррозии стали Ст3 в конкретных солевых средах и разработка методов снижения такой коррозии. Для защиты от коррозии в солевых средах применяются разнообразные ингибиторы коррозии, одним из самых простых и распространенных является уротропин.

Среди множества методов определения коррозии обработка поляризационных кривых (метод экстраполяции) является наиболее быстрым способом определения скорости коррозионного разрушения. Данный способ применим в случае отсутствия концентрационных изменений и образования фазовых и адсорбционных слоев [1]. Его обычно применяют при отсутствии коррозии с кис-

лородной деполяризацией в кислотах с общей и равномерной коррозией. В высококонцентрированных солевых растворах растворимость кислорода невелика, что и делает возможным применение метода экстраполяции для исследования скорости коррозии в этих растворах.

Целью данной работы является определение скорости коррозии стали Ст3 в высококонцентрированных растворах солей и подбор оптимального диапазона концентрации ингибитора.

Методы исследования. Измерения проводили при помощи потенциостата Elins PX-40 с программным обеспечением ES8 на образцах стали 3 площадью 0,25 см². Нерабочая часть электрода изолировалась эпоксидной смолой ЭД-20.

Перед снятием кривых рабочая часть электрода зачищалась шлифовальной бумагой так, чтобы поверхность всегда была идентичной. Испытания проводили в стандартной трехэлектродной стеклянной ячейке с рубашкой при температуре 25 °С. В качестве вспомогательного электрода использовали платиновый электрод с площадью поверхности 2 см², в качестве электрода сравнения – насыщенный хлорсеребряный электрод (потенциал – +0,2В по НВЭ).

Конструкцией ячейки предусмотрено соединение пространств вспомогательного и хлорсеребряного электродов с пространством исследуемого электрода. Хлорсеребряный электрод соединяли с ячейкой с помощью капилляра Луггина через систему «мост». Для платинового электрода соединение модельного раствора осуществляли через мембрану из перфорированного стекла.

В пространство хлорсеребряного электрода, отделенное от рабочего раствора системой «мост», заливали насыщенный раствор хлористого калия (для приготовления раствора использовали реактивный калий хлористый марки «ХЧ», выпускаемый в соответствии с ГОСТ 4234-77).

После погружения образца в раствор проводили измерение потенциала исследуемого металла в режиме «вольтметр» в течение 0,5 часа. Установившееся значение потенциала принимали за потенциал свободной коррозии ($E_{кор}$). Далее включали линейную развертку потенциала со скоростью 1 мВ/с в анод-

ном направлении. По завершении снятия анодной поляризационной кривой снималась кривая в катодном направлении с той же скоростью развертки потенциала.

Растворы для исследований готовились на дистиллированной воде с использованием сухих солей $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (ГОСТ 4142-77) и CaCl_2 (ГОСТ 450-77).

После снятия обеих кривых данные обрабатывались в программе Microsoft Excel, и строился полулогарифмический график зависимости потенциала от логарифма тока как для анодной, так и для катодной поляризационных кривых. На полученных кривых находились линейные участки и проводилась их экстраполяция до пересечения при потенциале коррозии. По точке пересечения определялся логарифм тока коррозии. Из величины определенного тока коррозии определялась плотность тока коррозии, а далее массовый и глубинный показатели коррозии.

Скорость коррозии массовая определялась по формуле (отрицательный показатель изменения массы K_m , скорость убыли массы):

$$K_m = \frac{I_{\text{корр}} \cdot M}{nF} [\text{г/см}^2 \cdot \text{с}],$$

где $I_{\text{корр}}$ – плотность коррозионного тока, А/см²; M – молярная масса металла, г/моль ($M_{\text{Fe}}=56$ г/моль); n – валентность металла; F – константа Фарадея 96500 А·с/моль.

Результаты исследований, их обсуждение. Снятие анодных и катодных поляризационных кривых проводилось в концентрированном растворе нитрата и хлорида кальция с плотностью 1,6 г/см³ с соотношением $\text{CaCl}_2:\text{Ca}(\text{NO}_3)_2:\text{H}_2\text{O}$ равным 1:1,03:1,54. с добавлением ингибитора коррозии уротропина в различной концентрации: 0, 0,5%, 1% и 1,5%. Для каждого раствора поляризационные кривые для оценки воспроизводимости снимались не менее трех раз.

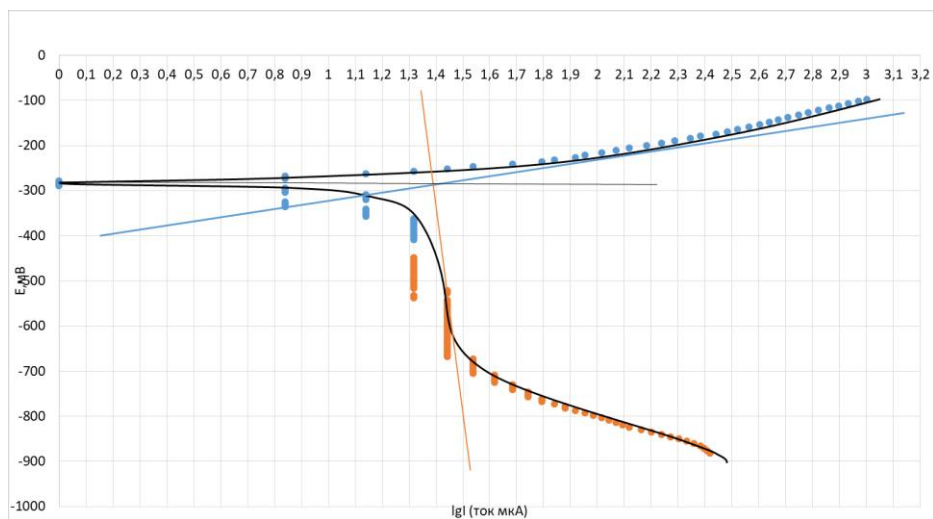


Рис. 1. Экспериментальная коррозионная диаграмма трубной стали Ст3 в концентрированном растворе солей без добавления ингибитора

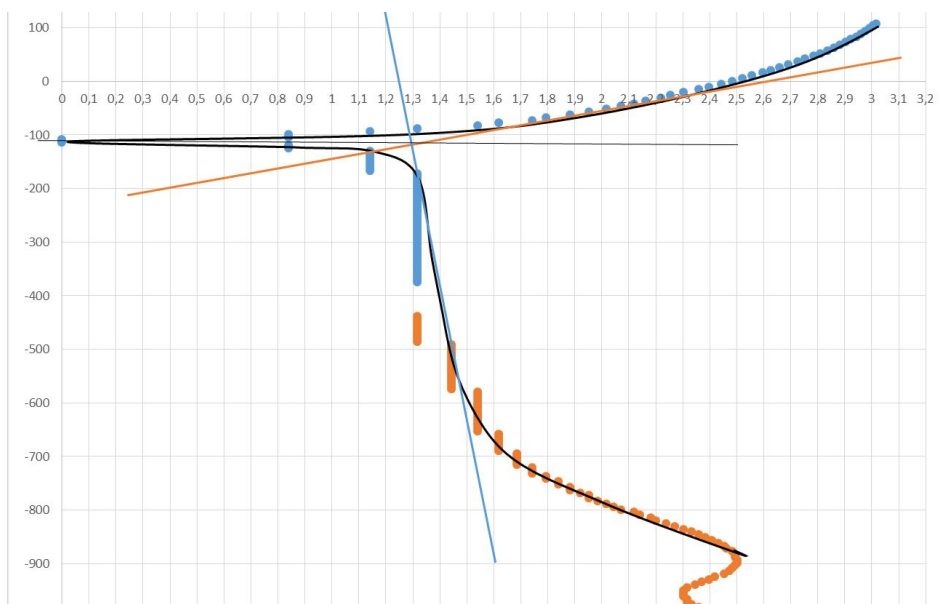


Рис. 2. Экспериментальная коррозионная диаграмма трубной стали Ст3 в концентрированном растворе солей с добавлением ингибитора коррозии (уротропин С = 0,5%)

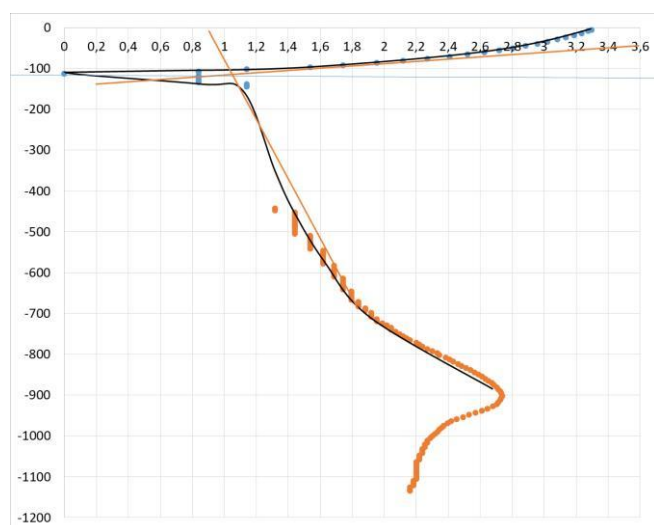


Рис. 3. Экспериментальная коррозионная диаграмма трубной стали Ст3 в концентрированном растворе солей с добавлением ингибитора коррозии (уротропин С = 1,0%)

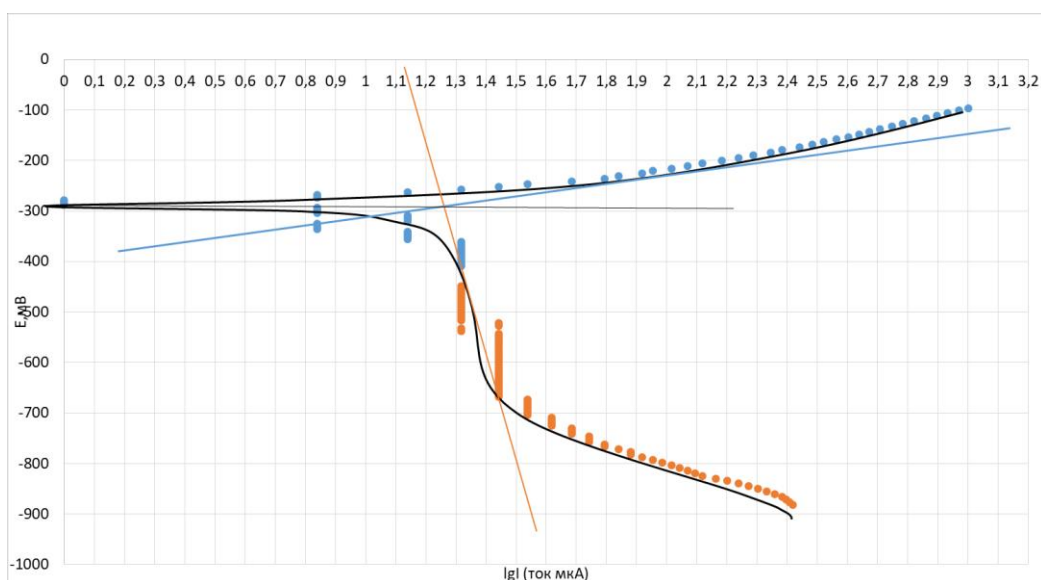


Рис. 4. Экспериментальная коррозионная диаграмма трубной стали Ст3 в концентрированном растворе солей с добавлением ингибитора коррозии (уротропин С = 1,5%)

На рис. 1–4 приведены средние катодные и анодные поляризационные кривые, построенные в полулогарифмических координатах для четырех исследованных растворов без ингибитора и с различной концентрацией ингибитора. Воспроизводимость кривых отмечена на рисунках, на рисунках показана также экстраполяция линейных участков поляризационных кривых. Потенциалы электродов на коррозионных диаграммах приведены относительно насыщенного хлорсеребряного электрода.

Некоторые характеристики коррозионного процесса, определенные при обработке коррозионных диаграмм, представленных на рис. 1–4, приведены в таблице.

Скорость коррозии в солевых растворах с добавлением ингибитора и без него

Концентрация ингибитора, % масс.		0%	0,5%	1,0%	1,5%
Величина стационарного потенциала коррозии, мВ	Хлорсеребряный электрод	-290	-125	-105	-250
	Н.В.Э	- 90	+75	+ 95	-50
Логарифм тока коррозии мкА		1,4	1,3	1,05	1,25
Ток коррозии мкА		25,1	20,0	11,2	17,8
Плотность тока коррозии, мкА/см ²		100,4	80	44,8	71,2
Скорость коррозии, г/м ² *ч		1,05	0,83	0,47	0,74
Скорость коррозии, мм/год		1,17	0,93	0,52	0,83

Из таблицы видно, что в исследованных солевых средах скорость коррозии стали Ст3 достаточно высока: балл 8, группа стойкости – малостойкие [2]. Потенциал коррозии Ст3 при добавлении ингибитора смещается в положительную сторону, что говорит о том, что данный ингибитор пассивирует поверхность стали. Введение ингибитора в солевой раствор в исследованных концентрациях приводит к уменьшению скорости коррозии, меняется балл и группа стойкости. Однако уменьшение скорости коррозии не очень существенно.

Выводы. Из полученных данных можно сделать вывод о наибольшей эффективности ингибитора уротропин в диапазоне концентрации близкой к 1% по отношению к общей массе раствора.

Библиографический список

1. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии : пер. с болг. / пер. С. И. Нейковского; под ред. и с предисл. Н. И. Исаева. М. : Мир, 1982. 520 с.
2. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости: принят 31.10.1985: действ. с 1.01.1987. М., 1999. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Особенности кристаллической структуры наночастиц сульфида кадмия

В. П. Смагин^a, Е. В. Игнатов^b

доктор химических наук, профессор кафедры ТБиАХ^a

студент группы 682^b

Алтайский государственный университет, Барнаул, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: smaginv@yandex.ru^a, evgeniy.ignatov2000@yandex.ru^b

Аннотация. В работе представлен анализ особенностей кристаллической структуры наночастиц сульфида кадмия, полученных в неводных малополярных средах органических растворителей с применением серосодержащих органических сульфидизаторов. Исследование полученных кристаллических фаз осуществлялось методами ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа. Путем анализа расположения рефлексов на дифрактограммах веществ делались выводы об особенностях кристаллической структуры синтезированных наночастиц. Авторами обсуждается специфика рефлексов на дифрактограммах наноструктурированного сульфида кадмия и дается объяснение наблюдаемых особенностей дифракционной картины наночастиц сульфида кадмия. Высказывается предположение о том, что кристаллическая структура сульфида кадмия является размерно-зависимым свойством; наноструктурированный сульфид кадмия обладает особой структурой, отличной от структур его крупнокристаллических фаз. По данным рентгеновских исследований полученных фаз определены средние размеры кристаллитов, имеющих особую кристаллическую структуру.

Ключевые слова: сульфид кадмия, дифрактограммы, кристаллическая структура.

Известно, что уменьшение размеров частиц вещества до наноуровня вызывает изменение некоторых свойств системы, таких как оптические, магнитные, химические и другие [1]. При достижении наноразмеров большую роль начинает играть поверхность частиц, что связано с ростом доли поверхностных атомов с нескомпенсированными химическими связями. Это может приводить к изменению кристаллического строения наноразмерного вещества по сравнению с его крупнокристаллическим состоянием.

Интерес к изучению наноразмерных полупроводниковых структур вызван перспективами применения таких соединений в оптоэлектронике, лазерной технике, в биологии и медицине [2]. Высокая фотостабильность, широкая полоса поглощения, узкая полоса эмиссии определяют основные преимущества наноразмерных флуорофоров.

Для полупроводниковых кристаллов, к которым относится и сульфид кадмия CdS, электронное возбуждение приводит к образованию электронно-дырочной пары – экситона. Область делокализации экситона может значительно превышать период кристаллической решетки полупроводникового кристал-

ла. Вследствие этого наноразмерные кристаллы полупроводниковых материалов, размеры которых сравнимы с размерами экситона, проявляют особые интересные свойства [3].

Важную роль в изучении наноразмерных полупроводниковых кристаллов играет зависимость люминесцентных, структурных и некоторых других свойств системы от размера частиц, известная как размерно-зависимый эффект. Это позволяет регулировать свойства вещества (ширина запрещенной зоны, «цвет» люминесценции и др.), изменяя размер частиц.

Размерная зависимость и основные закономерности фотолюминесценции нанокристаллов сульфида кадмия довольно широко обсуждаются в литературе [4]. Известно, что фотолюминесценция CdS проявляется в коротковолновой и длинноволновой видимой областях спектра и обусловлена экситонным механизмом рекомбинации электронов и дырок и дефектными состояниями кристаллов соответственно. Однако особенности кристаллической структуры CdS в наноразмерном состоянии, вызванные нескомпенсированностью химических связей поверхностных атомов, изучены недостаточно, хотя имеют большое значение для практического применения.

Крупнокристаллический сульфид кадмия имеет структуру сфалерита и вюрцита [5]. Структура сфалерита представляет собой плотнейшую кубическую упаковку, в которой слои располагаются нормально к четырем полярным направлениям гранцентрированной кубической решетки. Структура вюрцита описывается гексагональной плотнейшей упаковкой, в которой слои расположены нормально к единичному полярному направлению.

В некоторых работах обсуждаются особенности кристаллического строения наноразмерного CdS [6]. Если рентгенограммы нанокристаллов имеют ярко выраженные черты фаз сфалерита и вюрцита, то наиболее часто результат представляется в виде аппроксимации суммой спектров от обеих фаз с учетом их парциального содержания.

Однако высказывается сомнение о принадлежности наноразмерного CdS к смеси его крупнокристаллических фаз [7]. Авторы предполагают, что струк-

тура наноразмерного сульфида кадмия является особой политипной неупорядоченной структурой, лишенной трансляционной симметрии.

Так, в работе [7] наноразмерный CdS был получен методом химического осаждения из водных растворов солей кадмия. С помощью алгоритмизации кинематической формулы Дебая предложен метод расчета дифракционных спектров нанопорошков CdS. Структура сульфида кадмия описывается авторами как разупорядоченная структура, отличная от структур сфалерита и вюрцита. Данная структура является неупорядоченной без трансляционной симметрии и имеет «средний» дальний порядок. Этой структуре сопоставляют пространственную группу $R\bar{6}$, где атомы кадмия и серы занимают однократные позиции [8].

Однако при описании неупорядоченности кристаллической структуры не учитывается возможное протекание параллельных реакций гидролиза, образования аквакомплексов кадмия в процессе синтеза из водных растворов солей кадмия, а также их влияние на формирование особой неупорядоченной структуры. Неясна роль конкурирующих реакций в водной среде при формировании «средней» решетки.

В связи с этим целью данной работы был неводный синтез наноразмерных полупроводниковых кристаллов сульфида кадмия, позволяющий исключить возможные конкурирующие реакции, протекающие в водной среде, и исследование особенностей их кристаллического строения путем анализа профиля дифрактограмм полученных нанопорошков сульфида кадмия.

Наночастицы CdS были получены взаимодействием тригалогенацетатов кадмия с тиацетамидом в среде ацетонитрила и этилацетата. Регистрация ИК-спектров проводилась на ИК-Фурье-спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в диапазоне частот $4000\text{--}500\text{ см}^{-1}$. В полученном спектре наблюдаются полосы поглощения в областях 1680 см^{-1} и 1434 см^{-1} , отвечающие антисимметричным и симметричным колебаниям карбоксильных групп соответственно (рис. 1).

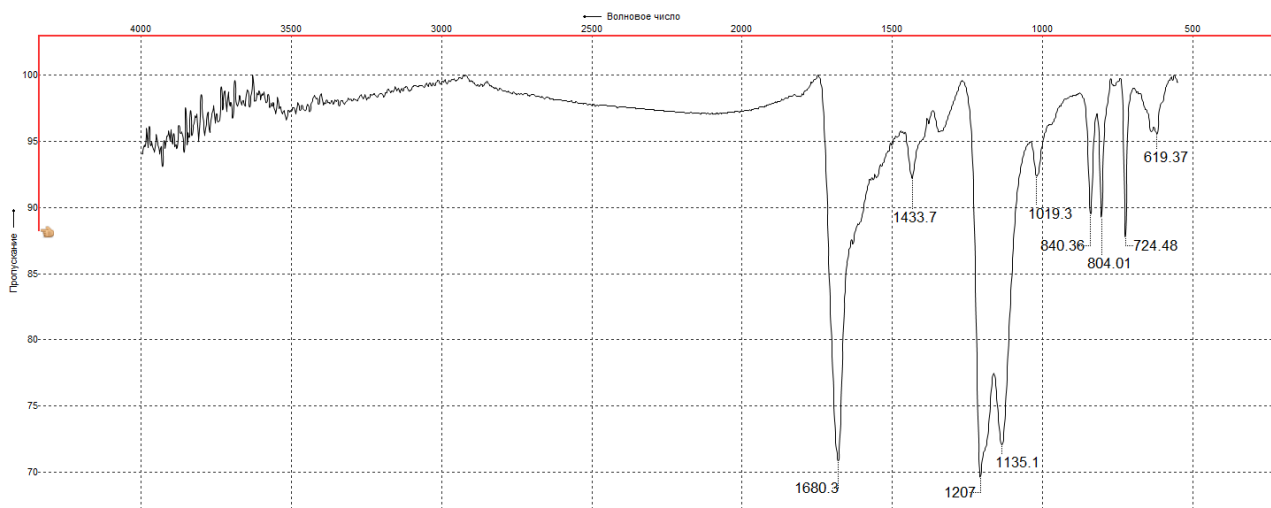


Рис. 1. ИК-спектр сульфида кадмия, полученного в неводной среде (таблетка KBr)

Интенсивные полосы поглощения при 1207 см^{-1} и 1135 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям связей C-Hal. Содержание воды в образце крайне низкое, что указывает на участие молекул кристаллизационной воды в процессе взаимодействия с сульфидизатором в ходе реакции. Присутствие в спектре полос поглощения, отвечающих валентным колебаниям связи C-Hal, можно объяснить адсорбцией тригалогенацетат-анионов на агрегате сульфида металла.

Дифрактограммы полученных образцов сульфида кадмия были зарегистрированы методом Дебая – Шеррера на дифрактометре XRD-6000 с использованием CuK_α -излучения (длина волны $1,54\text{ \AA}$). Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных JCPDS, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4. Размер полученных наночастиц оценивался по величине области когерентного рассеяния (ОКР), которая составила 10 нм .

Исследование профиля дифрактограмм полученных наноразмерных частиц сульфида кадмия позволило выделить некоторые особенности (рис. 2): максимум интенсивности рефлексов на дифрактограмме находится на значении угла $2\Theta=26^\circ$, менее интенсивные рефлексы находятся на углах 44° и 52° , что не соответствует дифракционным картинам крупнокристаллических фаз CdS и полностью соответствует результатам работ [7, 8].

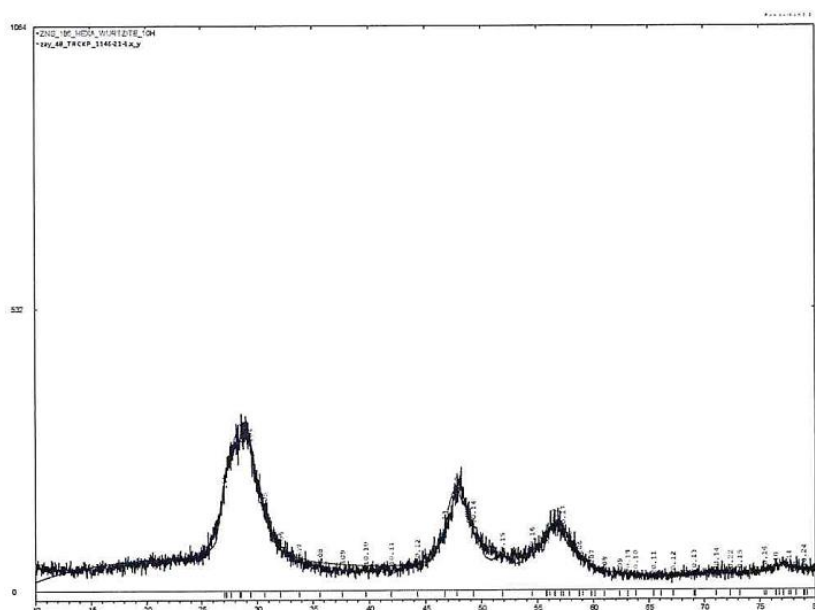


Рис. 2. Дифрактограмма сульфида кадмия, полученного в неводной среде

Возможно несколько интерпретаций наблюдаемой дифракционной картины: наблюдается смесь кристаллитов со структурой сфалерита и вюрцита; структура наноразмерных частиц является случайной неупорядоченной упаковкой вследствие разупорядочения расположения слоев атомов.

Недостаток первой интерпретации заключается в том, что на дифрактограмме наноструктурированного сульфида кадмия отсутствует ряд рефлексов, характерных для структур сфалерита и вюрцита. Представления о политипизме как о множественности вариаций чередования последовательности слоев атомов в кристаллической решетке также не объясняет наблюдаемые особенности дифрактограмм нанопорошков CdS. Это связано с тем, что политипизм не характерен для крупнокристаллического сульфида кадмия, а в наноструктурированной форме не возникают новые варианты чередования слоев атомов. В связи с этим представления об образовании случайной разупорядоченной упаковки, как предполагают авторы работы [7], заслуживают дальнейшего рассмотрения.

Очевидно, что имеется корреляция между размерами наночастиц и их кристаллической структурой. Отмечено, что при среднем размере наночастиц CdS 5-10 нм они имеют неупорядоченную структуру [8], при больших размерах наблюдается преобладание структуры вюрцита, что отражается на дифрактограммах, имеющих соответствующие рефлексы гексагональной структуры.

Несмотря на наличие неупорядоченной структуры, наночастицы CdS стабильны при нагревании до 500К. Выше данной температуры происходит упорядочение чередования слоев и постепенная перестройка кристаллической решетки в структуру вюрцита, что также проявляется на дифрактограммах.

Образующаяся особенная случайная плотнейшая упаковка характеризуется неким «средним» дальним порядком атомов. Это подтверждается рефлексами дифрактограмм нанопорошков сульфида кадмия, на которых не наблюдается информации о последовательности чередования слоев. Можно предположить, что атомные слои могут занимать любое из трех координатных положений с равной вероятностью 1/3.

Таким образом, образование неупорядоченной структуры является особым свойством наноразмерного сульфида кадмия, не зависящим от способа его синтеза. Показано, что проведение процесса синтеза нанокристаллов CdS в водной и неводной средах дает одинаковые рефлексы на дифрактограммах полученных соединений. Это подтверждает образование наноразмерных частиц CdS в неводной среде с особой неупорядоченной структурой без трансляционной симметрии.

Результаты работы подтверждают, что кристаллическая структура сульфида кадмия является размерно-зависимым свойством, так как определяется размером частиц. При размере частиц 5–10 нм формируется особая структура, в которой тетраэдрическое окружение атомов кадмия и серы приводит к нарушению последовательности чередования слоев атомов и их случайному чередованию.

Библиографический список

1. De la Cruz Terrazas E. C., Ambrosio Lázaro R. C., Mota González M. L. et al. A simple method for the synthesis of CdS nanoparticles using a novel surfactant // *Chalcogenide Letters*. 2015. № 4. Pp. 147–153.
2. Medintz I. L., Uyeda H. T., Goldman E. R., Mattoussi H. Quantum dot bioconjugates for imaging, labeling and sensing // *Nature Materials*. 2005. № 6. Pp. 435–446.
3. Васильев Р. Б., Дирин Д. Н., Гаськов А. М. Коллоидные полупроводниковые нанокристаллы с пространственным разделением носителей заряда: рост и оптические свойства // *Успехи химии*. 2011. № 12. С. 1190–1210.
4. Kuznetsova Yu. V., Letofsky-Papst I., Sochor B. et al. Greatly enhanced luminescence efficiency of CdS nanoparticles in aqueous solution // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*. 2019. № 581. 3. 123814.

5. Smagin V. P., Davydov D. A., Unzhakova N. M., Biryukov A. A. Synthesis and Spectral Properties of Colloidal Solutions of Metal Sulfides // *Russ. J. Inorgan. Chem.* 2015. № 12. 3. 1588–1593.
6. Badawi M. H., Aboul-Enein S., Ghali M., Hassan G. Physical Properties of Chemically Deposited CdS Films for Solar Cells // *Renewable energy.* 1998. № 1–4. Pp. 107–112.
7. Ворох А. С., Ремпель А. А. Атомная структура наночастиц сульфида кадмия // *Физика твердого тела.* 2007. № 49. С. 143–148.
8. Кожевникова Н. С., Ворох А. С., Урицкая А. А. Наночастицы сульфида кадмия, полученные методом химического осаждения из растворов // *Успехи химии.* 2015. № 84. С. 225–250.

Изучение антиоксидантной активности композиций с бетулином

А. И. Фокина^а, Г. К. Полуян^б, В. М. Злобина^с

кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и методики обучения химии^а
студенты группы ХМб-3501-53-00^{б, с}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}
E-mail: usr08614@vyatsu.ru^а, stud115458@vyatsu.ru^б, stud115469@vyatsu.ru^с

Аннотация. Бетулин – вещество, содержащееся в коре березы. Благодаря своим полезным свойствам, противораковым, антисептическим и т. д., бетулин в последнее время находит широкое применение в качестве биологически активной добавки. Данное вещество обладает выраженными антиоксидантными свойствами, поэтому актуален вопрос исследования композиций с бетулином, имеющих фармацевтический потенциал. В качестве основ таких могут быть желатин, спирт, вода, растительное масло. Однако динамика антиоксидантных свойств их композиций с бетулином не до конца изучена, а некоторые моменты в литературе не освещены совсем. Изучена динамика антиоксидантной активности 1%-х суспензий бетулина в воде, спирте и растительном масле, динамика выхода антиоксидантов в раствор, моделирующий желудочный сок, из 1%-х и 3%-х процентных желатиновых композиций с бетулином. Наибольшая антиоксидантная активность наблюдается у суспензий на основе масла и воды (1,4 мг/см³), наименьшая – у суспензии на основе спирта (0,2 мг/см³). Увеличение антиоксидантной активности суспензий произошло на вторые сутки по сравнению с изначальной композицией, в дальнейшем активность не изменялась. Установленные данные говорят о том, что в течение двух недель устойчивость относительно антиоксидантной активности практически не меняется, что важно с практической точки зрения. Желатиновые композиции разрушились через 45 минут после начала контакта с моделью желудочного сока. Логично, что 3%-я композиция создала на данный момент большее количество антиоксидантов в растворе, чем 1%-я, 0,5 и 2,0 мг/45 см³ раствора. Установленные данные могут быть полезны при создании фармацевтических композиций желатина с бетулином.

Ключевые слова: бетулин, фармацевтические композиции, антиоксидантная активность.

Введение. Бетулин – природное органическое вещество, которое содержится в коре березы и придает ей белый цвет [1, с. 45; 2, с. 2]. Бетулин и его производные проявляют некоторые полезные биологические свойства: антисептические свойства (стерилизация ран и порезов в виде пластырей), антираhitное действие, ранозаживляющее, гипохолестеринемическое, противовоспалительное, желчегонное, гепатопротекторное, противоопухолевое и антиоксидантное действия [3, с. 2–5]. Антиоксиданты – вещества (природные или синтетические), действующие в достаточно малых концентрациях и предотвращающие или замедляющие окисление веществ (углеводородов, альдегидов, жиров) молекулярным кислородом. Наибольший вклад в АОА бетулина принадлежит первичному гидроксилу С-28-ОН. Однако возникает и сложность: бетулин плохо растворим в большинстве растворителей, что подтверждается литературными

ми данными [4, с. 2], это вызывает вопросы, связанные с возможностью сохранения свойств в композициях бетулина с различными растворителями.

Целью работы было изучить антиоксидантную активность желатиновых, водной, масляной и спиртовой композиций бетулина.

Для реализации цели поставлены **задачи**:

1) создать 1%-ю и 3%-ю композиции бетулина с желатином, 1%-е композиции бетулина с водой, спиртом и растительным маслом;

2) установить динамику выхода антиоксидантов из желатиновых композиций в раствор, моделирующий желудочный сок;

3) установить динамику антиоксидантной активности 1%-х композиций бетулина с водой, спиртом и растительным маслом.

Методы исследования. Для приготовления суспензий бетулина для проверки зависимости антиоксидантной активности от времени и природы растворителя брали три различных растворителя: воду, масло и спирт. К 0,1 г бетулина добавляли 10 см³ растворителя, получая раствор с массовой долей бетулина 1%. Все три суспензии на протяжении всего эксперимента (две недели) находились в термостате при одной и той же постоянной температуре (25 ± 2 °C), через определенные промежутки времени определяли антиоксидантную активность методом перманганатометрии. Желатиновые композиции бетулина помещались в раствор, моделирующий желудочный сок [5, с. 2370], и выдерживали в термостате при температуре 37 °C в течение 45 минут. Отбирали пробы «желудочного сока», в котором определяли сумму антиоксидантов методом перманганатометрии [6, с. 1].

Результаты исследований, их обсуждение. Закономерно, что антиоксидантная активность раствора, в котором находилась 3%-я композиция, была заметно больше, чем у среды контакта с 1%-й композицией. При контакте желатиновых композиций с моделью желудочного сока антиоксидантная активность с содержанием композиции бетулина 1% увеличивается более равномерно, чем с содержанием 3%. Желатиновая композиция с содержанием бетулина 3% разрушилась в «желудочном соке» быстрее, чем с содержанием 1%. Это все связа-

но с тем, что нерастворимость бетулина мешала ему полностью связаться с данной средой: композиция с 3% бетулина получилась более рыхлая по структуре, чем композиция с 1% бетулина. Активный распад композиций обоих вариантов наблюдался уже через 45 минут с начала контакта со средой, что подтверждает данные фармакопеи [7]. До момента полного разрушения композиций наблюдалось повышение в «желудочном соке» антиоксидантной активности (рис. 1).

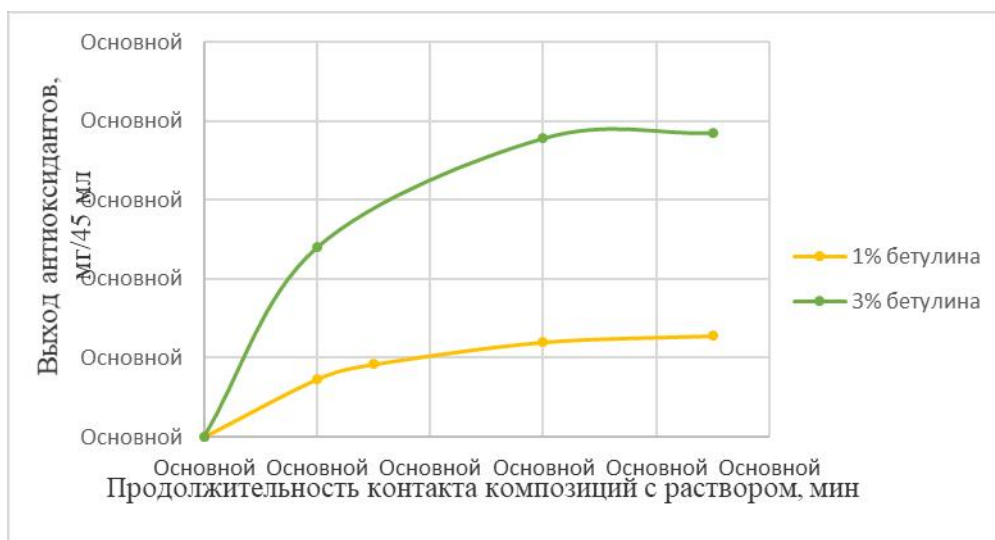


Рис. 1. Динамика выхода антиоксидантов из желатиновых композиций с бетулином

В водной, спиртовой и масляной суспензиях видим следующую закономерность, представленную на рис. 2.

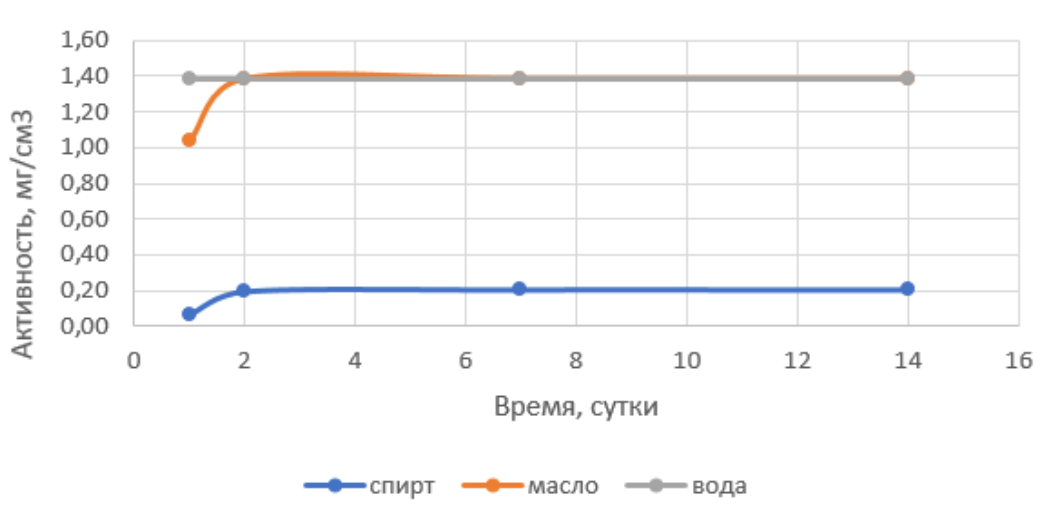


Рис. 2. Динамика антиоксидантной активности бетулина в различных растворителях

Наибольшая антиоксидантная активность наблюдается у суспензий на основе масла и воды, наименьшая – у суспензии на основе спирта. Объясняется это тем, что бетулин растворяется в спирте, а в масле и воде – нет. Также по графику видим, что наименьшая активность у свежеприготовленных суспензий, пика активность достигает через сутки и со временем не изменяется. На основании этого можно говорить о хороших эксплуатационных свойствах суспензий на основе бетулина, так как применяться могут не только свежеприготовленные, но и суспензии, которые хранились некоторое время.

Эксперимент подтвердил, что все композиции обладают антиоксидантной активностью, так как в них присутствует бетулин, что делает их изучение и применение перспективным в качестве компонентов лекарственных препаратов и самостоятельных субстанций, обладающих антиоксидантной активностью.

Выводы:

1. Изучена динамика антиоксидантной активности 1%-х суспензий бетулина в воде, спирте и растительном масле, динамика выхода антиоксидантов в раствор, моделирующий желудочный сок, из 1- и 3-процентных желатиновых композиций с бетулином.

2. Наибольшая антиоксидантная активность наблюдается у суспензий на основе масла и воды ($1,4 \text{ мг/см}^3$), наименьшая – у суспензии на основе спирта ($0,2 \text{ мг/см}^3$). Увеличение антиоксидантной активности суспензий произошло на вторые сутки по сравнению с изначальной композицией, в дальнейшем активность не изменялась.

3. Установленные данные говорят о том, что в течение двух недель устойчивость относительно антиоксидантной активности практически не меняется, что важно с практической точки зрения. Желатиновые композиции разрушились через 45 минут после начала контакта с моделью желудочного сока. Логично, что 3%-я композиция создала на данный момент большее количество антиоксидантов в растворе, чем 1%, 0,5 и 2,0 мг/45 см³ раствора. Установленные данные могут быть полезны при создании фармацевтических композиций желатина с бетулином.

Библиографический список

1. Кузнецова С. А., Кузнецов Б. Н., Веселова О. Ф. и др. Изучение состава гексанового экстракта бересты и его токсико-фармакологических свойств // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 45–49.
2. Толстикова Г. А., Флехтер О. Б., Шульц Э. Э. Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 1. С. 1–30.
3. Биологически активная добавка к пище. Бетулин высокой степени очистки, экстракт бересты 99,9% Инструкция. URL: Untitled-1 (betulin.com) (дата обращения: 15.11.2021).
4. Кузнецова С. А., Скворцова Г. П., Маляр Ю. Н. и др. Выделение бетулина из бересты березы и изучение его физико-химических и фармакологических свойств // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 93–100.
5. Асякина Л. К., Просеков А. Ю., Ульрих Е. В., Белова Д. Д. Исследование деградации пленок и капсул из растительных аналогов фармацевтического желатина // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (часть 11). С. 2369–2374.
6. Максимова Т. В., Никулина И. Н., Пахомов В. П. и др. Способ определения антиокислительной активности // Патент Российской Федерации 2170930. Заявка: 2000111126/14, 05.05.2000. Дата публикации: 20.07.2001.
7. ФС.2.1.0099.18 Желатин. URL: <https://zdravmedinform.ru/farmakopeia/fs.2.1.0099.18.html> (дата обращения: 15.11.2021).

Сравнительный анализ химического состава плодов шиповника для изготовления масла и фиточаев

Е. Г. Ханжина^a, П. В. Пушкарева^b

старший преподаватель кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии^a
студент группы ХМб-4501-53-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr11714@vyatsu.ru^a, stud120509@vyatsu.ru^b

Аннотация. В настоящее время большой популярностью пользуются препараты на основе растительного сырья. Плоды шиповника имеют большое значение как лекарственное растительное сырье (ЛРС), так как содержат достаточно большое количество витаминов, органических кислот, флавоноидов, каротиноидов, пектиновых и дубильных веществ.

Актуальность данной работы заключается в возможности применения метода спектрофотометрии для количественного определения биологически активных веществ (БАВ) в плодах шиповника разных производителей. Целью данной работы является осуществление сравнительного анализа химического состава плодов шиповника, предназначенных для изготовления масла и фиточаев.

В статье представлены результаты количественного определения каротиноидов и органических кислот в исследуемых образцах шиповника. Определено, что содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин варьирует от 11,37 мг% до 50,42 мг%, органических кислот – от 2,51 мг% до 3,18 мг%.

Полученные данные о количественном содержании суммы каротиноидов и органических кислот в плодах шиповника позволяют их рекомендовать к использованию в качестве компонентов БАВ, лекарственных средств и как профилактическое средство.

Ключевые слова: плоды шиповника, БАВ, количественный определение, спектрофотометрия, каротиноиды.

Введение. Одно из направлений фармации – всестороннее изучение и рациональное использование лекарственного растительного сырья, которое служит источником для получения препаратов с разными фармакологическими свойствами [3]. В свою очередь плоды шиповника имеют большое значение как лекарственное растительное сырье, так как содержат достаточно большое количество витаминов, органических кислот, флавоноидов, каротиноидов, пектиновых и дубильных веществ, поэтому употребление лекарственных препаратов на основе плодов шиповника является неотъемлемой частью питания здорового человека.

В фармакопейной статье (ГФ XIV, ФС.2.5.0106.18) к методике количественного определения биологически активных веществ плодов шиповника есть примечание: «Содержание аскорбиновой кислоты определяют в сырье, предназначенном для производства лекарственных растительных препаратов (пачки, фильтр-пакеты); содержание суммы каротиноидов в пересчете на

β -каротин определяется в сырье, предназначенном для производства масла» [1, с. 6632].

Согласно данной методике, содержание аскорбиновой кислоты в плодах шиповника определяется методом титриметрии, а содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин и флавоноидов в пересчете на рутин определяется методом спектрофотометрии.

Таким образом, на примере количественного определения БАВ в плодах шиповника мы сможем рассмотреть некоторые проблемные вопросы, возникающие при спектрофотометрическом анализе растительного сырья, в частности растительного сырья, предназначенного для производства фиточаев.

Актуальность данной работы заключается в возможности применения метода спектрофотометрии для количественного определения БАВ в плодах шиповника разных производителей.

Целью данной работы является осуществление сравнительного анализа химического состава плодов шиповника, предназначенных для изготовления масла и фиточаев. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: выбрать наиболее доступные образцы сырья, предназначенные для производства масла и фиточаев, провести количественное определение БАВ в ЛРС и дать рекомендации по употреблению плодов шиповника.

Методы исследования. Объектами исследования служили следующие образцы ЛРС:

– Шиповник коричневый (*Rosa cinnamomea* L.), собранный 20.09.2021 г. на территории Кировской области.

Промышленные образцы сырья «Шиповника плоды», приобретенные в розничной аптечной сети Кирова:

– Цельное ЛРС: ООО Фирма «Здоровье» (г. Москва, 04.03.2021).

– Измельченное ЛРС (фильтр-пакеты): ООО «ФитоФарм» (г. Анапа, 08.09.2021).



Рис. 1. Шиповник коричневый (Кировская область)



Рис. 2. Шиповника плоды фирмы «Здоровье»



Рис. 3. Шиповника плоды фирмы «ФармаЦвет»

Для количественного определения каротиноидов были использованы две методики. Фармакопейная методика предусматривает проведение многократной экстракции предварительно подготовленного сырья гексаном [1], что может приводить к увеличению ошибки метода. Поэтому также была опробована усовершенствованная методика количественного определения каротиноидов, предусматривающая проведение однократной экстракции сырья гексаном в соотношении 1:30 в течение 2 ч при постоянном перемешивании с последующей фильтрацией и измерением оптической плотности полученного извлечения при длине волны 450 нм в обеих методиках [4].

Определение содержания органических кислот проводили по фармакопейной методике кислотно-основного титрования 0,1 моль/л раствором едкого натра до появления в пене лилово-красной окраски [2].

Результаты исследований, их обсуждение. В результате количественного анализа определено содержание каротиноидов и органических кислот в исследуемых образцах ЛРС. Результаты количественного определения БАВ представлены на рис. 4, 5, 6 и в таблице.

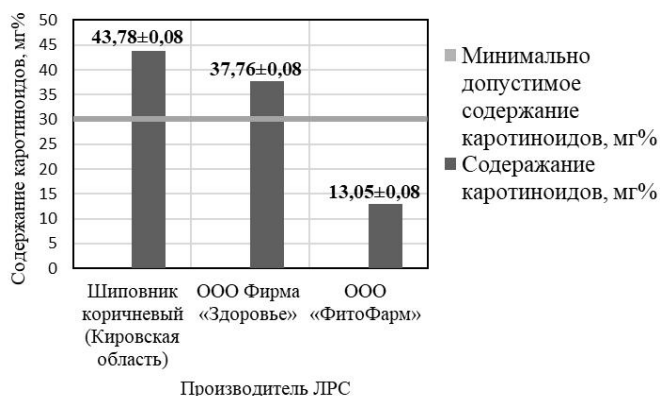


Рис. 4. Содержание каротиноидов в исследуемых образцах по ФС



Рис. 5. Содержание каротиноидов в исследуемых образцах по усовершенствованной методике

Содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин должно быть не менее 30 мг% [1].

Содержание каротиноидов в плодах шиповника различных производителей

Лекарственное растительное сырье	Содержание каротиноидов, мг% (ГФ XIV, ФС.2.5.0106.18)	Содержание каротиноидов, мг% (усовершенствованная методика)
Шиповник коричневый (Кировская область)	43,78	50,42
ООО Фирма «Здоровье»	37,76	23,87
ООО «ФитоФарм»	13,05	11,37

Как видно из таблицы, содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин в плодах шиповника варьирует от 11,37 мг% до 50,42 мг%, что свидетельствует о соответствии плодов шиповника коричневого и плодов шиповника фирмы «Здоровье» требованиям ГФ XIV, ФС.2.5.0106.18 и о несоответствии плодов шиповника фирмы «ФитоФарм» требованиям ГФ XIV, ФС.2.5.0106.18, так как содержание каротиноидов в данном образце варьирует от 11,37 мг% до 13,05 мг%.

Экспериментальным путем установлено, что для извлечения максимального количества каротиноидов из плодов шиповника оптимальными параметрами являются: многократная экстракция плодов шиповника гексаном; комнатная температура и периодическое перемешивание в течение 20 минут с помощью механического шейкера; время экстракции – 20 мин; измерение оптической плотности полученного извлечения при длине волны 450 нм.

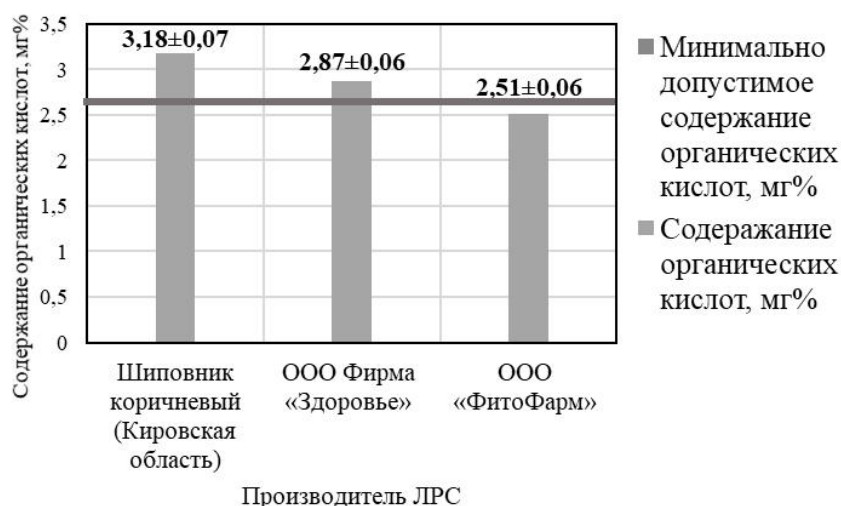


Рис. 6. Содержание органических кислот в исследуемых образцах по ФС

Содержание органических кислот должно быть не менее 2,6 мг% [2].

Определено, что в проанализированных образцах плодов шиповника содержание суммы органических кислот варьирует от 2,51 мг% до 3,18 мг%, что свидетельствует о соответствии плодов шиповника коричневого и плодов шиповника фирмы «Здоровье» требованиям ГФ XI, вып. 2, ст. 38, и о несоответствии плодов шиповника фирмы «ФитоФарм» требованиям ГФ XI, вып. 2, ст. 38, так как содержание органических кислот в исследуемом образце составляет 2,51 мг%.

Полученные данные о количественном содержании суммы каротиноидов и органических кислот в плодах шиповника позволяют рекомендовать их к использованию в качестве компонентов БАВ, лекарственных средств и как профилактическое средство.

Выводы:

1. Для количественного определения суммы каротиноидов и органических кислот были выбраны следующие образцы ЛРС: шиповник коричневый, собранный на территории Кировской области, плоды шиповника фирмы «Здоровье» (цельные плоды) и плоды шиповника фирмы «ФитоФарм» (фильтр-пакеты).

2. Определено, что в проанализированных образцах ЛРС содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин варьирует от 11,37 мг% до 50,42 мг%, органических кислот – от 2,51 мг% до 3,18 мг%.

3. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать к употреблению в качестве компонентов БАВ, лекарственных средств и как профилактическое средство плоды шиповника коричневого, собранные на территории Кировской области, и плоды шиповника фирмы «Здоровье».

Библиографический список

1. Государственная фармакопея Российской Федерации / МЗ РФ. XIV изд. Т. 2. М., 2018. С. 2361–2364
2. Государственная фармакопея СССР. XI изд. Вып. 2. М. : Медицина, 1990. С. 384.
3. Сергунова Е. В. Изучение состава биологически активных веществ лекарственного растительного сырья различных способов консервации и лекарственных препаратов на его основе : дис. ... д-ра фармацевт. наук: 14.04.02. М., 2016. 242 с.
4. Куркин В. А., Шарова О. В., Афанасьева П. В. Совершенствование методики количественного определения суммы каротиноидов в сырье «Шиповника плоды» // Химия растительного сырья. 2020. № 3. С. 131–138.

Особенности применения наполнителей в резинах на основе бутилкаучука

И. Б. Шилов^a, Н. О. Бакулев^b, А. А. Кислицин^c, К. В. Князев^d,
В. В. Кравченко^e, М. С. Шляпин^f

кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии переработки полимеров^a

студент группы ХТМ-2501-01^b

студент группы ХТМ-1501-01^{c, d, e, f}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d, e, f}
E-mail: shilov@vyatsu.ru^a, nikita.bakulev111@gmail.com^b, stud142692@vyatsu.ru^c,
stud142691@vyatsu.ru^d, stud142694@vyatsu.ru^e, stud142693@vyatsu.ru^f

Аннотация. В настоящее время влияние марки технического углерода на комплекс характеристик резин на основе бутилкаучука со смоляной вулканизацией исследовано недостаточно подробно. Целью настоящей работы было исследование влияния наиболее применяемых печных марок технического углерода на характеристики резин на основе бутилкаучука при использовании смоляной вулканизации. Исследованы вязкость и кинетика вулканизации резиновых смесей. Определены упруго-прочностные свойства, сопротивление раздиру, твердость, эластичность, усталостная выносливость, температуростойкость и теплостойкость. Для определения характеристик резин применяли стандартизованные методики, принятые в резиновой промышленности. Показано, что большинство исследованных характеристик резин на основе бутилкаучука вулканизированных смолами с техническими углеродами N220 и N330 находятся на одном уровне. Полученный результат можно объяснить низким уровнем взаимодействия бутилкаучука с техническим углеродом и способностью бутилкаучука кристаллизоваться при деформации. Усталостная выносливость при многократном растяжении после теплового старения в режиме постоянной амплитуды деформации увеличивается при использовании менее активных марок печного технического углерода. Полученные результаты могут быть полезны при разработке рецептур для резиновых технических изделий на основе бутилкаучука.

Ключевые слова: бутилкаучук, технический углерод, резина, теплостойкость.

Введение. Бутилкаучук отличается высокой плотностью упаковки макромолекул. Высокая плотность упаковки макромолекул бутилкаучука обеспечивает высокую газонепроницаемость изделий из резин на основе данного эластомера [6, с. 93]. В молекулах бутилкаучука содержание двойных связей обычно не превышает 2,5% [6, с. 92]. За счет малого содержания двойных связей в макромолекулах обеспечивается высокая химическая стойкость изделий из резин на основе бутилкаучука. Химическая стойкость и теплостойкость резин улучшаются при увеличении прочности химической связи между макромолекулами. Высокую прочность имеют углерод-углеродные связи [5, с. 23]. Углерод-углеродные связи, в частности, образуются при смоляной вулканизации, которая обеспечивает высокую термостабильность резин на основе бутилкаучука [2, с. 25]. Высокую химическую стойкость изделий из резин на основе бу-

тилкаучука можно обеспечить, применяя вулканизацию смолами. Большое практическое значение имеет вулканизация бутилкаучука полиметиллолфенольными смолами [1, с. 218].

Изделия из резин эксплуатируются в разных условиях. При создании долговечных изделий на основе эластомеров для конкретных условий эксплуатации необходимо знать влияние рецептурных факторов на различные характеристики резин. Важнейшим фактором, влияющим на характеристики резин, является тип технического углерода. Состав, свойства и применение технического углерода приведены в литературе [4, с. 144–156]. Влияние марки технического углерода на характеристики резин на основе непредельных эластомеров достаточно подробно исследовано [3, с. 287–296; 7, с. 144–148]. Однако в настоящее время влияние марки технического углерода на комплекс характеристик резин на основе бутилкаучука со смоляной вулканизацией исследовано недостаточно подробно.

Целью настоящей работы была исследование влияния наиболее применяемых печных марок технического углерода на характеристики резин на основе бутилкаучука при использовании смоляной вулканизации.

В задачи исследования входило исследование влияния печных марок технического углерода на технологические свойства, физико-механические свойства, температуростойкость и теплостойкость резин на основе бутилкаучука при использовании смоляной вулканизации.

Методы исследования. Исследовали резины на основе бутилкаучука БК-1675Н с разными марками технического углерода. Состав исследуемых резин приведен в табл. 1.

Таблица 1

Рецепт резиновой смеси

Наименование ингредиентов	Массовые части на 100 массовых частей каучука	Массовые проценты, %	Навеска, г
Каучук БК-1675Н	95,00	56,21	449,7
Каучук СКЭПТ-40	5,00	2,96	23,7
Каучук ХБК-139	4,00	2,37	19,0
Смола SP-1045Н	6,00	3,55	28,4
Ангидрид фталевый	0,50	0,30	2,4
Белила цинковые	3,00	1,77	14,2

Наименование ингредиентов	Массовые части на 100 массовых частей каучука	Массовые проценты, %	Навеска, г
Кислота стеариновая	3,00	1,77	14,2
Масло ПМС-400	2,50	1,48	11,8
Технический углерод *	50,00	29,59	236,6
Итого	169,00	100,00	800,0
* – в качестве технического углерода резиновые смеси содержали N220, N330, N550 и П803			

Изготовление резиновых смесей проводили на лабораторных вальцах при температуре валков 60–70 °С. Вязкость резиновых смесей определяли по ГОСТ 10722-76 при температуре 100 °С. Вулканизационные характеристики резиновых смесей определяли при температуре 180 °С в соответствии с ГОСТ 12535-84. Определяли характеристики подвулканизации t_{s1} , t_{s2} , оптимум вулканизации t_{c90} , минимальный M_L и максимальный M_{HR} крутящие моменты.

Вулканизацию проводили в гидравлическом прессе с электрообогревом при температуре 180 °С в течение 30 минут. Сопротивление раздиру определяли методом Г на дугообразных образцах по ГОСТ 262-93. Твердость по Шору А определяли в соответствии с ГОСТ 263-75. Эластичность по отскоку определяли на приборе типа Шоба в соответствии с ГОСТ 27110-86. Упруго-прочностные 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. Усталостную выносливость при многократном растяжении определяли по ГОСТ 261-79. Старение вулканизатов проводили при температуре 180 °С в течение 24 часов. Стойкость к термическому старению резин определяли в соответствии с ГОСТ 9.024-74. Относительную остаточную деформацию сжатия определяли в соответствии с ГОСТ 9.029-74.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения характеристик резин приведены в табл. 2–5.

Таблица 2

Технологические характеристики резин

Показатель	Технический углерод			
	N220	N330	N550	П803
Вязкость по Муни при 100 °С, усл. ед.	80	82	79	79
Время начала вулканизации τ_{s1} , мин:с	2:06	2:15	2:37	2:40
Время начала вулканизации τ_{s2} , мин:с	3:43	4:06	4:22	4:34
Оптимальное время вулканизации τ_{90} , мин:с	31:28	33:52	33:46	34:51
Минимальный крутящий момент M_L , Н·м	2,23	2,13	1,71	1,71
Максимальный крутящий момент M_{HR} , Н·м	9,78	10,02	9,57	9,11

По данным табл. 2, вязкость по Муни при 100 °С резиновых смесей на основе бутилкаучука БК-1675Н практически не зависит от применяемой марки печного технического углерода. Вязкость у исследованных резиновых смесей отличается не более чем на 3%. Время начала вулканизации τ_{s1} , и τ_{s2} у резиновых смесей, содержащих более усиливающие марки технического углерода, меньше всего на 15–20% по сравнению с менее усиливающими марками технического углерода. Минимальный крутящий момент увеличивается с увеличением активности технического углерода на 23%. Максимальный крутящий момент увеличивается с увеличением активности технического углерода незначительно, всего на 9%. Таким образом, технологические свойства исследованных резиновых смесей зависят от применяемой марки технического углерода незначительно.

По данным табл. 3, сопротивление раздиру и твердость выше у резин с активными марками технического углерода.

Таблица 3

Физико-механические характеристики резин при 23 °С

Показатель	Технический углерод			
	N220	N330	N550	П803
Сопротивление раздиру, кН/м	55	51	44	46
Твердость, единиц по Шору А	60	59	55	56
Эластичность по отскоку, %	8	8	9	9
Условная прочность при растяжении, МПа	13,9	14,3	12,8	11,7
Относительное удлинение при разрыве, %	580	520	550	520
Напряжение при удлинении 100%, МПа	2,1	2,2	1,5	1,5
Напряжение при удлинении 300%, МПа	6,9	6,7	6,5	5,9

Следует отметить, что исследованные физико-механические характеристики резин за исключением относительного удлинения при разрыве для резин

с активными марками технического углерода N220 и N330 находятся на одном уровне. Физико-механические характеристики резин за исключением относительного удлинения при разрыве для резин с техническим углеродом средней активности N550 и малоактивным техническим углеродом П803 также находятся на одном уровне.

Таблица 4

Характеристики резин при 130 °С

Показатель	Технический углерод			
	N220	N330	N550	П803
Условная прочность при растяжении, МПа	6,6	6,5	5,7	5,6
Относительное удлинение при разрыве, %	760	670	560	620
Коэффициент температуростойкости по прочности	0,47	0,45	0,45	0,48
Коэффициент температуростойкости по относительному удлинению	1,31	1,29	1,02	1,19

По данным табл. 4, коэффициенты температуростойкости по прочности для исследуемых резин практически одинаковы. Коэффициенты температуростойкости по относительному удлинению выше у резин с активными марками технического углерода.

Таблица 5

Характеристики резин после теплового старения

Показатель	Технический углерод			
	N220	N330	N550	П803
Условная прочность при растяжении, МПа	4,4	4,3	3,8	4,5
Относительное удлинение при разрыве, %	420	350	350	340
Относительная остаточная деформация сжатия, %	89	91	76	81
Напряжение при удлинении 100%, МПа	1,2	1,3	1,3	1,4
Напряжение при удлинении 300%, МПа	3,5	3,1	3,8	4,2
Твердость после старения, единиц по Шору А	67	66	58	59
Изменение характерного показателя после старения по твердости, единицы	7	7	3	3
Изменение характерного показателя после старения по напряжению при 100%-м удлинении, %	-43	-41	-13	-7
Изменение характерного показателя после старения по напряжению при 300%-м удлинении, %	-49	-54	-42	-29
Изменение характерного показателя после старения по прочности, %	-68	-70	-70	-62
Изменение характерного показателя после старения по относительному удлинению, %	-28	-33	-36	-35
Усталостная выносливость при многократном растяжении $\epsilon_0=200\%$, циклы	577	4674	6011	>10000

По относительной остаточной деформации сжатия, по снижению значений характерных показателей после старения по твердости, по напряжению при 100%-м удлинении и по напряжению при 300%-м удлинении можно сделать вывод о более высокой стойкости к тепловому старению резин, содержащих менее усиливающие марки технического углерода П803 и N550, чем более усиливающие марки технического углерода N220 и N330 (табл. 5). Однако значения характерных показателей после старения по прочности и относительному удлинению для исследованных резин находятся на одном уровне. Усталостная выносливость при многократном растяжении после теплового старения в режиме постоянной амплитуды деформации закономерно увеличивается при использовании менее активных марок технического углерода в ряду $N220 < N330 < N550 < П803$, несмотря на уменьшение относительного удлинения и сохранения напряжений при удлинении 100% и 300% на одном уровне в этом ряду.

Выводы:

1. Показано, что технологические свойства исследованных резиновых смесей зависят от применяемой марки технического углерода незначительно.
2. Установлено, что исследованные физико-механические характеристики резин за исключением относительного удлинения при разрыве для резин с активными марками технического углерода N220 и N330 находятся на одном уровне. Физико-механические характеристики резин за исключением относительного удлинения при разрыве для резин с техническим углеродом средней активности N550 и малоактивным техническим углеродом П803 также находятся на одном уровне.
3. Показано, что коэффициенты температуростойкости по прочности для исследуемых резин практически одинаковы. Коэффициенты температуростойкости по относительному удлинению выше у резин с активными марками технического углерода.
4. Обнаружено, что по относительной остаточной деформации сжатия, по снижению значений характерных показателей после старения по твердости, по напряжению при 100%-м удлинении и по напряжению при 300%-м удлинении

резины, содержащие менее усиливающие марки технического углерода П803 и N550, имеют более высокую стойкость к тепловому старению, чем более усиливающие марки технического углерода N220 и N330. Усталостная выносливость при многократном растяжении после теплового старения в режиме постоянной амплитуды деформации закономерно увеличивается при использовании менее активных марок печного технического углерода в ряду $N220 < N330 < N550 < П803$.

Таким образом, большинство исследованных характеристик резин на основе бутилкаучука вулканизованных смолами с техническими углеродами N220 и N330 находятся на одном уровне. Полученный результат можно объяснить низким уровнем взаимодействия бутилкаучука с техническим углеродом и способностью бутилкаучука кристаллизоваться при деформации. Усталостная выносливость при многократном растяжении после теплового старения в режиме постоянной амплитуды деформации закономерно увеличивается при использовании менее активных марок печного технического углерода в ряду $N220 < N330 < N550 < П803$.

Библиографический список

1. Большой справочник резинщика : в 2 ч. Ч. 1 / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. М. : ООО Издательский дом «Техинформ» МАИ, 2012. 744 с.
2. Большой справочник резинщика : в 2 ч. Ч. 2 / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. М. : ООО Издательский дом «Техинформ» МАИ, 2012. 648 с.
3. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности : в 2 ч. Ч. 1. Казань, 2010. 506 с.
4. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности : в 2 ч. Ч. 2. Казань, 2010. 488 с.
5. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск, 2003. 276 с.
6. Кошелев Ф. Ф., Корнев А. Е., Буканов А. М. Общая технология резины. М., 1978. 528 с.
7. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М., 2008. 383 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Анализ тональности постов сообществ социальной сети «ВКонтакте»

А. А. Агеева

студент группы ПИМ-1301-03-00.

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация.

E-mail: stud142622@vyatsu.ru.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Е. В. Котельников

Аннотация. Ежедневно в социальных сетях люди высказывают свое мнение по интересующим их темам в виде постов и комментариев к постам. Анализ тональности текстов множества таких сообщений позволяет определить условное «настроение» групп пользователей, например, в течение года. В работе было проведено исследование постов и комментариев трех наиболее популярных сообществ социальной сети «ВКонтакте» для анализа настроения жителей города Кирова. Анализ тональности осуществлялся с применением метода на основе словаря оценочной лексики.

Результаты исследования показали, что во всех рассматриваемых сообществах социальной сети «ВКонтакте» негативные посты и комментарии в целом преобладают. Также были выявлены происшествия в течение 2021 г., которые привели к всплескам негативных постов и комментариев. Результаты работы могут применяться в политологических, социологических и маркетинговых исследованиях.

Ключевые слова: анализ социальных медиа, социальная сеть «ВКонтакте», анализ тональности текста, словарь оценочной лексики.

Введение. Ежедневно в социальных сетях люди высказывают свое мнение по интересующим их темам в виде постов и комментариев к постам. Анализ тональности текстов большого массива таких сообщений позволяет определить условное «настроение» групп пользователей, например, в течение года. Такой анализ может быть полезен для мониторинга настроения общества в политологических, социологических и маркетинговых исследованиях.

Существует множество исследований, посвященных анализу настроений пользователей в социальных медиа.

Л. Немеш и А. Кисс [1] использовали рекуррентную нейронную сеть для классификации тональности высказываний в социальной сети «Twitter». Тональность классифицировалась на четыре группы: слабо позитивные/негативные, сильно позитивные/негативные. Статья сосредоточена на актуальной теме коронавируса, поэтому большее количество высказываний было отнесено к негативной тональности.

М. Асиф и др. [2] сфокусировали внимание на анализе тональности многоязычных (урду, английский и римский урду) текстов социальных сетей, чтобы выявить интенсивность экстремистских настроений. С помощью мультиномиального наивного байесовского классификатора и метода опорных векторов была получена точность 82% [2].

Л. Ченом и др. [3] был разработан словарь настроений на основе социальной сети. Целью исследования было построение структуры анализа настроений для социальных сетей, чтобы предложить самостоятельно разработанный словарь для улучшения классификации.

Проблемой исследования является отсутствие доступных инструментов мониторинга настроения жителей города Кирова.

Целью настоящей работы является исследование постов и комментариев трех наиболее популярных сообществ социальной сети «ВКонтакте» для анализа настроения жителей города Кирова. Анализ тональности осуществляется с применением метода на основе словаря оценочной лексики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сбор и предобработка данных из социальной сети.
2. Реализация классификатора по тональности.
3. Экспериментальное исследование.

Методы исследования

1. Сбор и предобработка данных

Первоначальной задачей является формирование набора данных – текстового корпуса постов и комментариев нескольких сообществ социальной сети «ВКонтакте». Для анализа были выбраны три наиболее популярных сообщества в городе Кирове: «ЗК – Злой кировчанин | Киров»¹, «Киров online»² и «Место Происшествия | Первый городской Киров»³. Критериями популярности являлись большое количество подписчиков, а также позиция в расширенном поиске сообществ по запросу «Киров» по сравнению с другими новостными сообще-

¹ <https://vk.com/zlo43>.

² <https://vk.com/kirovonline>.

³ <https://vk.com/kirovmp>.

ствами. Данные из этих сообществ были получены за период с 12 декабря 2020 года по 12 декабря 2021 года (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что количество комментариев превышает количество постов более чем в 18 раз.

Таблица 1

Данные сообществ

Сообщество	Количество подписчиков	Количество постов	Количество комментариев
«ЗК – Злой кировчанин Киров»	256 392	8 680	197 565
«Киров online»	197 140	2 914	67 787
«Место Происшествия Первый городской Киров»	194 307	4 166	29 324
Всего	648 379	15 760	294 676

Для получения данных из указанных сообществ был разработан парсер, на выходе которого создаются структуры в формате JSON (см. рис. 1).

```
{
  "id": 5145415,
  "from_id": -60609780,
  "owner_id": -60609780,
  "date": 1640011882,
  "marked_as_ads": 0,
  "post_type": "post",
  "text": "Анонимно. Стоять в самый пик на морозе, когда все люди едут с работы и ждать автобус час, когда у вас интервал 10 мин, а вы едете друг за дружкой!!!! Скажите вы в своём уме работники пассажирских перевозок?",
  "post_source": { "type": "vk" },
  "comments": {
    "can_post": 1,
    "count": 13,
    "groups_can_post": true
  },
  "likes": {
    "can_like": 1,
    "count": 5,
    "user_likes": 0,
    "can_publish": 1
  },
  "reposts": {
    "count": 5,
    "user_reposted": 0
  },
  "views": { "count": 6235 },
  "is_favorite": false,
  "hash": "0WeXL09mNdiQDemSEtj8xy2Pio_r"
},
```

Рис. 1. Структура JSON для постов

В полученных данных содержится не только текст, но и другая информация: дата и ID поста, ID сообщества, количество комментариев и др.

Предобработка данных заключается в процедурах токенизации, удаления стоп-слов и лемматизации. Токенизация – это процесс разбиения последова-

тельности строк на слова, которые называются токенами. Токенизация осуществляется с использованием библиотеки NLTK⁴. Далее исключаются стоп-слова – это такие слова, которые не являются информативными для анализа тональности, например «и», «он», «это» и другие. Список из 151 русскоязычного стоп-слова был взят из библиотеки NLTK. Затем выделенные токены приводятся к начальной форме с помощью лемматизации на основе морфологического анализатора для русского языка *rumorphy2*⁵.

2. Метод анализа тональности

Для оценки тональности текста в работе применяется словарный метод – в тексте находятся позитивные и негативные слова из словаря оценочной лексики. Итоговая оценка тональности текста определяется по преобладающему количеству оценочных слов.

В работе использовался словарь оценочной лексики из работы [4], включающий 4 325 оценочных слов – 1 521 позитивное и 2 804 негативных.

Результаты исследований, их обсуждение. Сначала рассмотрим настроение, т.е. эмоциональное состояние, в каждом сообществе отдельно (табл. 2).

Таблица 2

Оценки постов и комментариев

Название сообщества	Количество постов			Количество комментариев		
	Поз.	Нег.	Нейтр.	Поз.	Нег.	Нейтр.
«ЗК – Злой кировчанин Киров»	3 598	2 375	2 707	45 762	45 807	105 996
«Киров online»	1 586	909	419	15 878	17 025	34 884
«Место Происшествия»	1 137	2 328	701	5 030	8 637	15 657

Был проведен анализ количества позитивных, негативных и нейтральных постов и комментариев (рис. 2–4) для каждого сообщества отдельно.

Общий график (рис. 5) был построен на основе трех сообществ, были объединены все посты и комментарии по датам.

Из графика на рис. 5 видно, что во всех рассматриваемых сообществах негативные посты и комментарии преобладают. Это может объясняться тем, что плохие новости редко остаются незамеченными и людям на них проще реагировать.

⁴ <https://www.nltk.org>.

⁵ <https://github.com/kmike/pymorphy2>.

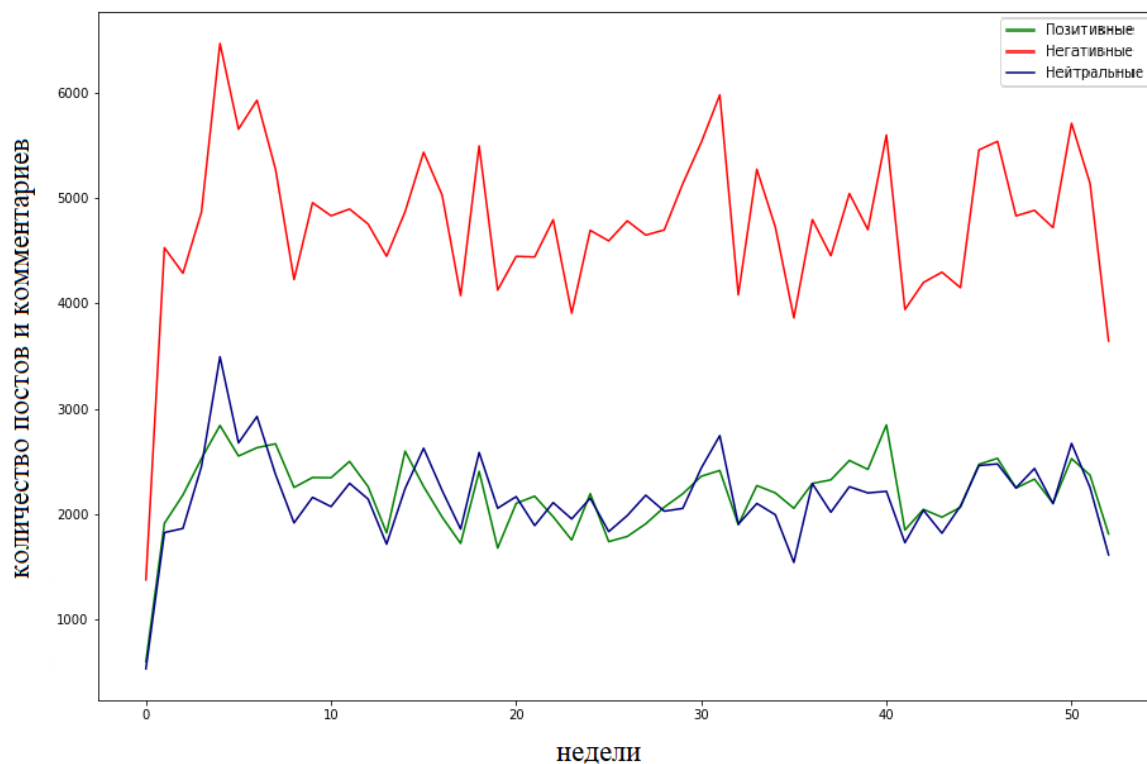


Рис. 2. Анализ тональности сообщений в сообществе «ЗК – Злой кировчанин | Киров»

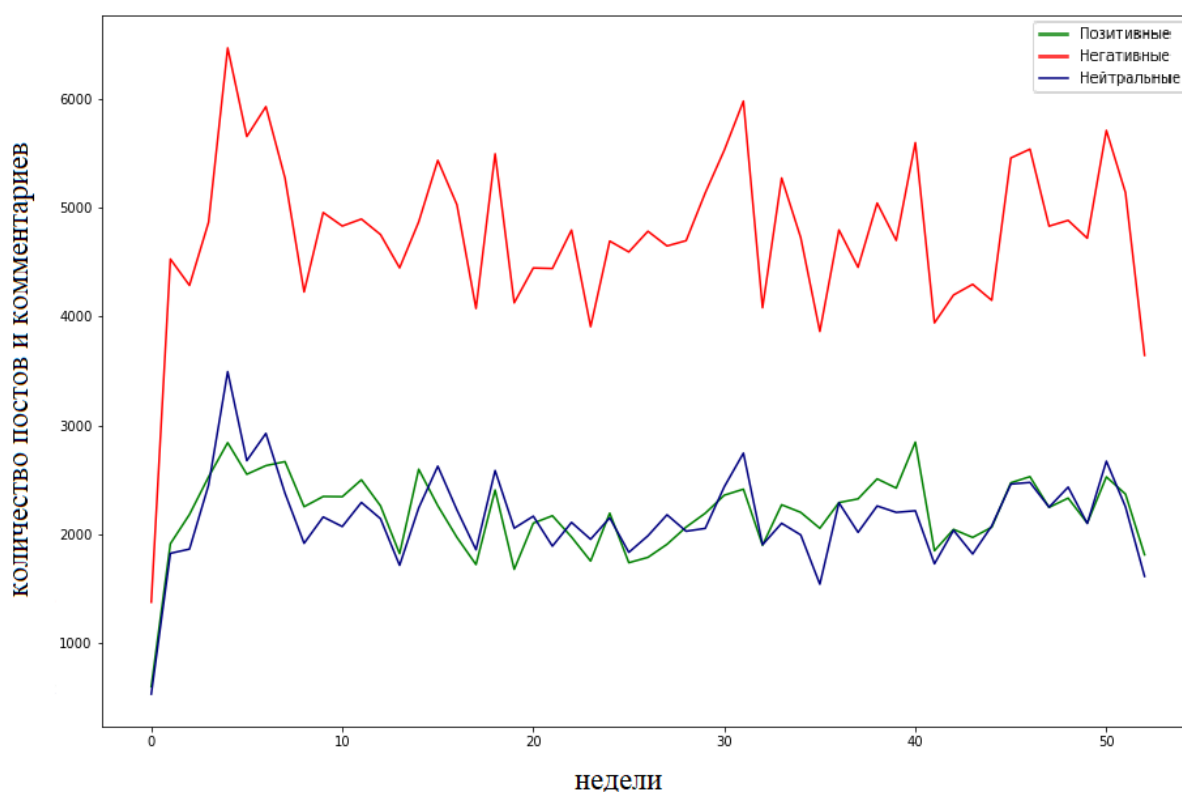


Рис. 3. Анализ тональности сообщений в сообществе «Киров online»

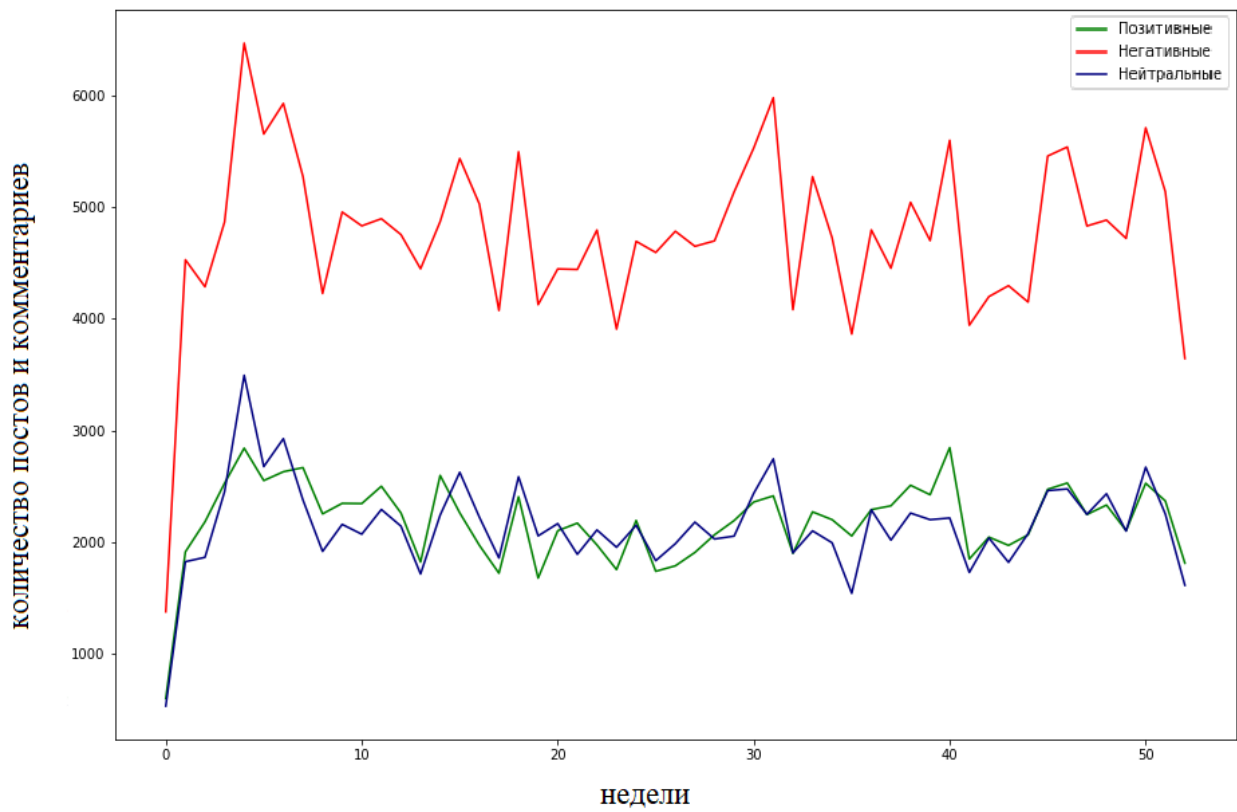


Рис. 4. Анализ тональности сообщений в сообществе «Место Происшествия | Первый городской Киров»

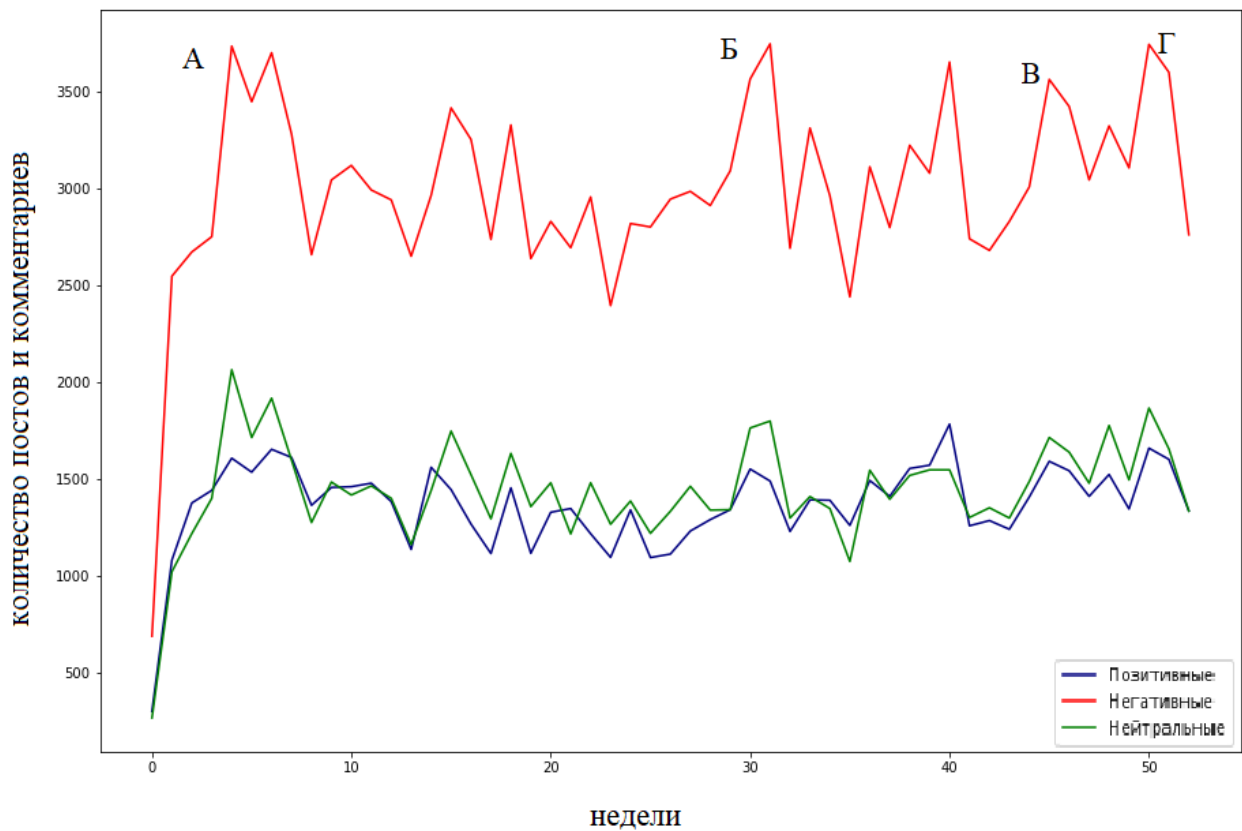


Рис. 5. Общий сравнительный анализ тональности сообщений

Первый скачок негативных высказываний приходится на период с 11 января по 1 февраля 2021 года (точка А на графике). В этот период жители Кирова собирались у администрации и шли колонной до Театральной площади, чтобы поддержать Алексея Навального. Также 21 января произошел взрыв Мелькомбината, так, что здание комбичеха в течение двух недель стояло под наклоном [5].

Второй скачок произошел в период с 5 по 19 июля 2021 года (точка Б на графике). В этот период произошел ряд инцидентов: мужчина ударил женщину на улице, его личность установили 12 июля; также прокуратура выявила более 100 нарушений в детский лагерях области [6].

Введение системы QR-кодов отразилось на графике в период с октября по декабрь (точки В и Г на графике). В декабре резкий рост негативных высказываний обуславливается расширением списка организаций, для входа в которые необходим QR-код, люди проводят митинги против принудительного введения QR-кодов [7].

Был проведен анализ соответствия тональности постов и комментариев к ним. Выявлено, что тональность постов и комментариев к данным постам совпадает в среднем только в 37,3% случаев. Следовательно, комментаторы чаще не поддерживают тональность исходного поста.

Практическая значимость исследования заключается в возможности его применения для мониторинга настроения общества в политологических, социологических и маркетинговых исследованиях.

Выводы. Таким образом, в ходе исследования были собраны данные из социальной сети «ВКонтакте» в формате JSON. Выполнена их предобработка, и реализован классификатор на основе словаря оценочной лексики.

Результаты показали, что негативные посты и комментарии в целом преобладают. Всплески на временных графиках тональности позволяют выявить наиболее значимые для жителей город события.

Результаты работы могут применяться в политологических, социологических и маркетинговых исследованиях. В дальнейшем предполагается увеличить объем словаря оценочной лексики, а также построить модель, способную определять тональность в зависимости от контекста.

Библиографический список

1. Nemes L., Kiss A. Social media sentiment analysis based on COVID-19 // Journal of Information and Telecommunication. 2021. Vol. 5(1). Pp. 1–15.
2. Asif M., Ishtiaq A., Ahmad H., Aljuaid H., Shah J. Sentiment analysis of extremism in social media from textual information // Telematics and Informatics. 2020. Vol. 48. 101345.
3. Chen L.C., Lee C.M., Chen M.Y. Exploration of social media for sentiment analysis using deep learning // Soft Computing. 2021. Vol. 24. Pp. 8187–8197.
4. Kotelnikova A., Paschenko D., Bochenina K., Kotelnikov E. Lexicon-based Methods vs. BERT for Text Sentiment Analysis // 10th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST-2021). Lecture Notes in Computer Science (LNCS). 2021.
5. Новости. URL: <https://kirov-portal.ru/news/podrobnosti/itogi-provaly-vzryvy-i-utechki-goda-chemu-2021-god-nauchil-kirovchan-31692> (дата обращения: 23.12.2021).
6. Вятка 24. URL: <https://www.gtrk-vyatka.ru/2021/07/12> (дата обращения: 23.12.2021).
7. Портал ПРОГород. URL: <https://progorod43.ru/news/85004> (дата обращения: 23.12.2021).

Автоматическая генерация историй по заданной сюжетной линии

С. В. Вычегжанин^a, В. С. Головизнина^b, Е. В. Котельников^c

младший научный сотрудник кафедры прикладной математики и информатики^a
студент группы ПИМ-1301-03-00^b

профессор кафедры прикладной математики и информатики^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: vychegzhaninsv@gmail.com^a, golovizninavs@gmail.com^b, kotelnikov.ev@gmail.com^c

Аннотация. Современные искусственные нейронные сети способны создавать тексты, сложно отличимые от текстов, написанных человеком. При этом существует проблема несоответствия содержания автоматически сгенерированных текстов требованиям пользователя. Целью работы является разработка и исследование метода автоматической генерации историй по заданному пользователем списку направляющих текстовых фрагментов. Метод может применяться с любой авторегрессионной языковой моделью. Проводятся эксперименты по генерации текстов новостей на русском языке. Сравниваются подходы к генерации текстов без учета и с учетом направляющей последовательности слов. Качество генерации оценивается с помощью мер перплексии, повторения и степени успеха. Наилучшим по качеству оказался вариант реализации метода, при котором функция оценки модифицируется только для направляющих слов. Результаты работы могут быть применены в индустрии развлечений и медиа.

Ключевые слова: автоматическая генерация историй, машинное обучение, нейронные сети.

Введение. Автоматическая генерация историй является сложной задачей вычислительной креативности и заключается в создании вымышленной истории из небольшого количества входных текстовых данных с помощью интеллектуальных систем. Появление больших предварительно обученных языковых моделей на архитектуре Трансформер вывело автоматическую генерацию историй на новый уровень качества. Современные нейросетевые языковые модели [1, 2] могут создавать впечатляюще реалистичные тексты, похожие на тексты, написанные человеком.

Актуальность задачи обусловлена востребованностью методов автоматической генерации историй для уменьшения усилий авторов, затрачиваемых на создание новых текстов. Результаты автоматической генерации могут применяться в индустрии развлечений, образовании, компьютерных играх [3].

Объектом исследования являются текстовые документы на естественном языке. Предмет исследования – методы автоматической генерации текстов.

Целью работы является разработка метода автоматической генерации историй на русском языке в соответствии с заданной сюжетной линией. В процессе работы были решены следующие задачи:

- выполнен обзор современных методов генерации историй;
- разработан метод генерации историй на русском языке с содержанием, соответствующим заданной сюжетной линии;
- проведено экспериментальное исследование предложенного метода.

Методы исследования

1. Обзор методов автоматической генерации историй

Генераторы историй могут быть классифицированы на три категории [3]: структурные модели, модели на основе планирования и модели машинного обучения. В настоящее время наиболее успешными в решении задачи автоматической генерации историй являются модели машинного обучения, в частности глубокие нейронные сети. Следует отметить несколько важных работ в этом направлении исследований. Метод, предложенный в статье [4], используя рекуррентную нейронную сеть с механизмом внимания и управляемыми рекуррентными блоками, преобразует автономные короткие текстовые фрагменты, описывающие событие или сцену, в связные резюме. Однако по результатам экспериментов полученные резюме оказались не полностью семантически связаны с входными фрагментами. Для преодоления этого недостатка авторы работы [5] разбили процесс создания историй на два этапа. На первом этапе с помощью сверточной языковой модели генерировалась подсказка, дающая набросок структуры истории. На втором этапе использовалась модель seq2seq для создания истории, которая следует подсказке. В статье [6] предложен другой иерархический генератор историй, комбинирующий планирование сюжетной линии и текстовую генерацию. На этапе обучения для каждой истории из корпуса строится сюжетная линия из наиболее важных слов в каждом предложении с помощью алгоритма RAKE [7]. После генерации сюжетной линии модель seq2seq переводит ее в текст.

Метод генерации историй, предложенный в работе [8], использует стратегию управляемого декодирования, при которой генерируемый текст содержит слова из заданной направляющей последовательности слов. Идея метода заключается в том, что в процессе генерации очередного слова выходное распределение мо-

дели языковой генерации сдвигается к семантическому пространству заданного направляющего слова. Метод не только поощряет явное появление направляющего слова, но также побуждает модель генерировать соответствующий контекст для появления направляющего слова.

2. Метод генерации русскоязычного текста

В настоящей работе рассматриваются авторегрессионные языковые модели, для которых вероятность последовательности $X = \{x_0, \dots, x_n\}$ может быть разложена по цепному правилу:

$$p(X) = \prod_{i=1}^n p(x_i | x_1, x_2, \dots, x_{i-1}) = \prod_{i=1}^n p(x_i | X_{<i}). \quad (1)$$

Исследуются вероятностные модели p , назначающие вероятность всем последовательностям X в пространстве строк $Y(V, n_{\max})$, где V – словарь модели, n_{\max} – наибольшая длина рассматриваемой последовательности.

Задача генерации текста заключается в декодировании последовательностей лингвистических единиц (строк) из распределения p . При этом важную роль играют функция оценки и алгоритм декодирования. Примерами популярных алгоритмов декодирования являются ядерное семплирование и поиск по лучу. Эти алгоритмы декодируют текст согласно заданной функции оценки, которую обозначим как $score(\cdot | X_{<i}): V^i \rightarrow \mathbf{R}$. Для вероятностных текстовых генераторов функция оценки обычно имеет вид

$$score(\cdot | X_{<i}) = \log p(\cdot | X_{<i}). \quad (2)$$

Предложенный и исследуемый в настоящей работе метод генерации текста может применяться с любой авторегрессионной языковой моделью. Метод заключается в модифицировании функции оценки (2) добавлением слагаемого, определяющего семантический сдвиг. В качестве входных данных метод получает затравку $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_k\}$ и список направляющих слов $W = \{w_1, \dots, w_m\}$. Рассмотрим вероятностный генератор p и слово $w \in W$, которое должно появиться в генерируемом тексте. Обозначим $\gamma(w) \in \mathbf{R}^d$ – вектор направляющего слова, который представляет точку в семантическом простран-

стве, ассоциированную со словом w . Тогда модифицированную функцию оценки запишем в виде

$$score'(x_i, w | X_{<i}) = score(x_i | X_{<i}) + \lambda \cdot \Delta \cdot \max(0, \cos(\gamma(x_i), \gamma(w))), \quad (3)$$

где Δ – разность между наибольшим значением исходной функции оценки и значением этой функции, соответствующим направляющему слову w ; λ – весовой коэффициент, определяющий силу смещения.

Весовой коэффициент λ регулирует быстроту появления направляющего слова в тексте. При значении λ равном нулю получаем исходную функцию оценки. С увеличением λ повышается вес направляющего слова w . Значение коэффициента λ увеличивается на каждом i -м шаге процесса генерации по экспоненциальной зависимости:

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda_0 \exp\left\{\frac{c(i-i_n)}{T-|W_i|-i_n}\right\}, & \text{если } i < T - |W_i|, \\ \infty, & \text{если } i \geq T - |W_i|, \end{cases} \quad (4)$$

где λ_0 – начальное значение величины сдвига, $\lambda_0 \in [0;1]$; c – коэффициент; i_n – порядковый номер шага, на котором появилось предыдущее направляющее слово; T – заданная длина генерируемой последовательности в токенах.

Таким образом, метод изменяет значения исходной функции оценки с учетом близости токенов словаря языковой модели к направляющему слову в семантическом пространстве.

3. Инструменты и план эксперимента

Разработка программы автоматической генерации текстов осуществлялась на языке программирования Python. В качестве авторегрессионной языковой модели использовалась ruGPT-3⁶, которая является русскоязычной адаптацией модели GPT-3 [1]. Эксперименты проводились на модели ruGPT-3 Large⁷ (760 млн параметров). Для получения вложений (эмбеддингов) слов с целью определения их семантической близости применялась векторная статическая

⁶ <https://github.com/sberbank-ai/ru-gpts>.

⁷ https://huggingface.co/sberbank-ai/ru-gpt3large_based_on_gpt2.

модель `ruscorpora_none_fasttextskipgram_300_2_2019`⁸, обученная на Национальном корпусе русского языка.

Проверка наличия сгенерированного моделью слова в списке направляющих слов W осуществлялась сравнением начальных форм этих слов. Морфологический анализ выполнялся с помощью библиотеки `rumorphy2` [9].

В экспериментах осуществлялась генерация новостных статей с содержанием, определяемым затравкой и направляющей последовательностью слов, представленных в табл. 2. Направляющая последовательность содержала как отдельные слова, так и словосочетания. В случае словосочетаний для модификации функции оценки (2) определялась семантическая близость к первому слову словосочетания. Проведено сравнение следующих стратегий генерации новостей:

- языковая генерация без управления, т. е. при $\lambda = 0$;
- смещение оценок только для токенов, совпадающих с направляющими словами W (стратегия «только направляющие слова»);
- смещение оценок одновременно для направляющих слов W и семантически близких к ним слов (стратегия «направляющий контекст»).

В процессе проведения эксперимента не гарантировалось появления всех направляющих слов W в сгенерированном тексте. Для декодирования использовалось ядерное семплирование с параметром $p = 0,95$. Длина генерируемой последовательности составляла 100 токенов.

Оценка качества сгенерированных текстов выполнялась с использованием мер перплексии, повторения и степени успеха. Мера перплексии (англ. Perplexity, PPL) вычисляется как экспоненциальное среднее отрицательной логарифмической вероятности на токен в языковой модели. Для вычисления меры перплексии использовалась отдельная модель `ruGPT-3 Small`⁹ (125 млн параметров). Мера повторения (англ. Repetition, Rep) [10] оценивает долю повторяющихся 4-грамм в тексте. Степень успеха (англ. Success Rate, SR) оценивает долю направляющих слов, появившихся в сгенерированном тексте.

⁸ <https://rusvectors.org/ru/models/>

⁹ https://huggingface.co/sberbank-ai/ruGPT3small_based_on_gpt2.

Результаты исследований, их обсуждение. В табл. 1 приведены средние значения мер перплексии, повторения и степени успеха, вычисленные для трех запусков генерации новостной статьи.

Таблица 1

Оценки качества генерации новостей

Стратегия генерации	λ_0	PPL	Rep, %	SR, %
Без управления	–	19,5 ± 1,5	0,51	0
Только направляющие слова	0,1	32,7 ± 1,5	0,00	100
	0,3	45,8 ± 6,0	1,00	100
	0,5	47,2 ± 10,5	0,49	100
Направляющий контекст	0,1	48,3 ± 4,1	1,98	100
	0,3	58,9 ± 15,8	3,96	100
	0,5	66,6 ± 9,5	0,00	100

Значения меры SR, представленные в табл. 1, показывают, что стратегия управляемой генерации обеспечивает появление в тексте 100% направляющих слов при любом протестированном начальном значении силы сдвига λ_0 . Анализируя значения меры Rep, можно заключить, что повторяемость текста наиболее сильная при использовании стратегии смещения оценок направляющего контекста. Максимальное значение Rep составляет 3,96%, что в 7,8 раза больше, чем при генерации без управления.

Наименьшее значение PPL получено для стандартной модели GPT-3 и составляет 19,5. Следует отметить, что чем меньше перплексия, тем лучше модель. Результаты эксперимента показывают, что при стратегии «направляющий контекст» перплексия оказывается больше, чем при стратегии «только направляющие слова». При этом с увеличением λ_0 растут значения PPL в каждой из двух стратегий управляемой генерации. Такой рост перплексии для исследуемого метода по сравнению с базовой моделью GPT-3 обусловлен тем, что корректировка значений функции оценки (2) с целью сохранения сюжетной линии текста является «неестественной» для модели. Это вызывает большее «удивление» модели токенам, наблюдаемым в тексте.

В табл. 2 приведены варианты продолжения затравки, сгенерированные в соответствии с заданным списком направляющих слов. Содержание автомати-

чески сгенерированных текстов соответствует сюжетной линии, заданной в виде последовательности слов. Полученные результаты могут быть полезны журналистам и блогерам при написании новых текстов.

Таблица 2

Примеры новостей, сгенерированные с помощью предложенного метода

<p>Затравка: В здании Новой Третьяковки представлен арт-объект на тему «Искусство в космическом пространстве», созданный по эскизам юных художников со всей России.</p> <p>Направляющие слова: работы для экспозиции, выставка, формат, здание галереи</p>
<p>Вариант 1 (стратегия «только направляющие слова»): Потрясающий коллаж из космической фантастики, собранный в космосе! «В центре этого художественного коллажа космические корабли, и космос работы для экспозиции «Связь» Нюрнбергского художественного музея» – так начинается сообщение в Twitter Новой Третьяковки. Выставка не только объединила художников и студентов, но и дала им возможность представить формат, который был выбран, – космический рисунок здания галереи.</p> <p>Вариант 2 (стратегия «только направляющие слова»): На первом этаже размещена интерактивная экспозиция «Космические корабли. Эпоха освоения Вселенной», а на втором – работы для экспозиции «Вселенской выставки» с элементами панно, графикой и объемными моделями. Аналитическая выставка «Музеи мира: их судьба и история» в выставочном зале музея была открыта в формате «Открытый город» – площадка для диалога. Здание галереи оформлено в стиле модерн, сочетающем традиции русского и европейского модерна.</p> <p>Вариант 3 (стратегия «направляющий контекст»): Работы для экспозиции представили юные москвички, ученики художественных мастерских, а также студенты-инженеры. «Мы хотели обратить внимание зрителей на красоту нашего города, его историю. Чтобы посетители выставки могли увидеть произведения нашего региона не только в России, но и за её пределами», – говорит глава пресс-центра учреждения Артем Хромушин. Также участники проекта предложили зрителям формат фотографий, на которых были бы запечатлены работы юных художников со зданием галереи, а также портреты авторов, запечатленные в космосе</p>

Выводы. В работе выполнен обзор современных подходов к автоматической генерации историй, разработан и исследован метод генерации историй на русском языке по заданной сюжетной линии. Наилучшие по качеству результаты показал вариант реализации метода, при котором модификация функции оценки выполняется только для направляющих слов. Полученные результаты могут быть применены в индустрии развлечений и медиа.

Библиографический список

1. Language models are unsupervised multitask learners / A. Radford, J. Wu, R. Child et al. // OpenAI blog. 2019. Vol. 1(8). URL: <https://openai.com/blog/better-language-models/> (accessed 08.02.2022).
2. Language models are few-shot learners / T. Brown, B. Mann, N. Ryder // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. Pp. 1877–1901.
3. Alhussain A. I., Azmi A. M. Automatic Story Generation: A Survey of Approaches // ACM Computing Surveys. 2021. Vol. 54. Is. 5. Pp. 1–38. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3453156> (accessed 08.02.2022).

4. Jain P., Agrawal P., Mishra A. Story Generation from Sequence of Independent Short Descriptions // Computing Research Repository. 2017. Pp. 1–7. URL: <https://arxiv.org/abs/1707.05501> (accessed 08.02.2022).
5. Fan A., Lewis M., Dauphin Y. Hierarchical neural story generation // Computing Research Repository. 2018. Pp. 1–11. URL: <https://arxiv.org/abs/1805.04833> (accessed 08.02.2022).
6. Plan-and-Write: Towards Better Automatic Storytelling / L. Yao, N. Peng, R. Weischedel et al. // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2019. Vol. 33(01). Pp. 7378–7385. URL: <https://ojs.aaai.org//index.php/AAAI/article/view/4726> (accessed 08.02.2022).
7. Automatic keyword extraction from individual documents / S. Rose, D. Engel, N. Cramer, W. Cowley // Text Mining: Applications and Theory. 2010. Pp. 3–20.
8. A Plug-and-Play Method for Controlled Text Generation / D. Pascual, B. Egressy, C. Meister et al. // Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021. 2021. Pp. 3973–3997. URL: <https://aclanthology.org/2021.findings-emnlp.334> (accessed 08.02.2022).
9. Korobov M. Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 2015. Pp. 320–332. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-26123-2_31 (accessed 08.02.2022).
10. Neural text generation with unlikelihood training / S. Welleck, I. Kulikov, S. Roller et al. // Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations. 2020. Pp. 1–17. URL: <https://openreview.net/forum?id=SJeYe0NtvH> (accessed 08.02.2022).

Алгоритм глубокого обучения на основе квантовой вариационной схемы

С. М. Гушанский^a, В. Е. Буглов^b, М. А. Козловская^c

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники ИКТИБ ЮФУ^a

аспирант кафедры вычислительной техники ИКТИБ ЮФУ^b

студент кафедры систем автоматизированного проектирования ИКТИБ ЮФУ^c

Южный федеральный университет, Таганрог, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: smgushanskiy@sfedu.ru^a, buglov@sfedu.ru^b, arhipenko@sfedu.ru^c

Аннотация. На сегодняшний день технология глубокого обучения активно развивается и применяется в таких областях машинного обучения, как компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, проектирование интеллектуальных и автоматизированных систем поддержки принятия решений. Актуальность данного направления объясняется стремительным развитием новых компьютерных архитектур, обладающих мощными вычислительными возможностями.

Цель настоящей работы заключается в переносе технологии глубокого обучения в среду квантовых вычислений для повышения точности получаемых результатов за счёт разработки алгоритма глубокого обучения на основе вариационной квантовой схемы.

Полученные результаты в дальнейшем могут использоваться для реализации полномасштабных квантовых вычислительных устройств, область применения которых связана со сферой информационных технологий.

Ключевые слова: квантовая обработка информации, квантовое машинное обучение, глубокое обучение, квантовая вариационная схема, нейронная сеть.

Введение. Область квантового компьютеринга в данный момент времени представляет собой перспективное направление исследований [1], поэтому в данной сфере также происходит активное развитие технологии машинного обучения с применением квантовых алгоритмов.

При этом существует проблема, связанная с тем, что крупномасштабные квантовые схемы не могут быть использованы на платформах квантовых вычислений из-за отсутствия оптимальных квантовых алгоритмов, исправляющих ошибки, возникновение которых способно привести к искажению квантовой информации [2]. Для решения подобной проблемы применяются вариационные квантовые схемы [3], в основе которых лежит принцип квантовой запутанности [4], способствующий уменьшению квантовой модели до минимальных размеров. Подобные вариационные квантовые схемы успешно применяются, как правило, в классических алгоритмах классификации и кластеризации разнообразных наборов данных.

Методы исследования. Квантовое глубокое обучение состоит в аппроксимации функции оптимизации $Q^*(s, a)$ за счёт минимизации потерь, возникающих в процессе определения среднеквадратичной ошибки (формула 1).

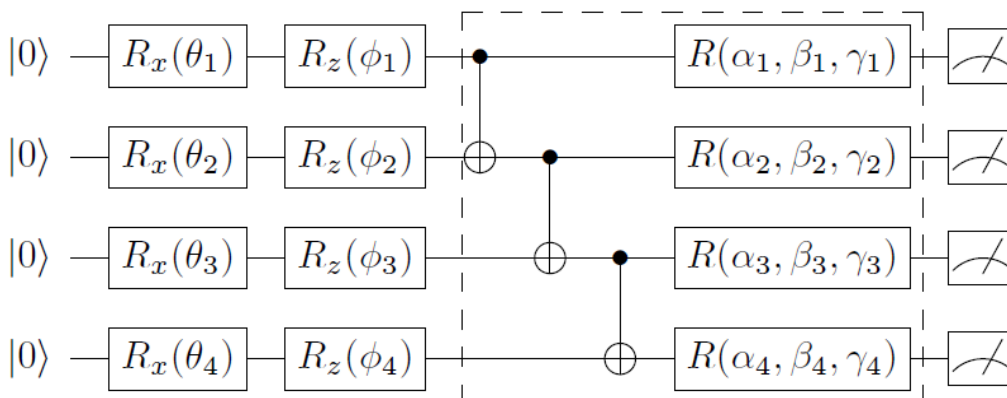
$$L(\theta) = E \left[\left(r_t + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a'; \theta^-) - Q(s_t, a_t; \theta) \right)^2 \right], \quad (1)$$

где $Q(s_t, a_t; \theta)$ – прогнозируемое значение, а θ в нём – это параметр запутанности обучаемой нейросети; $r_t + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a'; \theta^-)$ – целевое значение, а s_{t+1} в нём – состояние, в котором находится функция минимизации после перехода из s_t в состояние a_t .

Как было отмечено в [5], в процессе функционирования алгоритмов квантового машинного обучения, которые основаны на вариационных квантовых схемах, вероятность возникновения критических квантовых ошибок минимальна. Поэтому стоит задача расширить вычислительную мощность вариационной квантовой схемы за счёт оптимизации её архитектуры (см. рисунок).

Вариационная квантовая схема представляет собой гибридный квантово-классический подход, в котором используются преимущества квантовых и классических вычислений. В данном случае выполняется настройка параметров, являющихся прямым аналогом весов нейронов в искусственных нейросетях (далее – ИНС), которые итеративно оптимизируются классическим компьютером.

Использование квантовой схемы обуславливается тем, что для её функционирования требуется меньшее количество входных параметров, чем для классической ИНС, что повышает производительность системы.



Архитектура вариационной квантовой схемы, используемой для глубокого обучения

Результаты исследований, их обсуждение. Как видно из рисунка, для представления всех состояний требуется четыре кубита. Однокубитные вентили $R_x(\theta)$ и $R_z(\theta)$ осуществляют повороты вдоль осей x и z на заданный угол θ . Гейт CNOT осуществляет запутывание квантовых состояний каждого кубита, а общий однокубитный унитарный вентиль $R(\alpha, \beta, \gamma)$ включает в себя три параметра – $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$, которые используются в процессе итеративной оптимизации. Параметры θ_i и ϕ_i обрабатывают исходное состояние и не оптимизируются в ходе обучения.

Таким образом, квантовая часть вариационной квантовой схемы принимает два набора параметров и выводит результаты измерений, которые определяют возможные действия.

Далее представлен алгоритм глубокого обучения на основе вариационной квантовой схемы.

Алгоритм глубокого обучения на основе вариационной квантовой схемы

Инициализация памяти D

Инициализация функции активации вариационной квантовой схемы Q с произвольными параметрами

for итерация = 1, 2, ..., M **do**

Инициализация состояния s_1 с последующим кодированием в соответствующее квантовое состояние

for $t = 1, 2, \dots, T$ **do**

Выбор случайного действия a_t , имеющего вероятность ϵ

В противном случае выбор действия $a_t = \max_a Q^*(s_t, a; \theta)$, сформированного на выходе квантовой схемы

Оценка полученного результата r_t от нахождения в состоянии s_{t+1}

Преобразование состояний (s_t, a_t, r_t, s_{t+1}) в D

Оценка полученной мини-выборки при извлечении состояний (s_j, a_j, r_j, s_{j+1}) из D

Выбор $y_j = \begin{cases} r_j & \text{из } s_{j+1} \\ r_j + \gamma \max_{a'} Q(s_{j+1}, a'; \theta) & \text{не из } s_{j+1} \end{cases}$

Выполнение градиентного спуска на $(y_i - Q(s_j, a_j; \theta))^2$

end for

end for

Точность работы предлагаемого алгоритма, полученная в процессе его запуска на эмуляторе IBM Q

Эксперимент	1	2	3	4	5	6
Количество итераций	10	15	30	50	75	100
Точность	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,94

К настоящему моменту известные квантовые алгоритмы машинного обучения относят к трём основным группам [7]: точное обучение на основе запросов принадлежности, вероятно приблизительно корректное обучение, агностическое обучение. Предлагаемый алгоритм глубокого обучения на основе вариационной квантовой схемы относится к классу точного обучения. За счёт использования вариационной квантовой схемы и её особенностей, которые отмечены в п. Методы исследований, в процессе обучения предлагаемый алгоритм функционирует с большей точностью относительно имеющихся аналогичных алгоритмов (точность работы предлагаемого алгоритма приведена в таблице). Это становится возможным благодаря осуществлению квантовых запросов, находящихся в квантовой суперпозиции.

Выводы. В данной работе был предложен алгоритм глубокого обучения на основе вариационной квантовой схемы, который обладает квантовым преимуществом с точки зрения меньшего потребления памяти и уменьшения параметров модели, а также с точки зрения точности работы.

Как известно, ИНС является универсальным аппроксиматором [6]. Таким образом, одна нейронная сеть со скрытым слоем обладает возможностью выполнять аппроксимацию любой вычислимой функции. При этом число нейронов, находящихся в таком скрытом слое, может быть очень большим, поэтому данной модели присуще множество параметров. Так как в процессе применения технологии машинного обучения помимо возможности аппроксимации необходимо учитывать количество ресурсов, потребляемых моделью, необходимо использовать предлагаемый алгоритм глубокого обучения.

Библиографический список

1. Перспективы квантовых компьютеров: от истоков к настоящему состоянию URL: <https://goo.su/Qe2> (дата обращения: 17.01.2022).
2. Гушанский С. М., Буглов В. Е., Козловская М. А. Коррекция ошибок квантовых битов в сверхпроводящих схемах // Наука, технологии, общество (НТО-2021) : сб. тр. Всерос.

науч. конф., г. Красноярск, 29–31 июля 2021 г. ; Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2021. С. 35–40.

3. Chen S. Y.-C., Yang C.-H. H., Qi J. et al. Variational quantum circuits for deep reinforcement learning // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 141. 007–141 024.

4. Квантовая запутанность. URL: <https://goo.su/9uiK> (дата обращения: 19.01.2022).

5. Kandala A., Mezzacapo A., Temme K. et al. Hardware-efficient variational quantum eigensolver for small molecules and quantum magnets // Nature. 2017. Vol. 549. Pp. 242–246. Sept.

6. Гушанский С. М., Буглов В. Е., Подорога Е. А. Анализ процессов обучения и использования квантовых нейронных сетей // Наука, технологии, общество (НТО-2021) : сб. тр. Всерос. науч. конф., г. Красноярск, 29–31 июля 2021 г. ; Красноярск : Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2021. С. 29–34.

7. Квантовое машинное обучение. URL: <https://goo.su/a00a> (дата обращения: 19.01.2022).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01082\20.

Система дистанционного обучения студентов в вузе с точки зрения измененной роли преподавателя в учебном процессе

И. Н. Демидова

старший преподаватель кафедры высшей математики. Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Российская Федерация.

E-mail: demidovain@m.usfeu.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обсуждению актуальной темы нашего времени – дистанционному обучению. Цель статьи – показать, что несмотря на развитие обучения на расстоянии и достижения современных технологий, дистанционное образование сохраняет отрицательные черты. Автор проводит анализ на разборе фрагмента занятия по изучению темы «Уравнение прямой на плоскости». Подача материала осуществляется с помощью современных информационных технологий, что, безусловно, имеет ряд преимуществ. Но при переходе к решению практических задач обучающиеся сталкиваются с проблемами их решения. На основе изложенного автор приходит к выводу, что причиной неудовлетворённости дистанционным обучением является недостаток контакта обучающихся с преподавателем.

Ключевые слова: дистанционное обучение, преимущества электронных технологий, проблемы при решении практических задач, недостаток контакта с преподавателем.

Введение. Тема дистанционного обучения на сегодняшний день является одной из самых обсуждаемых. Дистанционному обучению, а также онлайн-курсам посвящено много статей. Об этой форме обучения спорят, перечисляют преимущества в отличие от традиционной формы, или наоборот, выказывают отрицательное отношение.

Бесспорно, что удалённое обучение выигрывает в условиях пандемии. И надо признать, что дистанционное обучение спасло от остановки образовательного процесса в ситуации с COVID. Прошло два года с начала распространения коронавируса. Все ограничения в целях предотвращения эпидемии не остановили образовательного процесса. Вузы перестроились на удаленную работу.

С помощью различных платформ преподаватели вузов продолжали выполнять свою работу. Студенты знакомились с программой своего курса, изучали материалы дисциплин через электронную информационно-образовательную среду учебного учреждения. В нашем вузе связь преподавателей кафедры высшей математики со студентами осуществлялась (и по настоящее время продолжает осуществляться) через систему Moodle.

История развития удалённого обучения берёт начало с 1728 года, когда в бостонской газете появилось объявление о наборе студентов на курсы, уроки

которых высылались почтой. В середине XIX века в Берлине, а затем в США стали создаваться институты заочной формы. Изобретение радио, а в дальнейшем и телевизора дало новый толчок в развитии этого вида обучения. На протяжении XX века образование на расстоянии поднялось на более высокий уровень. Новые технологии предлагали и новые формы работы с учащимися. В 1960-е годы дистанционное образование получило международное признание и стало активно развиваться при поддержке ЮНЕСКО [5]. На сегодняшний день практически нет ни одной страны, где не использовалось бы дистанционное обучение.

Новый этап дистанционного образования наступил с использованием компьютеров и особенно с выходом в Интернет. В настоящее время в глобальной сети Интернета можно найти любую интересующую тему. Такая возможность сокращает время и упрощает поиск информации. Образовательные учреждения стали использовать различные электронные технологии. Система Интернета совершенствуется, так же совершенствуются и технические возможности дистанционного обучения, в частности создание онлайн-курсов, которые так рекламируются в нынешней системе образовательных учреждений. Современные цифровые инструменты позволяют качественно построить процесс обучения для любого желающего. С помощью учебных платформ студент может изучать учебные материалы, слушать лекции по видеороликам, проходить тесты для самостоятельной оценки полученных знаний, выходить на связь как со своими одноклассниками, так и с преподавателем.

В чём же причина критики? Почему родители учеников выступают против удалённого обучения в школе? Почему большая часть студентов высших учебных заведений предпочитают очное обучение?

Несложно понять, почему в «рукописную эру» обучение на расстоянии не получило хорошего эффекта. Исследования, проводимые в 1890-е годы компаниями, предоставляющими услуги дистанционного обучения, показали, что доступность данного вида образования не приводит к всеобщему повышению образованности в обществе. Но и в наше время, несмотря на электронные воз-

возможности учебных заведений, различных программных обеспечений, остаются проблемы такого вида обучения.

Эпидемиологическая ситуация в мире, вынудившая вузы с очного обучения перейти на удалённое, породила всплеск выпуска статей, посвящённых данной теме [1]. Почти каждая статья начинается с описания преимуществ электронного обучения, но при ознакомлении с результатами исследований, проводимых среди своих студентов, авторы отмечают, что большая часть обучающихся либо не усвоили программу, либо выказали отрицательное отношение к дистанционному обучению. И в нашем вузе с целью выявления особенностей дистанционного обучения по математике среди обучающихся первого курса было проведено исследование проблем, возникающих в организации и использовании дистанционных технологий [4]. Один из вопросов анкеты был направлен на выяснение предпочтения способа обучения. Преобладающее большинство обучающихся выбрали обучение в контакте с преподавателем.

Чтобы лучше разобраться в противостоянии этих двух форм обучения, надо глубже вникнуть в практическую сторону этой деятельности.

Методом исследования особенностей дистанционного обучения будет разбор фрагмента занятия при изучении темы «Уравнение прямой на плоскости». Не будем повторять перечисление множества преимуществ электронного обучения.

Отметим главные:

- Преподавание в вузе разделяется на лекционные и практические занятия. Традиционно лекции читались преподавателем для большой аудитории, которая часто достигала 100 человек и более. Поэтому, чтобы удерживать внимание и интерес к обсуждаемому материалу во время лекции у такого количества живых людей, нужно обладать талантом оратора. Но не каждый преподаватель вуза имеет такие способности, хотя, как специалист, свой предмет знает очень хорошо.

- Второе: лекцию студент должен записывать. И пишет он не под диктовку преподавателя, а то, что услышит и посчитает главным. При этом может пропустить важные детали, или написать почерком, который сам потом не сможет разобрать [2].

- Моментальная обратная связь получения результатов при выполнении самостоятельной работы с помощью электронных тестов.

Перечисленные пункты действительно открывают новые возможности современных информационных технологий обучения. При использовании специальных программных и технических средств могут заменить преподавателя с лучшим эффектом. Но, как часто бывает, даже в самых лучших и эффективных расчётах возникают непредвиденные проблемы.

Используя современные технологии, материал представим в виде слайдов.

Уравнения прямой на плоскости

1) *Общее уравнение прямой*

$$Ax + By + C = 0 \quad (1)$$

Коэффициенты А, В и С принято записывать в виде целых чисел

2) *Уравнение прямой с заданным угловым коэффициентом*

$$y = kx + b \quad (2)$$

Данное уравнение известно из школьного курса математики.

Напомним, что угловым коэффициентом называется тангенс угла наклона прямой к положительному направлению оси абсцисс: $k = \operatorname{tga}$

Если угол наклона острый, то угловой коэффициент $k > 0$;

Если угол наклона тупой, то угловой коэффициент $k < 0$;

Если прямые параллельны, то угловые коэффициенты равны: $k_1 = k_2$;

Если прямые перпендикулярны, то выполняется: $k_1 \cdot k_2 = -1$

3) *Уравнение прямой, проходящей через данную точку $M_0(x_0; y_0)$,*

с заданным угловым коэффициентом k

$$y - y_0 = k(x - x_0) \quad (3)$$

Пример 1

Составить уравнение прямой, проходящей через точку $M(2; -3)$ параллельно прямой

$$y = 5x + 11.$$

Решение. Вторая прямая задана уравнением с угловым коэффициентом $k=5$. Из условия параллельности прямых угловые коэффициенты равны. Следовательно, мы имеем точку, через которую проходит прямая, и знаем её угловой коэффициент.

Нам подходит уравнение вида (3) $y - y_0 = k(x - x_0)$.

Подставим числа: $y - (-3) = 5 \cdot (x - 2)$.

Раскроем скобки и упростим: $5x - y - 13 = 0$.

Запишем уравнение прямой в общем виде

5) Уравнение прямой, проходящей через данную точку $M_0(x_0; y_0)$ и имеющей заданный направляющий вектор $\vec{s} = (m; n)$:

$$\frac{x-x_0}{m} = \frac{y-y_0}{n} \quad (5)$$

Направляющим вектором прямой называется всякий ненулевой вектор, параллельный этой прямой.

Уравнение (5) носит название *канонического уравнения прямой*

6) Уравнение прямой, проходящей через две данные точки $M_1(x_1; y_1)$ $M_2(x_2; y_2)$:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \quad (6)$$

Пример 2

Составить уравнение прямой, проходящей через точки А(2; 3) и В(7; 5).

Р е ш е н и е. Подставив в формулу (6) $\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}$ координаты данных точек, получим

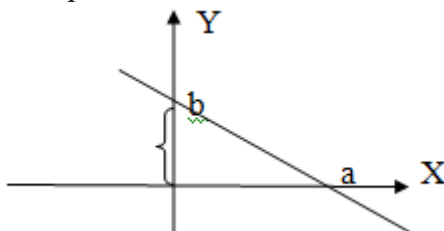
$\frac{y-3}{5-3} = \frac{x-2}{7-2}$, откуда $\frac{y-3}{2} = \frac{x-2}{5}$, или $5(y-3) = 2(x-2)$. Раскроем скобки и упростим.

В общем виде запишем $2x - 5y + 11 = 0$

7) Уравнение прямой в отрезках

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 \quad (7)$$

Уравнением прямой в отрезках удобно пользоваться для построения прямой, так как числа а и b указывают, какие отрезки прямая отсекает на соответствующих осях координат.



Пример 3

Записать уравнение прямой $2x - 3y - 18 = 0$ в «отрезках».

Р е ш е н и е. Преобразуем данное уравнение к виду $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$.

Перенесём 18 в правую часть, а потом обе части разделим на 18.

$$2x - 3y = 18$$

$\frac{2x}{18} - \frac{3y}{18} = 1$, сократим дроби и запишем в виде формулы:

$$\frac{x}{9} + \frac{y}{-6} = 1$$

4. Правило составления уравнения прямой

Во всех случаях составления прямой обязательно должна быть известна хотя бы одна точка, через которую проходит искомая прямая. Кроме того, должно быть задано какое-либо условие: параллельность, перпендикулярность или вторая точка, принадлежащая прямой

Слайды представлены в виде шаблонов. Их можно оформить более красочно, добавить рисунки. Но цель данного занятия заключается в другом. Тема «Уравнение прямой на плоскости» относится к разделу математики «Аналити-

ческая геометрия». Поэтому изучение данного материала предполагает не просто знание формул, а с помощью этих формул проведение анализа на геометрические фигуры. После изучения теоретического материала переходим к решению задач.

Как применять новые формулы, в показано нескольких примерах.

Рассмотрим задачу посложнее.

Задача

Вычислить координаты вершин ромба, если даны уравнения двух его сторон:

$$x + 2y = 4 \text{ и } x + 2y = 10, \text{ уравнение диагонали } y = x + 2.$$

Решение. Первое затруднение, с которым сталкивается студент, – это изменение формулировки. В приведённых примерах вопрос начинается с составления уравнения прямой. В этой задаче – найти координаты вершин ромба.

Эта задача заставляет провести анализ данных, формирует умение наблюдать, организовать поиск решения, оперировать не только маленькими порциями учебного материала, но и проверить знания, полученные ранее [3]. Если обучающиеся сидят по одиночке, то, кроме вопроса в чате «ну, и как решить эту задачу?», ничего не появится. Успех решения данной задачи в значительной степени зависит от логического построения, которым будет руководить преподаватель. И контакт с преподавателем совсем не значит «делай, как я сказал». Познавательной деятельностью можно управлять и направлять. Вопросы:

- Что такое ромб?
- Коэффициенты одинаковы при x и y , что это значит? Ответ: прямые параллельны, значит, проходят через противоположные стороны ромба.
- Что называется диагональю ромба? Отрезок, соединяющий вершины ромба. Значит, можно найти координаты двух противоположных вершин ромба, решив системы:

$$\bullet \begin{cases} x + 2y = 10 \\ x - y = -2 \end{cases}; \quad A(2;4); \quad \begin{cases} x + 2y = 4 \\ x - y = -2 \end{cases}; \quad C(0;2).$$

- Вспомним свойства диагоналей ромба: диагонали ромба взаимно перпендикулярны и точкой пересечения делятся пополам. Угловой коэффициент

диагонали $k_1 = 1$, тогда $k_2 = -1$. Ещё найдём точку, середину отрезка AC. O (1;3).

- Используем формулу уравнения прямой (3). $y - 1 = -1(x - 3)$. Раскроем скобки, упростим: $x + y = 4$. Получили уравнение второй диагонали.

- Аналогично решим две системы, чтобы найти точки пересечения второй диагонали с противоположными сторонами.

$$\begin{cases} x + 2y = 10 \\ x + y = 4 \end{cases}; \quad B(-2; 6); \quad \begin{cases} x + 2y = 4 \\ x + y = 4 \end{cases}; \quad D(4; 0).$$

Устанавливают стратегию и тактику ведения практического занятия. И цель решения этой задачи заключается совсем не в том, что потом в жизни им пригодится этот ромб. На задачах математики они учатся выстраивать логическую цепочку своих рассуждений, приобретают опыт в поиске выхода из создавшейся трудной ситуации.

Выводы. Основная цель образования заключается в том, чтобы научить учиться. Человек должен быть готов к постоянному обучению, а также быть способен к сотрудничеству, работе в команде. И контакт с преподавателем создаёт особую атмосферу этого процесса. Его любовь к своему предмету передаётся слушателям, желание раскрыть тайну знаний порождает интерес к дальнейшему познанию.

Именно отсутствие контакта с преподавателем и является основным недостатком дистанционного образования. Ввиду насыщения информационными технологиями педагогической сферы возникло стремление сократить учебные часы в преподавании математики. Процесс сокращения учебных часов отрицательно сказывается на подготовке молодых людей к практической жизни. Не получая полноценного опыта при совместной деятельности с однокурсниками и преподавателем, они остаются не готовыми к самостоятельной деятельности.

Технический прогресс неоспоримо идёт вперёд, совершенствуется. Его не остановить, да и не нужно его останавливать и препятствовать ему. Можно только предположить, какие фантазии в будущем станут реальностью с помощью достижений IT-разработчиков. Образовательные центры и даже репетито-

ры свою деятельность начали осуществлять через Интернет. Молодое поколение хорошо ориентируется в информационных ресурсах, активно используя сервисы электронной образовательной среды.

Поэтому, отслеживая развитие удалённого образования, можно предположить, что в будущем обучение на расстоянии сможет исключить свой недостаток, а именно нехватки контакта с преподавателем.

Библиографический список

1. Кравченко Г. В. Педагогические особенности организации дистанционного обучения в среде Moodle // Известия АлтГУ. 2015. № 3 (87). Т. 1. С. 59–63.

2. Математика в вузе: проблемы и перспективы / Т. Ю. Халтурина // Наука – образование – производство: опыт и перспективы развития : сб. материалов XIV междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти доктора технических наук, профессора Е. Г. Зудова (8–9 февраля 2018 г.). Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2018. С. 206–210.

3. О лекционном изложении вопроса о построении уравнения линейной стохастической зависимости между двумя случайными величинами в курсе теории вероятностей / А. Ю. Вдовин, С. С. Рублёва // Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном пространстве : сб. ст. V Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. Курск, 2021. С. 43–48.

4. Особенности дистанционного обучения студентов первого курса УГЛТУ / Е. С. Федоровских // Эффективный ответ на современные вызовы с учётом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : сб. материалов XIII междунар. науч.-техн. конф. УГЛТУ. Екатеринбург, 2021. С. 639–642.

5. Поздняков В. А. Электронное обучение в современных условиях: цели и технологии // Образование в современном мире : сб. науч. ст. / под ред. Ю. Г. Голуба. Саратов, 2014. Вып. 9. С. 87–94.

Цифровая модель для оценки напряженности электрического поля в межвитковой изоляции

А. П. Леонов^а, С. В. Колесников^б, В. О. Исаков^с

кандидат технических наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники^а
старший преподаватель отделения электроэнергетики и электротехники^б
аспирант группы А0-27^с

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: leonov_ap@tpu.ru^а, svk3@tpu.ru^б, voi2@tpu.ru^с

Аннотация. Приведена цифровая модель, позволяющая определить напряженность электрического поля в межвитковой изоляции низковольтных обмоток электрических машин, питаемых источником широтно-импульсного напряжения. Показано: в условиях ШИМ-питания напряженность электрического поля достигает величины, достаточной для появления частичных разрядов в межвитковой изоляции.

Объектом исследования является межвитковая изоляция статорной обмотки электродвигателя, работающего в системе частотно-регулируемого привода.

Цель исследования – разработка цифровой модели электрического поля в межвитковой изоляции статоров двигателей, питаемых полупроводниковыми преобразователями – автономными инверторами напряжения на базе широтно-импульсной модуляции.

Решаемые задачи: создание цифровой модели межвитковой изоляции с использованием программного обеспечения численного моделирования; изучение распределения напряженности электрического поля для определения мест потенциальной локализации частичных разрядов в условиях ШИМ-питания.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, межвитковая изоляция, частотное регулирование, цифровая модель, численное моделирование, широтно-импульсная модуляция.

Введение. С развитием полупроводниковой техники начато активное внедрение силовых полупроводниковых силовых ключей в системы электроприводов. Такие системы позволяют осуществлять плавный пуск и регулирование скорости вращения электродвигателя [1]. Система, включающая в себя двигатель и полупроводниковый автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), называется частотно-регулируемым приводом (ЧРП). Наибольшее распространение в таких системах получили IGBT-транзисторы [2].

ШИМ-напряжение, сформированное автономным инвертором, имеет в своём составе гармоники высшего порядка, появление которых обусловлено высокой скоростью коммутации IGBT-транзисторов. Поступая в обмотку двигателя, ШИМ-напряжение может приводить к появлению частичных разрядов [3]. Это оказывает значительно большее воздействие на диэлектрические изоляционные материалы обмоток, нежели питание от синусоидального источника

промышленной частоты – значительно ускоряются процессы старения низко-вольтных обмоток, что, в свою очередь, приводит к заметному снижению эксплуатационных характеристик, а впоследствии – к пробое изоляции и выходу из строя электродвигателя, входящего в состав ЧРП [4].

Методы исследования. Межвитковую изоляцию статорной обмотки можно представить в виде двух проводников, покрытых слоем изоляционного материала (эмалевой изоляции), расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Таким образом, возможны два случая расположения проводников относительно друг от друга:

1) Проводники находятся на таком расстоянии друг от друга, что между ними присутствует зазор – $g > 0$.

2) Проводники находятся на таком расстоянии друг от друга, что между ними отсутствует зазор – $g = 0$.

Зона, расположенная в области наименьшего зазора между проводниками обмотки, характеризуется наибольшей напряженностью с преобладающей нормальной составляющей напряженности \bar{E}_n поля, перпендикулярной поверхности изоляции проводов. Напряженность поля в изоляции значительно меньше напряженности поля в зазоре g из-за разницы в относительной диэлектрической проницаемости (для изоляционной эмали $\epsilon_r \approx 3..4$ для твердой изоляции).

В зоне, охватывающей область большего зазора между двумя проводниками обмотки в дополнение к нормальной составляющей поля \bar{E}_n , присутствует тангенциальная составляющая \bar{E}_τ .

Распределение напряженности электрического поля в системе двух проводников, представляющих собой упрощённую двумерную модель межвитковой изоляции статора, было численно смоделировано с использованием программного обеспечения COMSOL Multiphysics.

Результаты моделирования. Картина распределения напряженности электрического поля в случае нахождения двух проводников на некотором расстоянии друг от друга представлена в двухмерном пространстве на рис. 1 с обозначением характерных точек напряженности электрического поля.

Первая характерная точка расположена в месте изоляции, находящемся в наименьшем расстоянии от другого проводника, напряженность электрического поля в данной точке более 7 кВ/мм.

Вторая характерная точка находится на расстоянии, приблизительно в два раза превышающем расстояние между проводниками для первой характерной точки, здесь напряженность электрического поля достигает около 4 кВ/мм.

Третья характерная точка имеет наименьшую напряженность электрического поля – 2 кВ/мм, после которой по мере увеличения зазора между проводниками значительного снижения напряженности не наблюдается.

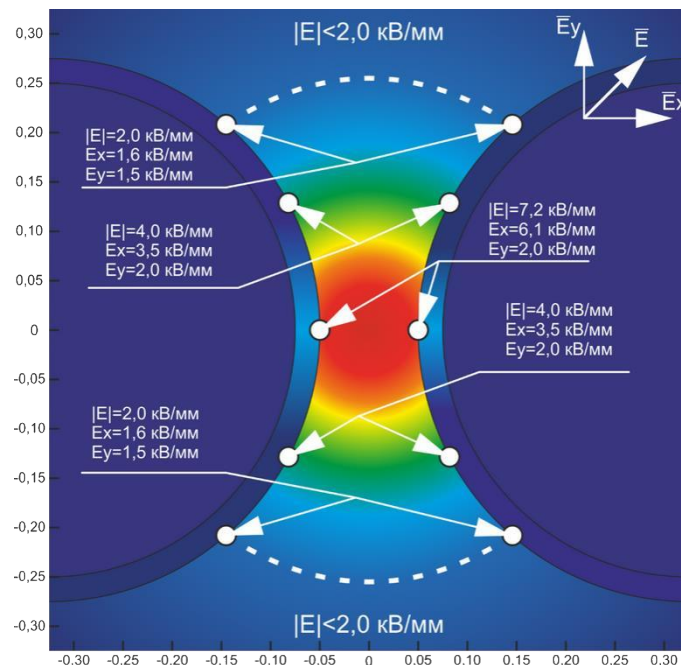


Рис. 1. Двумерное распределение напряженности электрического поля между двумя параллельными проводниками, расположенными на некотором расстоянии друг от друга (диаметр токопроводящей жилы выбранного проводника – $D_{\text{п}} = 0,5$ мм, диаметр по изоляции – $D_{\text{пи}} = 0,55$ мм, зазор между проводниками – $g = 0,1$ мм)

Картина распределения напряженности электрического поля в случае отсутствия зазора между двумя проводниками представлена в двухмерном пространстве на рис. 2 с обозначением характерных точек напряженности электрического поля.

Первая характерная точка расположена в месте соприкосновения изоляции двух проводников, напряженность электрического поля в данной точке составляет 19,5 кВ/мм.

Вторая характерная точка находится в поверхности изоляции проводника, в которой значение напряженности электрического поля примерно в два раза меньше напряженности в точке соприкосновения проводников – 9,7 кВ/мм.

Третья характерная точка имеет наименьшую напряженность электрического поля – 2 кВ/мм, после которой по мере увеличения зазора между проводниками значительного снижения напряженности не наблюдается.

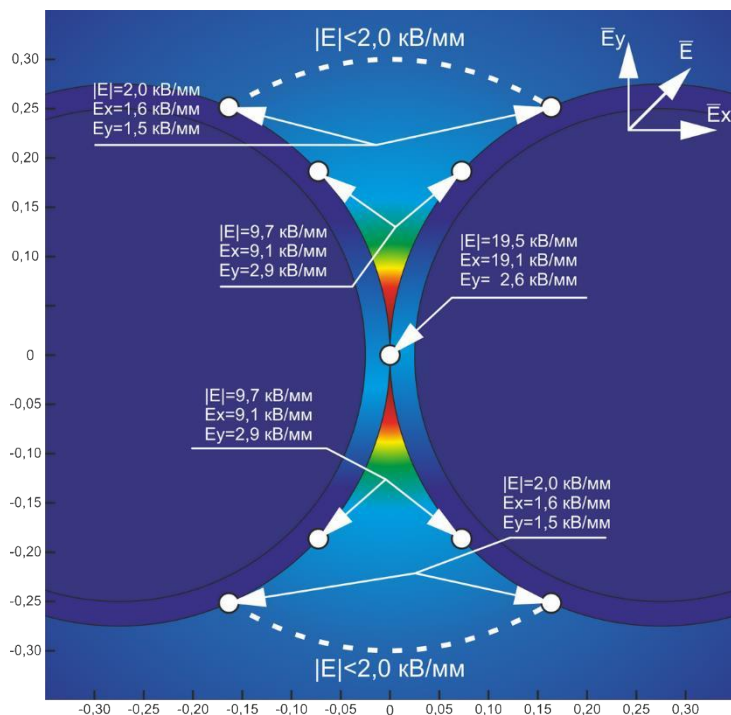


Рис. 2. Двумерное распределение напряженности электрического поля для двух параллельных проводников в отсутствии зазора (диаметр токопроводящей жилы выбранного проводника – $D_{\text{п}} = 0,5$ мм, диаметр по изоляции – $D_{\text{пи}} = 0,55$ мм, зазор между проводниками отсутствует – $g = 0$ мм)

Выводы. Построенные модели с картинками напряженности электрического поля показывают, что наибольшее значение напряженности электрического поля E характерно в точке соприкосновения проводников. С учётом электрической прочности воздуха, равной 3 кВ/мм, возникающие между проводниками напряжённости являются достаточными для возникновения частичных разрядов. По мере увеличения воздушного зазора между проводниками вероятность возникновения частичных разрядов снижается. В области, где напряженность электрического поля составляет менее 2 кВ/мм, вероятность возникновения частичных разрядов минимальна.

Перспектива дальнейшего изучения темы заключается в развитии цифровых моделей, отображающих свойства реальных низковольтных изоляционных систем в составе ЧРП, которые будут отображать потенциально формирующиеся дефекты и их влияние на продолжительность работы электродвигателя.

Библиографический список

1. Зайцев А. И., Лядов Ю.С. Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении // Электротехнические комплексы и системы управления. 2006. № 2. С. 35–37.
2. Базуткин В. В., Ларионов В. П., Пинталь Ю. С. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах : учеб. для вузов / под ред. В. П. Ларионова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1986. 464 с.
3. Похолков Ю. П., Леонов А. П., Коробцов А. А. Изоляция обмоток низковольтных асинхронных двигателей // Электричество. 2012. № 6. С. 52–54.
4. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным управлением. М. : Академия, 2006. 272 с.

Внедрение языка Python в учебный процесс университета

В. А. Печенев^а, В. В. Побединский^б

магистрант^а, доктор технических наук, кафедра интеллектуальных систем^б

Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Российская Федерация^б

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация^а

E-mail: pobed@e1.ru^б, pechenevva@m.usfeu.ru^а

Аннотация. В статье выполнен анализ особенностей языка Python для оценки перспективы его использования в учебном процессе университета. Исходя из цели и планируемых задач, проводилось сравнение его с другими языками, исследовались сфера применения, среда разработки, возможность использования его под лицензией свободного программного обеспечения, интеграция с другими языками, сложность освоения. Также изучались перспективы использования языка в дальнейшей профессиональной деятельности и спрос производства на специалистов с такими компетенциями. В результате всестороннего анализа особенностей языка определена его целесообразность и перспективность внедрения в учебный процесс университета в учебные планы направления 09.00.00 Информатика.

Ключевые слова: язык программирования, язык программирования Python, учебный процесс университета.

Введение. Как известно, язык программирования составляют лексические единицы – это функции, операторы, подпрограммы и др. С их использованием и по определенным семантическим правилам пишутся программы, которые распознаются компьютером. Языков программирования существует большое количество, и создаются всё новые и новые. Чаще всего это делается для удобства решения каких-либо конкретных задач и реже для отдельно созданного нового устройства.

В учебном процессе направления 09.00.00 «Информатика» изучение языка программирования является одной из профилирующих дисциплин. На сегодня наиболее распространен язык C# благодаря хорошей интеграции в ОС семейства Windows и весьма удобной и развитой среде разработки Visual Studio. Однако за последнее время еще один язык – Python – стремительно набрал популярность и занял самые первые места в языковых рейтингах. Этому явлению имеются объективные причины, поэтому возникла необходимость более подробно изучить особенности языка с целью целесообразности и перспектив его использования в учебном процессе названного учебного направления, что и являлось **целью настоящей работы.**

Задачи исследования:

- цель изучения и дальнейшее применение знаний языка;
- сфера применения языка;
- сравнение языка по основным характеристикам с другими;
- сложность освоения студентами;
- возможность интеграции с другими языками;
- перспективы в профессиональной деятельности, востребованность работодателями;
- тип лицензии, принадлежность к свободному программному обеспечению (СПО);
- среда разработки.

Учет цели изучения языка, планируемых задач и области применения. При выборе языка для изучения в первую очередь ориентируются на тот класс задач, который планируется в дальнейшем. Если будут разрабатываться сложные эффекты для веб-приложений, сайтов, то следует использовать JavaScript, CSS и HTML, PHP. Под мобильную разработку использовать Swift для iOS и Java/Kotlin для Android. Но эти языки сложные для начального уровня освоения, и нужен определенный опыт в программировании. Если будут создаваться прикладные программы, сервисы, скрипты, то наиболее подходящими будут мощные универсальные языки для любых задач Python, Java или C#.

Python является универсальным инструментом. Он запланирован как язык, в котором предусмотрено дописывать пользовательские модули, функции и легко расширять его функциональные возможности. Что очень важно, он является кроссплатформенным. Он может использоваться как разработчиками системного ПО, так и математиками, физиками для, например, оптимизации работы с данными или графикой, дизайнерами для написания на нем скриптов в 3D-редакторе, архитекторами для генерации сложных конструктивных решений. Язык используется практически во всех IT-сферах – от системного администрирования до Data Science.

Из сфер применения Python можно указать следующие.

1. Компьютерная безопасность. Тесты на несанкционированное проникновение, анализ систем безопасности – разработка такого типа программного обеспечения может выполняться на Python.

2. Обеспечение качества ПО. Тестирование программного обеспечения, автоматическое тестирование, отладка – для любой области может быть написан тест.

3. Маркетинг. Можно собирать информацию с помощью приложений на Python о пользователях сайта или социальных сетей Facebook, Google и Twitter, а затем создавать эффективную адресную рекламу и многое другое.

4. Научные исследования. Обработка математических и статистических данных, обработка результатов экспериментов во всех известных областях науки.

5. В сфере машинного обучения обрабатываются большие массивы данных, и язык Python обеспечит будущее этого направления.

6. Для веб-разработки Python более эффективен, чем традиционный PHP.

7. Достаточно широко язык используется в области автоматизации. На многих компьютерах он установлен по умолчанию и конкурирует с Bash на Linux и PowerShell в Windows в удобстве написания скриптов для выполнения рутинных действий по администрированию операционной системы. Кроссплатформенность непосредственно языка и его библиотек делает его эффективным для унифицированной автоматизации задач системного администрирования в гетерогенных средах, где одновременно имеются компьютеры с операционными системами различных типов.

8. Сценарии для компьютерных игр, например, известные World of Tanks и EVE Online или графические редакторы Blender и GIMP тоже пишутся на нем.

9. Мобильные и веб-приложения, например Instagram, Reddit, Dropbox, пишутся на Python.

10. Data Science (машинное обучение, аналитика).

На сегодня по удобству и возможностям языку Python нет равных при работе с большими данными, машинным обучением и нейросетями. С его помо-

шью гиганты IT-индустрии, например, анализируют предпочтения пользователей в кинопродукции (Netflix) и музыке (Spotify), предлагают перечни покупок (Amazon), агрегируют такси (Uber) и создают другие сервисы. К сожалению, здесь нужно отметить, что такие предпочтения выявляются на основе обработки больших наборов данных, полученных в результате тотальной слежки и полного контроля над личными данными народонаселения.

Особенности освоения и сравнительный анализ языка. Язык Python относительно несложен в освоении, потому что его синтаксис более понятен для новичка, а сам код выглядит логично и строго. К определенному недостатку относят простоту языка (хотя на первый взгляд это преимущество). Так, у программистов, привыкших к простому синтаксису, часто возникают трудности при переходе на более сложные языки, такие как Java, C, C++.

Для сравнения приведем примеры вывода слов “Hello World” на языках IronPython и C#.

```
На языке C#:
using System;
class Hello
{
static void Main(string[] args)
{
Console.WriteLine("Hello World");
}
}[1]
Этот же пример на IronPython:
print "Hello World" [1]
```

Как видим, длина последнего кода выглядит, несомненно, короче, отсутствуют фигурные скобки, кавычки, точка с запятой, но результат и алгоритм работы такие же, как у программы на C#. Аналогичная картина будет и с языками C++, Java.

Интеграция с другими языками. Python хорошо интегрирован с другими языками. Например, появилась реализация языка Python на языке Java – это язык Jython. Он одновременно и компилятор, и интерпретатор. При разработке программ на Jython могут одновременно использоваться классы языков Java и Python. Другая реализация языка Python – IronPython – предназначена для

платформы Microsoft.NET [1]. Язык IronPython – это .NET с включенным Python. Он написан на языке C# и является транслятором компилирующего типа. В IronPython можно использовать типы .NET, а в .NET код включать фрагменты IronPython кода. На сегодня известно не менее 15 реализаций Python на других языках.

Перспективы для практики. Если обратиться к статистике популярности и оплате труда программистов на Python, то можно заметить следующее.

Python, с переменным успехом и в зависимости от рейтинга, занимает от 1-й до 4-й строчки в популярности языков. Python уже несколько лет является фаворитом, но особенно стремительный подъем язык испытал в 2021 г. На сегодня из всех основных языков программирования не менее 20% пользователей выбирают для освоения Python.

Решающее значение для популярности имеет востребованность производства, которое достаточно точно выражается в зарплате программистов. Анализ уровня зарплат по городам России показывает, что в среднем по рынку в зависимости от региона он держится от 120 000 руб. до 180 000 руб. При этом, например, в Москве он достигает 400 000 руб. Эти данные по России, а в мире зарплаты значительно выше. На сегодня он является вторым в списке хорошо оплачиваемых языков, что является хорошим стимулом для студентов.

Тип лицензии, принадлежность к СПО. Исключительно важной характеристикой языка является тип лицензии, под которой он может использоваться. На сегодня это главное условие для образовательной сферы в связи с известными правительственными указами о переходе бюджетной сферы на СПО. Язык Python вместе с другими его реализациями снова, можно сказать, вне конкуренции, так как эти продукты распространяются под свободной лицензией PSFL [2].

Недостатки языка. Один из серьезных недостатков следует из того, что он высокоуровневый язык, что накладывает на него ограничения при разработке программ, например по доступу к процессору или оперативной памяти. При этом программы на нем работают недостаточно быстро и требовательны к памяти устройства.

Еще один недостаток можно заметить в сравнении, например, с языком C#. Последний относится к разработке программ на ОС семейства Windows, в которых платформа .NET уже предустановлена, и в установочный пакет достаточно включить внешние библиотеки. Для Python это не предусмотрено, поэтому для установки и работы с Windows все необходимое ПО требуется включить в установочный пакет, который неизбежно получится больших размеров. Однако этот недостаток Python становится преимуществом при использовании в дистрибутивах GNU/Linux, в большинстве которых он установлен по умолчанию.

Среда разработки. Для разработки на Python существует масса сред разработки под любые операционные системы. Следует отметить кроссплатформенную среду IDLE, которая поставляется вместе с языком и представляет собой простой текстовый редактор с командным интерпретатором.

Веб-приложение Jupyter позволяет вести разработку программ из любой ОС через веб-браузер.

Под ОС Windows может быть использована среда Visual Studio, которая помимо языков программирования Microsoft имеет поддержку языка Python.

В дистрибутивах GNU/Linux можно использовать текстовые редакторы Visual Studio Code, Geany, Sublime Text или полноценные среды разработки PyCharm, Spyder IDE, Wing Python IDE и другие.

Выводы. Подытоживая анализ особенностей языка и перспективность использования в учебном процессе вуза, можно отметить следующее.

1. Несмотря на некоторые недостатки, язык программирования Python хорошо подходит для учебного процесса вуза практически для любого образовательного направления.

2. Язык отличается легкостью освоения и широким выбором сред разработки.

3. Язык имеет возможность интеграции с другими языками и распространяется под свободной лицензией PSFL.

4. Язык охватывает широкий спектр прикладных задач, поэтому программисты на Python являются практически наиболее востребованными на рынке труда и имеют самые высокие зарплаты.

5. Язык Python включен в большинство дистрибутивов GNU/Linux, что упрощает разработку программ для этих ОС.

Библиографический список

1. IronPython. URL: <https://ironpython.net> (дата доступа 26.09.21).
2. Open Source Initiative. URL: <https://opensource.org/licenses/apache2.0.php> (дата доступа 26.09.21).

Разработка программы нейронной сети обратного распространения ошибки

В. В. Побединский^a, Р. Н. Ковалев^b, С. В. Ляхов^c, И. Д. Писарев^d

доктор технических наук, кафедра интеллектуальных систем^{a, b}
кандидат технических наук^c, бакалавр^d

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация^a

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация^b
E-mail: pobed@e1.ru^a, kovalevrm@m.usfeu.ru^b, lyahovsv@m.usfeu.ru^c, pisarevid@m.usfeu.ru^d

Аннотация. Рассмотрена проблема разработки нейронной сети для решения прикладных задач, специфику которых необходимо учитывать при выборе типа сети. Поскольку универсальной нейронной сети не существует, потребовалось выполнить анализ инструментальных средств применительно к широкому классу профильных задач в лесной отрасли. На основе анализа, классификации сетей по различным признакам определен тип и алгоритм нейронной сети, наиболее соответствующий классу решаемых как в учебном процессе университета, так и в планируемых научно-исследовательских работах. В результате разработан алгоритм нейронной сети обратного распространения ошибки, реализованный на языке программирования Python.

Ключевые слова: нейронная сеть, классификация нейронных сетей, алгоритм нейронной сети, программа нейронной сети обратного распространения ошибки.

На сегодняшний день в области искусственного интеллекта наибольшее применение нашли нейронные сети, которые используются для решения широчайшего перечня различных задач во всех областях человеческой деятельности [1, 2].

Применение сетей различных типов зависит от специфики решаемых задач, исходных и выходных данных, поэтому задача выбора остается за исследователями. По причинам многообразия задач и типов сетей в ходе прогресса на рынке программного обеспечения появилось множество инструментов для их создания. Среда разработки придает свои функциональные особенности программным продуктам, что также усложняет проблему и вызывает необходимость обоснованного выбора наилучшего софта под конкретные задачи. В этой связи определилась цель настоящей работы, которая заключалась в разработке нейронной сети для решения наиболее широкого класса задач в профилирующих областях лесотехнического университета.

В круг задач работы входили следующие:

– изучить классификацию сетей, в первую очередь по функциональным возможностям, особенностям, и определить тип сети, наиболее широко охватывающей класс задач в профильных для УГЛТУ отраслях производства;

– выполнить анализ алгоритмов работы нейросетей и выбрать наиболее соответствующий планируемыми прикладными задачам;

– выбрать язык и среду программирования, разработать компьютерную программу нейросети и подготовить ее для регистрации в фонде алгоритмов и программ;

– определить возможные задачи для дальнейшего совершенствования нейросети.

На сегодня известно множество самых различных нейронных сетей. По различным классификационным признакам они могут подразделяться следующим образом.

1. По типу входной информации:

– аналоговые сети, в которых обрабатывается информация в виде действительных чисел;

– двоичные сети, в которых обрабатывается информация в двоичном виде;

– образные сети, в которых используется информация в виде знаков, символов или образов.

2. Подразделение по характеру обучения:

– с учителем, в которой выходные значения обучающих выборок, т.е. решения нейронной сети, заранее известны и задаются;

– без учителя (самоорганизующиеся), когда в сети формируются выходные значения, т.е. решения на основе входных воздействий и в процессе обучения;

– с подкреплением, когда назначаются в процессе настройки поощрения или штрафы.

3. Разделение по характеру настройки синапсов (связей):

– сети с фиксированными связями (весовые коэффициенты связей таких сети задаются в самом начале, исходя из физического смысла задачи);

– сети с динамическими связями, в которых настройка синаптических связей или весовых коэффициентов сети выполняется в процессе обучения.

4. Разделение по времени передачи сигнала (когда функция активации зависит от времени передачи сигнала по каналам связи между нейронами):

– синхронная сеть, в которой время передачи сигналов по связям не учитывается, это время может быть равно нулю или зафиксированным постоянным;

– асинхронная – это сеть, в которой время передачи сигналов между элементами имеет определенное, постоянное значение.

5. Разделение по характеру связей:

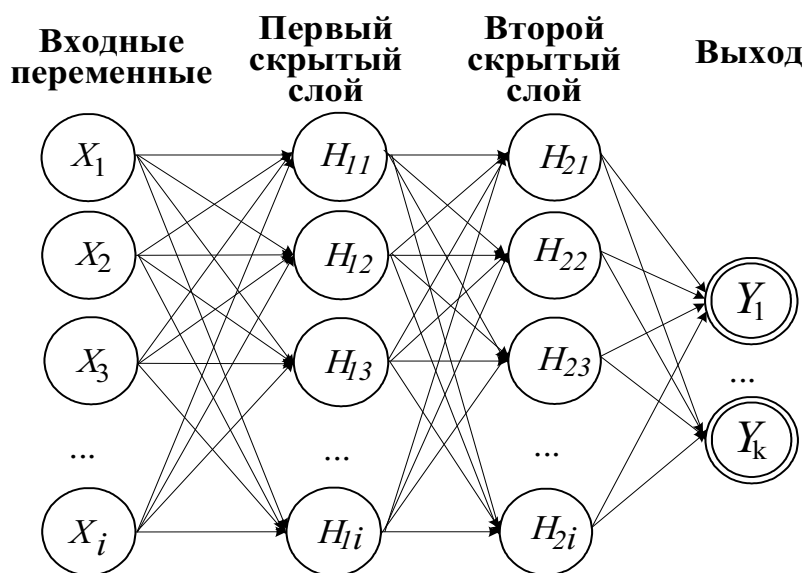
– сети прямого распространения; здесь связи направлены от входных нейронов к выходным;

– рекуррентные сети, двунаправленные, в которых с выходных нейронов или нейронов скрытого слоя сигналы могут частично передаваться обратно на входы нейронов предыдущих слоев или входного слоя.

В соответствии с классификацией была определена нейросеть аналоговая, с учителем, с фиксированными связями, синхронная, рекуррентная, двунаправленная с обратным распространением ошибки.

С учетом прикладного назначения программы были выделены следующие основные функциональные свойства: простота использования и доступность продукта, наличие необходимых библиотек, его распространение под свободной лицензией, чтобы имелась возможность для дальнейшего коммерческого использования в прикладных задачах, широта распространения программного продукта, в том числе в учебных программах, удобство среды программирования. Таким образом, был определен язык программирования Python со встроенной средой разработки IDLE. Следует отметить, что при программировании язык Python практически не имеет ограничений. Поэтому он может использоваться в любых проектах. Например, его применяют крупнейшие компании в области информационных технологий Google и Yandex. В целом простота, доступность, универсальность Python обеспечивают ему признание как одного из самых лучших языков программирования [3].

Для написания программного кода сети была разработана ее структурная схема, которая изображена на рисунке.



Структурная схема нейронной сети

В заключение можно отметить следующее.

1. Программа разработанной нейросети позволяет численным методом решать широкий класс прикладных задач любой физической природы в лесном секторе, автомобильной, дорожной, химической, экономики и других областях.

2. Программа выполнена на языке, который за последний год вышел на первые позиции большинства рейтинговых оценок языков программирования, кроме того, включен в учебные планы многих университетов, следовательно, такое исполнение программы является наиболее современным.

3. Программа разработана на свободном ПО, с открытым кодом, что делает ее наиболее доступной как для использования, так и для дальнейшего развития. В этом плане в модели могут быть предусмотрены блоки анализа обучающих выборок и отсеивания грубых ошибок экспериментальных данных, а также расширены функции процедуры настройки для обеспечения большей адекватности работы сети.

Библиографический список

1. Ясницкий Л. Н. Нейронные сети – инструмент для получения новых знаний: успехи, проблемы, перспективы // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 5. С. 48–56.
2. Хултен Дж. Разработка интеллектуальных систем / пер. с англ. В. С. Яценкова. М. : ДМК Пресс, 2019. 284 с.
3. Рашид Т. Создаем нейронную сеть / пер. с англ. СПб. : ООО «Диалектика», 2019. 272 с.

Разработка и исследование методик автоматизации производственного учета

В. Н. Поздин^a, М. В. Нижегородова^b, И. К. Прозоров^c

кандидат технических наук, доцент кафедры САУ^a

кандидат педагогических наук, доцент кафедры САУ^b

студент группы ИТм-1301^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: usr00324@vyatsu.ru^a, usr21801@vyatsu.ru^b, stud142521@vyatsu.ru^c

Аннотация. В настоящее время почти все сферы деятельности человека связаны с использованием компьютерной техники и технологий. Не стала исключением и сфера производства. Автоматизация производственного учета является очень актуальной и важной для конкурентоспособного развития современного производственного предприятия. С помощью программного обеспечения происходит фиксирование параметров экономических объектов, осуществляется управление производственными процессами, а также происходит сбор и накопление данных. В связи с быстрым развитием данной отрасли предприятия постоянно находятся в развитии и усовершенствовании автоматизации производственного учета. Поэтому рассматривается задача создания информационной системы, позволяющей автоматизировать производственный учет. В качестве ведущего подхода в статье был использован системный подход с опорой на методы анализа и конкретизации. Результатом является алгоритмическое обеспечение автоматизации учета спецификаций на производственном предприятии.

Ключевые слова: автоматизация производства, производственный учет, методы производственного учета, программное обеспечение автоматизации производственного учета, спецификация, изделие, жизненный цикл изделия.

Введение. Наиболее общую характеристику понятия производственного учета дает в своей книге Друри Колин: «Производственный учет – сбор данных о производственных затратах для оценки стоимости запасов продукции» [1].

В настоящее время почти все сферы деятельности человека связаны с использованием компьютерной техники и технологий. Не стала исключением и сфера производства. Радикальный переворот в производственном деле произошел в конце XX века. Переворот связан с появлением персональных компьютеров, ставших одним из главных рабочих инструментов, без которых нельзя обойтись на современном предприятии. Производственный учет предприятия теперь ведется с помощью компьютерной программы. С ее помощью происходит фиксирование параметров экономических объектов, осуществляется управление производственными процессами, а также происходит сбор и накопление данных. Документы и отчеты, сформированные с помощью программы, сотрудник может просматривать в удобной форме на экране компьютера.

Применение программного обеспечения автоматизации производственного учета позволяет выполнять множество задач. С ее помощью:

- планируется производство продукции в зависимости от плана выпуска;
- рассчитывается заработная плата сотрудников предприятия;
- оптимизируются запасы сырья, материалов и продукции на складах.

Таким образом, тема автоматизации производственного учета является очень актуальной и важной для конкурентоспособного развития современного производственного предприятия. Современная система автоматизации учета связывает в единое целое все элементы производственного процесса.

Ведущий подход. В качестве ведущего подхода основы исследования был выбран системный подход, поскольку автоматизация производственного учета должна рассматриваться как система, состоящая из целого комплекса взаимосвязанных элементов [2].

Также было принято решение использовать методы конкретизации и анализа в дополнение к системному подходу, что позволит разработать модули и подсистемы для автоматизации различных отдельных задач производственного учета.

Для выполнения исследования первым делом требуется с помощью анализа декомпозировать работу производственного предприятия на задачи, которые можно автоматизировать, и представить эти задачи в виде конкретных структур, образующих целую систему.

Результаты исследований, их обсуждение. При декомпозиции системы производственного учета первым делом был выделен учет документов на изделие, поскольку эта задача является очень важной в ходе их выпуска. Для ее автоматизации необходимо понимание термина «изделие», кроме того, необходимо представлять, какие бывают виды изделий, и знать их классификацию, которая применяется при выполнении конструкторской и технологической документации, распространяемой на изделия машиностроения и приборостроения всех отраслей промышленности. Для этого нужно обратиться к «ГОСТ 2.101-2016 Единая система конструкторской документации. Виды изделий».

Изделие – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению в организации (на предприятии) в соответствии с конструкторской документацией [3].

Следующим важным понятием в автоматизации производственного учета является определение жизненного цикла изделия.

Жизненный цикл изделия – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от её замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации (ГОСТ Р 56136-2014) [4].

Жизненный цикл включает несколько стадий, выделяемых по признакам характерных для неё явлений, процессов, работ и конечных результатов. Основные стадии жизненного цикла – это научные исследования, проектирование, производство, эксплуатация, утилизация. Этапы жизненного цикла изделия представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла изделия

Планирование деятельности с учётом особенностей стадий и этапов жизненного цикла позволяет обеспечить безопасность продукции, уменьшить издержки, рационально спланировать работы на разных стадиях жизненного цикла изделий. Управление процессами жизненного цикла изделия является слож-

ной задачей и решается с помощью специализированных технологий и автоматизированных систем управления жизненным циклом.

Таким образом, рассмотрев этапы жизненного цикла, выделим задачу, заключающуюся в автоматизации учета спецификаций на изделие, которая играет очень важную роль на предприятии. Согласно ГОСТ 2.106-2019 термин «спецификация» имеет следующее определение. Спецификация – это конструкторский документ, содержащий перечень составных частей, входящих в специфицируемое изделие, а также других конструкторских документов, относящихся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям [5]. Спецификация состоит из разделов, которые записываются в следующей последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. Кроме того, в различных областях техники спецификация может включать:

- наименование, номер и обозначение спецификации;
- время последнего изменения спецификации и данные того, кем оно было выполнено;
- ответственное лицо по вопросам обновления и отклонения спецификации;
- область применения спецификации и её назначение;
- термины, определения и аббревиатуры для пояснения сути спецификации;
- краткое описание назначения изделия;
- минимальные и максимальные значения рабочих параметров;
- рекомендуемые условия эксплуатации;
- сведения о способах проверки требований и характеристик;
- подписи и разрешения, если они необходимы.

Важная роль учета спецификаций заключается в том, что практически всем участникам жизненного цикла изделия необходимо иметь самую свежую и актуальную версию спецификации, а также просматривать различные версии и ее историю. Для данной задачи необходима разработка информационной системы, которая позволит автоматизировать взаимодействие между сотрудниками при работе со спецификациями на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Результатом будет являться разработанное алгоритмическое обеспечение информационной подсистемы автоматизации учета спецификаций на производственном предприятии, создание которого состоит из следующих шагов:

1. Разработка алгоритма учета спецификаций. Алгоритм состоит из следующих этапов:

- разработчик спецификации создает извещение о создании (изменении) спецификации;
- сотрудник отдела документации принимает (отклоняет) нововведения;
- сотрудник отдела документации после создания (обновления) спецификации фиксирует этот факт и заполняет электронную структуру изделия в информационной системе;
- информационная система присылает уведомление разработчику о принятых изменениях и в дальнейшем хранит всю историю.

2. Разработка программного обеспечения. На этом шаге по созданному алгоритму проектируется и реализуется информационная система учета спецификаций. Данный этап состоит из разработки структурных, объектно ориентированных моделей и моделей данных разрабатываемой подсистемы, после чего реализуются спроектированные алгоритмы и происходит кодирование программного обеспечения.

3. Внедрение и сопровождение. Данный этап будет состоять из установки программного обеспечения, его настройки, а также включать обучение сотрудников, которые будут им пользоваться.

Выполнение этих этапов позволит получить разработанную информационную подсистему автоматизации учета спецификаций на производственном предприятии, которая упростит взаимодействие между сотрудниками, а также облегчит доступ к спецификациям всем работникам предприятия на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Выводы. Сформулирован ведущий подход исследования. В качестве основного подхода выбран системный подход, поскольку автоматизация производственного учета должна рассматриваться как система, состоящая из целого

комплекса взаимосвязанных элементов. В дополнение к системному подходу были задействованы методы анализа и конкретизации, позволившие разбить автоматизацию на модули и подсистемы.

Были проанализированы аспекты автоматизации производственного учета, выяснено, что автоматизация составляет целую систему, состоящую из различных подсистем и позволяющую выполнять обширный перечень задач: производить фиксирование параметров экономических объектов, осуществлять управление производственными процессами, а также производить сбор и накопление данных и т. д.

Разработано алгоритмическое обеспечение информационной подсистемы автоматизации учета спецификаций на производственном предприятии, состоящее из трех этапов, выполнение которых позволит получить разработанную информационную подсистему, которая упростит взаимодействие между сотрудниками, а также облегчит доступ к спецификациям всем работникам предприятия на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Библиографический список

1. Колин Д. Управленческий и производственный учет : учеб. комплекс для студентов вузов. М., 2017. 1423 с.
2. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход в современной науке. М. : Мысль, 1970. 271 с.
3. ГОСТ 2.101-2016 ЕСКД. Виды изделий: принят 28.06.2016; действ. с 01.03.2017. М., 2017. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-2.101-2016> (дата обращения: 24.11.2021).
4. ГОСТ Р 56136-2014 Национальный стандарт Российской Федерации. Управление жизненным циклом продукции военного назначения: принят 19.09.2014; действ. с 01.09.2015. М., 2015. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-56136-2014> (дата обращения: 26.11.2021).
5. ГОСТ 2.106-2019 ЕСКД. Текстовые документы: принят 01.02.2020; действ. с 01.02.2020. М., 2020. URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-2.106-2019> (дата обращения: 29.11.2021).

Применение информационных технологий для моделирования процессов технической эксплуатации транспортных и технологических машин

М. Н. Салихова^a, В. В. Побединский^b, С. В. Ляхов^c

аспирант^a, доктор технических наук, зав. кафедрой интеллектуальных систем^b

кандидат технических наук^c

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация^a

Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Российская Федерация^{b, c}

E-mail: salmar1981@mail.ru^a, pobed@el.ru^b, lyahovsv@m.usfeu.ru^c

Аннотация. В статье рассматриваются задачи, принципы организации производства лесозаготовки для создания условий эффективной деятельности с наименьшими затратами труда и средств. Одним из принципов организации является обеспечение плановой готовности и надежности ТиТТМ при совершенствовании планирования системы ТО и Р за счет применения современного метода, например применения имитационной модели. Имитационное моделирование – эффективное средство совершенствования существующей системы ТО и Р, которое может управлять планированием на всех этапах разработки, как стратегическом, так и оперативно-календарном. Предложен методологический подход к совершенствованию системы ТО и Р парка лесозаготовительной техники с использованием современной системы визуально-блочного имитационного событийного моделирования SimEvents.

Ключевые слова: транспортные и транспортно-технологические машины, техническая эксплуатация, лесозаготовки, SimEvents.

Заготовка леса – сложный технологический процесс, включающий совокупность методов и способов производства, переработки деревьев, хлыстов, щепы и другого древесного сырья.

В современных экономических условиях достижение эффективной работы лесотехнических предприятий нельзя представить без применения прогрессивных методик организации производства. Задачей организации производства становится создание условий для успешной реализации технологического процесса с наименьшими затратами труда и средств.

Рациональная организация и управление лесозаготовительными машинами при проведении технических обслуживаний (ТО) и ремонтов (Р) – основа производственного процесса. Стандартная схема организации производственного процесса в общем виде представлена на рис. 1.

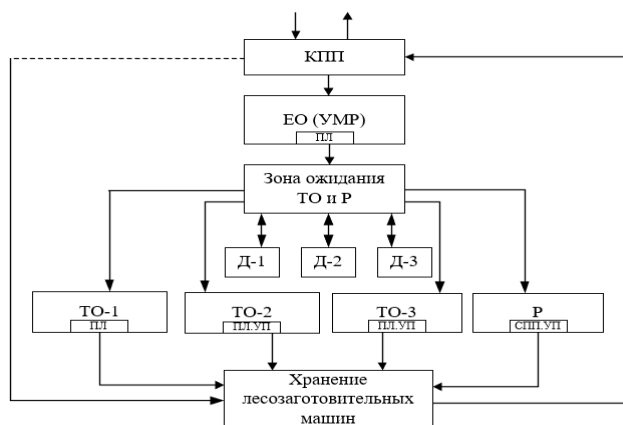


Рис. 1. Схема организации производственного процесса ТО и Р:
 ПЛ – линия обслуживания поточная; СПП – технологические посты специализированные;
 УП – универсальные посты

Основные принципы управления технической системой ТО и Р:

- обеспечение необходимых условий для всех заинтересованных сторон: потребителей продукции, оценивающих качество продукции, объемы; органов Ростехнадзора или Федеральной службы по экологическому, техническому надзору для обеспечения безопасной эксплуатации; собственников предприятия для получения прибыли;
- определение объемов управления. Это активы и различные структуры, выполняющие поставленную производственную задачу;
- обеспечение плановой готовности и надежности ТиТТМ;
- согласованность всех подразделений;
- конкурентоспособность при достижении определенных показателей;
- уверенность при правильно выбранной стратегии управления.

Для соблюдения вышеизложенных принципов система планирования ТО и Р должна совершенствоваться за счет применения современных методов и технологий, например применения имитационной модели. Как уже отмечалось, имитационное моделирование – это средство совершенствования существующей системы ТО и Р [1–3].

Планирование с использованием имитационного моделирования выполняется на базе компьютерной программы, позволяющей исследовать производственно-хозяйственную ситуацию исследуемого предприятия путем проведения эксперимента, в результате которого можно делать выводы, принимать ре-

шения, выдвигать гипотезы [4, 5]. Одним из главных преимуществ имитационного моделирования в рамках конкретного предприятия является то, что в программе учитываются фактические объёмы, ресурсы для учета и дальнейшего избегания возможных рисков, финансовых потерь (рис. 2). На сегодняшний день проблема риска для предприятий лесотехнической отрасли играет важную роль в процессе принятия управленческих решений, которые имеют не только стратегический характер, но и применимы для краткосрочного планирования под воздействием постоянно изменяющихся условий неопределенной внешней среды [6].

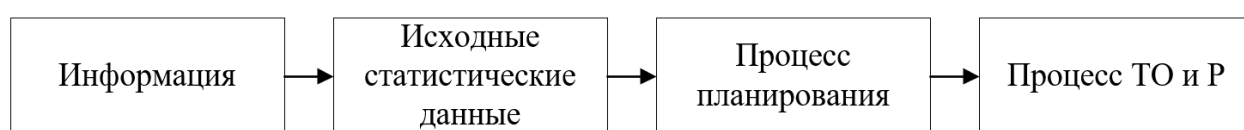


Рис. 2. Схема имитационной модели ТО и Р

Формирование входящей информации в проектируемой модели происходит на основе данных, получаемых от реально действующего лесотехнического предприятия. Эти данные должны быть правильно организованы и соответствующим образом обработаны. Для этих целей применяется система управления базами данных (СУБД Access). СУБД Access – программа, позволяющая работать с базами данных, которые дают возможность хранить, систематизировать, классифицировать и мониторить информацию.

Данная программа позволяет как создавать собственную базу данных, так и разрабатывать пользовательские приложения с использованием встроенных средств. СУБД Access объединяет сведения, поступающие из различных источников, в одну систему, которая быстро и эффективно обновляется. Также преимуществом СУБД Access является действие по импорту/экспорту всевозможных данных в различные форматы, через механизм ODBC (Open Database Connectivity).

Применение СУБД Access к парку лесозаготовительной техники представлено схемой для моделирования на рис. 3.

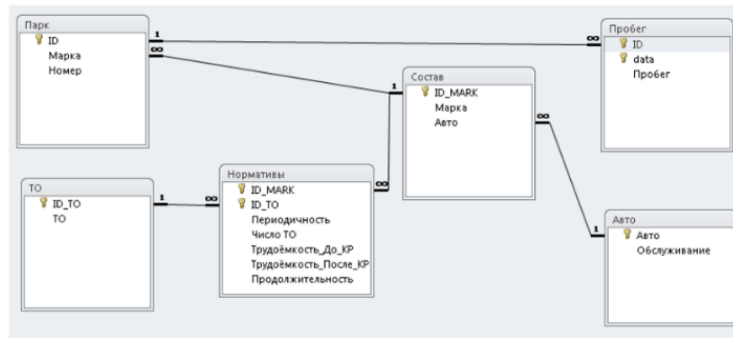


Рис. 3. Схема данных для моделирования

Как уже было сказано, экспорт данных из системы СУБД Access осуществляется через механизм ODBC в систему визуально-блочного моделирования с помощью приложения Matlab Database Explorer.

В системе визуально-блочного моделирования Matlab+Simulink разрабатывается процесс планирования. Достоинством используемой программы Matlab является наличие объемной библиотеки стандартных блоков для реализации математических моделей, развитый пользовательский интерфейс и представление информации в доступном графическом виде (рис. 4).

Детализированный план бюджета по ТО и Р можно также спрогнозировать и детально просмотреть, применив в разработанной модели дополнительные блоки из библиотеки Matlab+Simulink. В нашем случае можем использовать осциллограф (рис. 5).

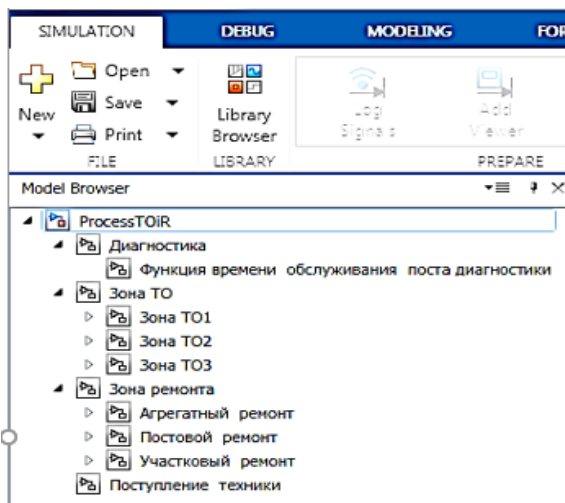


Рис. 4. Разработка модели по планированию ТО и Р в Matlab+SimEvents

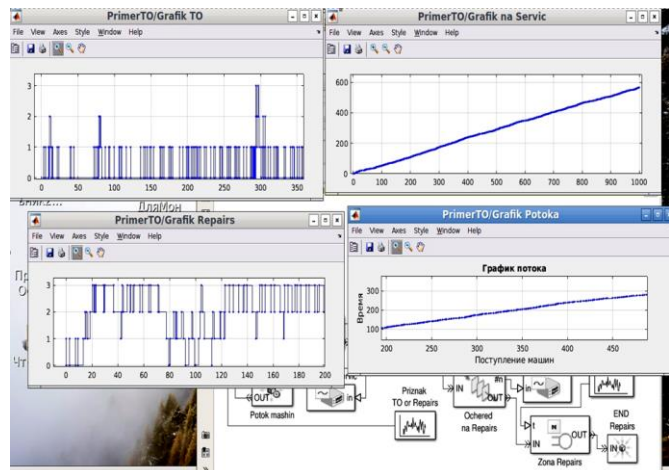


Рис. 5. Пример моделирования

В заключение можно отметить следующее.

На сегодняшний день в научной среде общеизвестно, что имитационное моделирование стало общеметодологическим подходом к проведению исследований объектов любой природы. В нашем случае, используя теорию применения перечисленных компьютерных программ, можно составить такую экономико-статистическую имитационную модель, которая сможет учесть изменения показателей, внутренние и внешние факторы, риски. Это позволит получить более точные прогнозы, чем при использовании методов средних коэффициентов.

Библиографический список

1. Имитационное моделирование как главный инструмент конструирования сложных процессов и систем / А. Э. Есенбекова, Л. К. Джумахметова, С. М. Дусталиева // Технические науки в России и за рубежом : материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). М. : Буки-Веди, 2017. С. 165–167.
2. Филяев М. П. Проблемные вопросы применения имитационного моделирования при автоматизации производственных процессов // Машиностроение: новые концепции и технологии : Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 23 октября 2020 г. Красноярск : Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева, 2020. С. 192–196.
3. Аристов С. А. Имитационные системы поддержки принятия решений // Экономика и математические методы. 2007. Т. 43. № 3. С. 74–84.
4. Гамидов Г. С., Гераева Н. С. Особенности имитационного моделирования инновационной деятельности предприятий машиностроения // Инновации. Серия: Инновационная экономика. 2008. № 7 (117). С. 74–76.
5. Салихова М. Н. Перспективы совершенствования управления технической готовностью парка транспортных и технологических машин / Направления развития технического сервиса : материалы регион. студ. науч.-практ. конф., к 80-летию УрГАУ и 70-летию факультета инженерных технологий, Екатеринбург, 27 ноября 2019 года. Екатеринбург : УрГАУ, 2020. С. 89–92.
6. Проектирование автотранспортной инфраструктуры с учетом условий неопределенностей / В. В. Побединский, Г. А. Иовлев, Е. В. Побединский // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : сб. науч. тр. каф. ЭАТиС к 90-летию МАДИ, по материалам 78 науч.-метод. и науч.-исслед. конф. МАДИ, Москва, 28–29 января 2020 года / под общ. ред. А. А. Солнцева. М. : МАДИ, 2020. С. 199–203.

Решетчатые разбиения плоскости на гекса-, гепта- и октамино

К. Г. Серавкин^a, А. А. Мокрова^b, А. В. Шутов^c, К. А. Потехин^d

аспирант кафедры ФМОиИТ^a

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ФМОиИТ^b

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ВТиСУ^c

доктор физико-математических наук, профессор кафедры ФМОиИТ^d

Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: seravkin@rambler.ru^a, albina.mokrova@yandex.ru^b, a1981@mail.ru^c,

konstantin-potekhin@yandex.ru^d

Аннотация. Несмотря на то что вопрос о разбиениях плоскости на полимино активно исследуется как российскими, так и зарубежными авторами, до сих пор отсутствуют полные каталоги таких разбиений, которые могли бы использоваться как справочный материал. Целью данного исследования было составить полные каталоги симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино. Для достижения данной цели был использован алгоритм формирования разбиений плоскости на полимино, предложенный доктором физико-математических наук А. В. Малеевым. В тексте статьи представлен полный закодированный каталог симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости на гексамино и сводная информация по каталогам гептамино и октамино. Указан способ раскодирования каталога. Из анализа каталогов следует, что среди решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино имеются не только полиморфные модификации (дуплеты, триплеты, квартеты и даже квинтеты), но и «разбиения-близнецы». Подавляющее большинство исследованных решетчатых разбиений описываются плоскими группами симметрии $p1$ и $p2$. Результаты данного исследования могут быть использованы при описании плоских молекулярных слоев в кристаллических структурах молекулярных кристаллов.

Ключевые слова: решетчатые разбиения плоскости, полимино.

Введение. Результаты систематического исследования разбиений плоскости на полимино, полигексы и полиамонды представляют интерес и для кристаллофизиков (прогнозирование вариантов полиморфных модификаций плоских слоев в кристаллических структурах), и для кристаллохимиков (возможность систематизации описания взаимного расположения молекул в молекулярных слоях). В настоящее время уже имеются алгоритмы построения решетчатых [1–3] и изоэдральных [4, 5] разбиений плоскости на полимино. Но, к сожалению, пока отсутствуют полные каталоги таких разбиений плоскости, что затрудняет их систематическое исследование. Пока нет ответов на следующие три вопроса. Во-первых, сколько существует симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости (одно, два, три или более) на конкретное полимино? Во-вторых, какую долю в общем количестве симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости на полимино заданной площади занимают полиморфные модификации этих разбиений? В-третьих, в каких плоских

группах симметрии и как часто реализуются решетчатые разбиения плоскости на полимино заданной площади? В данной статье мы приводим ответы на эти три вопроса для решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино.

Методы исследования. Для расчета решетчатых разбиений плоскости на полимино мы использовали алгоритм, предложенный А. В. Малеевым в работе [6]. При использовании этого алгоритма нет необходимости обращаться к генератору полимино и выяснять, какие из полимино разбивают плоскость, а какие нет. Дело в том, что в алгоритме, который предложил А. В. Малеев, сначала рассчитываются решетчатые разбиения плоскости на замкнутые области заданной площади, и только потом выявляются геометрические формы полимино. Далее будет использоваться только термин «алгоритм».

В основе алгоритма лежит использование квадратной решетки трансляций. На квадратной решетке трансляций выявляются и фиксируются все симметрически независимые подрешетки с заданной площадью элементарной ячейки. Для каждой выбранной подрешетки формируются решетчатые разбиения плоскости на замкнутые области с заданной площадью. Так как подрешетка зафиксирована на квадратной решетке, то замкнутая область полученного разбиения плоскости является полимино с заданной площадью. Следовательно, в результате использования этого алгоритма мы получаем все симметрически независимые решетчатые разбиения плоскости на полимино заданной площади.

Результаты исследований. Так как в данной статье мы рассматриваем только симметрически независимые решетчатые разбиения плоскости на полимино, то далее в тексте статьи (кроме названий таблиц, обобщений и выводов) будем использовать просто термин «разбиение».

Таблица 1

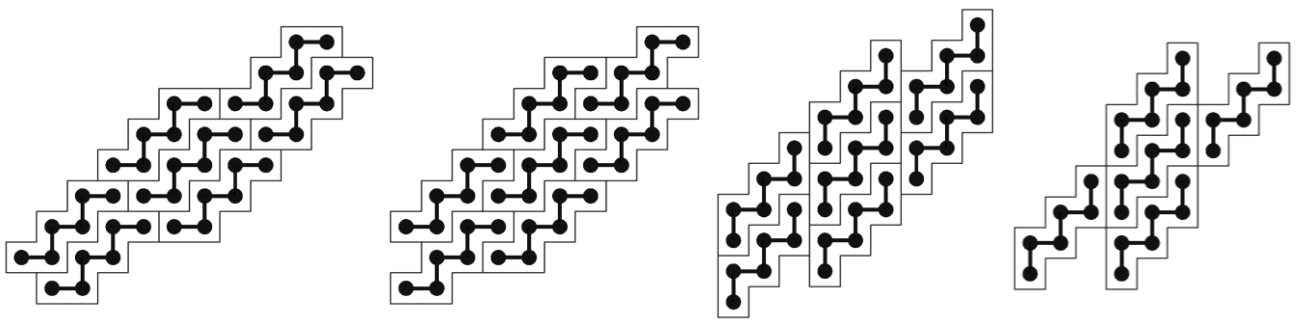
Решетчатые разбиения плоскости на гексамино

Номер разбиения	Код подрешетки	Код разбиения	Плоская группа симметрии	КЧ	Код гексамино	Точечная группа симметрии	Кол-во разбиений гексамино
1	6 1 ₀	322222	pmm2	4	aaaaa	mm2	4
2	6 1 ₁	332220	p1	6	aaaab	1	1
3	6 1 ₁	332201	p1	6	aaabb	1	1
4	6 1 ₁	332030	p1	6	aabab	1	1
5	6 1 ₁	330320	p1	6	abaab	1	2

Номер разбиения	Код подрешетки	Код разбиения	Плоская группа симметрии	КЧ	Код гексамино	Точечная группа симметрии	Кол-во разбиений гексамино
6	6 1 ₁	323220	p1	6	aaaba	1	1
7	6 1 ₁	323201	p1	6	aabba	1	1
8	6 1 ₁	323030	p2	6	ababa	2	4
9	6 1 ₁	323011	p2	6	baaab	2	2
10	6 1 ₁	322320	p2	6	aabaa	2	4
11	6 1 ₁	322222	p2	6	aaaaa	mm2	4
12	6 1 ₂	332202	p1	6	aaaaxb	1	1
13	6 1 ₂	332201	p2	6	baaab	2	2
14	6 1 ₂	330211	p1	6	aabyua	1	1
15	6 1 ₂	330111	p2	4	aabaa	2	4
16	6 1 ₂	330012	p1	6	aabxb	1	1
17	6 1 ₂	323200	p1	6	aaabx	1	1
18	6 1 ₂	323021	p1	6	aaxbba	1	1
19	6 1 ₂	322300	p2	6	aabaxx	2	4
20	6 1 ₂	322222	p2	6	aaaaa	mm2	4
21	6 1 ₂	321300	p1	6	aabxyu	m	1
22	6 1 ₂	321121	p1	6	abaab	1	2
23	6 1 ₂	321010	p2	6	aabxx	mm2	3
24	6 1 ₂	320231	p2	4	abyaaxy	2	2
25	6 1 ₂	311211	p2	6	aabaa	2	4
26	6 1 ₂	311012	p2	4	aabaxx	2	4
27	6 1 ₂	310301	p2	6	aabaxx	2	4
28	6 1 ₃	332022	cm	6	aabyaa	m	1
29	6 1 ₃	332021	p2	6	abyaaxy	2	2
30	6 1 ₃	332010	p1	4	ababx	1	2
31	6 1 ₃	323030	p2	6	ababa	2	4
32	6 1 ₃	323002	cm	6	abaya	m	1
33	6 1 ₃	322222	cmm2	6	aaaaa	mm2	4
34	6 1 ₃	322100	cmm2	6	aabxx	mm2	3
35	6 1 ₃	313120	cm	6	abaxbx	m	2
36	6 1 ₃	313030	p2	6	ababa	2	4
37	3 2 ₀	331012	pm	4	abaxbx	m	2
38	3 2 ₀	330023	p1	6	abaaxb	1	1
39	3 2 ₀	330013	p2	4	ababa	2	4
40	3 2 ₀	322221	p2	6	aabaa	2	4
41	3 2 ₀	322210	p2	6	aabaxx	2	4
42	3 2 ₀	322100	pmm2	4	aabxx	mm2	3
43	3 2 ₀	321102	p1	6	ababx	1	2

В табл. 1 представлены характеристики всех симметрически независимых решетчатых разбиений на гексамино. Коды подрешеток квадратной решетки представлены во втором столбце табл. 1 в порядке их использования в алгоритме. В третьем столбце табл. 1 представлены коды полученных разбиений. Вто-

рой и третий столбцы табл. 1 являются закодированным полным каталогом симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости на гексамино. Зная код подрешетки и код разбиения, всегда можно восстановить само разбиение, либо используя программу, либо даже «вручную». Достаточно каждой клетке выбранной подрешетки (бывшей элементарной ячейке квадратной решетки) «нарисовать границу», 0 – границ нет, 1 – граница слева, 2 – граница сверху, 3 – граница слева и сверху. Трансляционно эквивалентные клетки «получают» одинаковые «границы». Пример восстановленного разбиения приведен на рисунке.



№ 8(6 1₁, 323030)

№ 31(6 1₃, 323030)

№ 36(6 1₃, 313030)

№ 39(3 2₀, 330013)

Первое координационное окружение решетчатых разбиений плоскости на гексамино ababa

Любая подрешетка квадратной решетки трансляций сама является решеткой трансляций. Чтобы описать эту «новую» решетку трансляций, необходимо указать ее приведенную элементарную ячейку. Возможные варианты: косоугольная ячейка, прямоугольная примитивная ячейка, прямоугольная центрированная ячейка, квадратная ячейка.

Теперь можно переходить к указанию плоской группы симметрии полученного разбиения (четвертый столбец табл. 1) и координационного числа (пятый столбец табл. 1).

Для кодирования формы полимино (шестой столбец табл. 1) можно использовать буквенный код. Одна из клеток полимино выбирается за начало отсчета. Сдвиг клетки вправо обозначается буквой a, вверх – буквой b, влево – буквой x, вниз – буквой y (по аналогии с [7]). После выбирается один из самых коротких и минимальных по алфавиту кодов так, чтобы симметрически эквивалентные полимино имели один и тот же код.

В седьмом столбце табл. 1 указана собственная точечная группа симметрии полимино. Иногда собственная симметрия полимино выше, чем симметрия позиции, которую оно занимает, например, в разбиениях № 11, 20, 21 и 23.

Имея каталог разбиений на гексамино, мы можем выяснить, сколько разбиений из 43 являются полиморфными модификациями друг друга. Для этого необходимо сделать выборку разбиений, у которых коды полимино совпадают. Если код полимино встречается два раза, то полимино образует полиморфный дуплет разбиений, если три – триплет и т.д. Например, четыре разбиения – № 8, 31, 36 и 39 – являются полиморфными модификациями друг друга и образуют полиморфный квартет (см. рисунок). В этих разбиениях полимино либо равны друг другу, либо являются симметрическими эквивалентами друг друга, а их взаимное расположение в разбиениях разное. В последнем столбце табл. 1 указано количество различных разбиений для данного полимино. Из 43 разбиений на гексамино 29 разбиений являются полиморфными модификациями, то есть более половины (67% от общего количества разбиений).

Как правило, полиморфные модификации разбиений плоскости на одно и то же полимино описываются разными решетками трансляций. Тем не менее существуют и такие полиморфные модификации, у которых решетки трансляций одинаковые. Например, дуплеты разбиений: № 31 и 36, а также № 15 и 25. Более того, существует триплет полиморфных разбиений: № 19, 26 и 27, которые описываются одной и той же решеткой трансляций. Мы предлагаем разбиения плоскости на одно и то же полимино, у которых решетки трансляций одинаковые, называть «разбиениями-близнецами». Тогда среди разбиений плоскости на гексамино существуют два дуплета и один триплет «разбиений-близнецов». Один из дуплетов «разбиений-близнецов» приведён на рисунке (два центральных разбиения).

Рассмотрим теперь симметрически независимые решетчатые разбиения плоскости на гепта- и октамино. Общее количество этих разбиений слишком велико для того, чтобы в тексте статьи можно было бы поместить их полные каталоги (даже закодированные). Полные каталоги можно получить у авторов статьи по электронной почте.

В табл. 2 приведено сводное количество полимино и их разбиений в разрезе количества модификаций и общая доля полиморфных разбиений среди всех решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино. Общее количество решетчатых разбиений плоскости получено ранее в [8].

Таблица 2

Доля полиморфных решетчатых разбиений плоскости на n-мино

n	Количество модификаций	Количество полимино	Количество разбиений	Общее количество разбиений	Всего полиморфных разбиений	Доля полиморфных разбиений
6	1	14	14	43	29	67%
	2	5	10			
	3	1	3			
	4	4	16			
7	1	36	36	48	12	25%
	2	4	8			
	4	1	4			
8	1	93	93	171	78	46%
	2	18	36			
	3	3	9			
	4	2	8			
	5	5	25			

Среди решетчатых разбиений плоскости на гептамино полиморфные модификации составляют только 25%. Среди них четыре дуплета и один квартет. Два разбиения являются «разбиениями-близнецами».

Среди разбиений плоскости на октамино полиморфные модификации составляют уже 46%. Имеются восемнадцать дуплетов, три триплета, два квартета и пять квинтетов. Подавляющее большинство (более 67%) полиморфных модификаций описываются плоской группой симметрии $p2$. Имеются «разбиения-близнецы»: три дуплета и один триплет, причем у всех трех «разбиений-близнецов» триплета одинаковыми оказались и решетки трансляций, и координатные числа. Плоской группой симметрии $p1$ описываются лишь 23% полиморфных модификаций разбиений. При этом все они являются дуплетами, среди которых нет «разбиений-близнецов».

Теперь рассмотрим, в каких плоских группах симметрии и как часто реализуются симметрически независимые решетчатые разбиения плоскости на гекса-, гепта- и октамино (табл. 3).

Распределение решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино по плоским группам симметрии

Полимино	Плоская группа симметрии						
	p1	p2	p4	pm	cm	pmm2	cmm2
Гексамино	16(37%)	19(44%)	нет	1(2%)	3(7%)	1(2%)	3(7%)
Гептамино	29(60%)	14(29%)	нет	нет	4(8%)	1(2%)	нет
Октамино	94(55%)	56(33%)	1(<1%)	1(<1%)	12(7%)	2(1%)	5(3%)

В случае гексамино большинство разбиений описывается плоской группой симметрии p2. Начиная с гептамино, лидерство переходит к плоской группе симметрии p1. Вероятно, это связано с тем, что количество асимметричных полимино становится больше, чем количество центрально симметричных полимино. Малый процент реализации разбиений, которые описываются другими плоскими группами симметрии, обусловлен целым рядом причин. Единственное разбиение, которое описывается плоской группой симметрии p4, реализуется в подрешетке 4×2 , код этого разбиения 33001221. Чтобы это разбиение реализовалось, необходимо выполнение сразу двух условий. Во-первых, решетка трансляций подрешетки квадратной решетки сама должна быть квадратной решеткой трансляций. Во-вторых, замкнутая область полученного разбиения должна иметь точечную группу симметрии 4.

Чтобы полученное разбиение описывалось плоской группой симметрии, которая имеет плоскость (плоскости) зеркального отражения, необходимо выполнение сразу трех условий. Во-первых, решетка трансляций выбранной подрешетки должна быть прямоугольной. Во-вторых, замкнутая область полученного разбиения должна иметь точечную группу симметрии, содержащую плоскость (плоскости) зеркального отражения. В-третьих, нормаль к плоскости зеркального отражения замкнутой области должна совпасть по направлению с координатной осью решетки трансляций разбиения. Очевидно, что вероятность одновременного выполнения сразу трех условий очень мала.

Выводы. Полные каталоги симметрически независимых решетчатых разбиений плоскости на полимино могут оказать помощь при систематическом исследовании таких разбиений. Установлено, что среди решетчатых разбиений

плоскости на гекса-, гепта- и октамино имеются не только полиморфные модификации таких разбиений, но и «разбиения-близнецы». Преобладающее большинство решетчатых разбиений плоскости на гекса-, гепта- и октамино описываются всего лишь двумя плоскими группами симметрии: $p1$ и $p2$.

Библиографический список

1. Gambini I., Vuillon L. An algorithm for deciding if a polyomino tiles the plane by translations // *RAIRO – Theoretical Informatics and Applications*. 2007. Vol. 41. № 2. Pp. 147–155.
2. Brlek S., Provençal X, Fedou J-M. On the tiling by translation problem // *Discrete Applied Mathematics*. 2009. № 157. Pp. 464–475.
3. Малеев А. В. Алгоритм и компьютерная программа перебора вариантов упаковок полимино в плоскости // *Кристаллография*. 2013. Т. 58. № 5. С. 749–756.
4. Keating G, Vince A. Isohedral Polyomino Tiling of the Plane // *Discrete and Computational Geometry*. 1999. № 21. Pp. 615–630.
5. Langerman S., Winslow A. A quasilinear-time algorithm for tiling the plane isohedrally with a polyomino // *Proceedings of the 32nd International Symposium on Computational Geometry (SoCG)*. 2016. Vol. 51 of LIPIcs. Pp. 50:1–50:15.
6. Малеев А. В. Алгоритм и программа перебора разбиений плоскости на полимино // *Кристаллография*. 2013. Т. 46. № 1. С. 165–167.
7. Gambini I., Vuillon L. Tiling the Space by Polycube Analogues of Fedorov’s Polyhedra // *Fundamenta Informaticae*. 2016. № 146. С. 197–209.
8. Малеев А. В., Шутов А. В. О числе трансляционных разбиений плоскости на полимино // *Математические исследования в естественных науках*. 2013. № 9. С. 101–106.

Исследование электростатического фильтра для осаждения аэрозольных загрязнений

М. И. Толмачева^a, К. А. Нижегородова^b

старший преподаватель кафедры физики и методики обучения физике^a
студентка группы ПОДб-3301^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr11501@vyatsu.ru^a, stud115018@vyatsu.ru^b

Аннотация. В статье представлены результаты исследования по определению параметров электростатического фильтра для наиболее эффективной очистки воздуха от аэрозольных загрязнений. Целью исследования является определение степени очистки воздуха электростатическим фильтром с применением различных видов электродов. Экспериментальное исследование проводилось с использованием авторской собранной установки, которую можно использовать для расчетов параметров фильтра, а также для демонстрации на уроках физики скорости дрейфа частиц и степени очистки газов.

При применении электрофильтров эффективность осаждения аэрозольных частиц имеет высокую степень. Электростатические фильтры, по сравнению с другими способами очистки воздуха, могут применяться для осаждения веществ с различными свойствами и в разных условиях окружающей среды. Результаты исследования показали, что степень очистки с помощью электростатического фильтра не зависит от вида применяемого электрода и находится в пределах 100%.

Ключевые слова: электростатический фильтр, экспериментальная установка, степень очистки.

Введение. Современное развитие нашей страны неотъемлемо связано с развитием промышленного производства. Деятельность промышленных предприятий приводит к выбросу в атмосферу аэрозольных загрязнений. Возникает необходимость создания очистных сооружений. Существует множество различных способов очистки, одним из распространённых способов является применение именно электростатического фильтра для решения подобной задачи [4, 2, 6]. Однако остается открытым вопрос: каковы должны быть параметры электростатического фильтра для наиболее эффективной очистки от аэрозольных загрязнений? Таким образом, выявление параметров фильтра и степени очистки – актуальная проблема.

Целью исследования является проверка степени очистки воздуха электростатическим фильтром с применением различных видов электродов.

Объект исследования – электростатический фильтр.

Предмет исследования – осаждение аэрозольных загрязнений с помощью электростатического фильтра.

Задачи исследования:

- сбор экспериментальной установки и проведение эксперимента;
- расчет степени очистки электрофильтром по полученным результатам экспериментального исследования;
- определить, есть ли зависимость степени очистки в электростатическом фильтре от формы и длины электродов.

Методы исследования. Для проведения экспериментального исследования использовалось следующее оборудование: преобразователь высоковольтный школьный РАЗРЯД-1, источник тока В 4-12, два плоских и два острых электрода, 3-литровая банка, четыре провода, дым-машина. Была собрана установка, представленная на рис. 1. К источнику тока (12 В) был подключен двумя проводами высоковольтный преобразователь (5 кВт), от него два провода присоединялись к электродам, которые помещались в банку объемом три литра. Чтобы увидеть осаждение, банка заполнялась туманом в виде взвеси мелких капель жидкости, генерируемым дым-машиной.

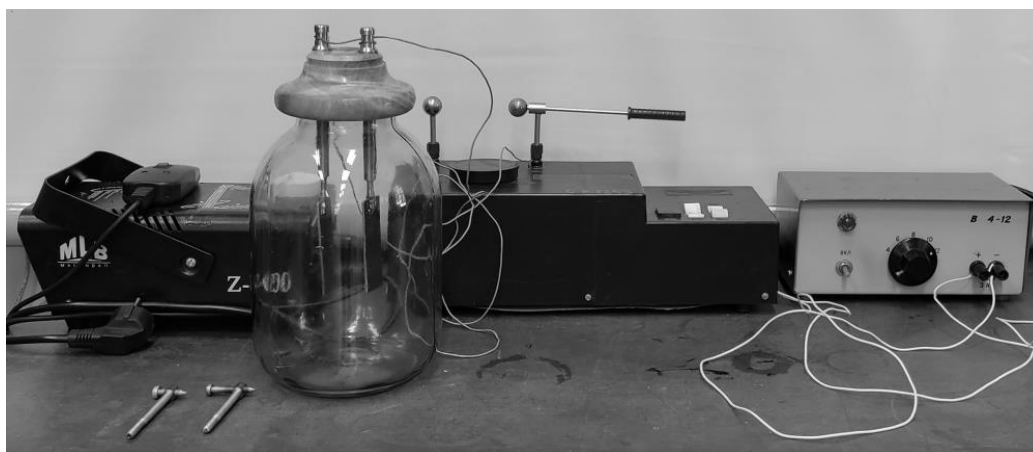


Рис. 1. Экспериментальная установка

При включении источника тока и затем высоковольтного преобразователя на электроды подавалось напряжение и можно было наблюдать, как туман в банке начинает двигаться и рассеиваться. Через некоторое время взвесь капель жидкости в банке полностью рассеивалась и все приборы отключались.

Исследование проводилось с двумя острыми, двумя плоскими и одним острым и одним плоским электродами.

Первый эксперимент проводился с двумя острыми электродами. В банку запусклся туман, помещались электроды, затем включался источник тока и преобразователь, также одновременно с преобразователем включался секундомер. Когда было заметно, что туман больше рассеиваться не может, секундомер и установка выключались. Преобразователь заземлялся. Эксперимент повторялся пять раз, после проведения очистки на электродах и банке оставался влажный осадок, при проведении подряд нескольких опытов качество наблюдений снижалось, это связано с тем, что стенки банки становились мутными, а электроды влажными, для повышения качества электроды и стенки банки необходимо было протирать.

Второй эксперимент проводился с одним острым и одним плоским электродами. Третий эксперимент осуществлялся с использованием двух плоских электродов. Исследования выполнялись по той же технологии, что и первое.

По результатам экспериментального исследования были рассчитаны показатели: скорость газа, производительность, скорость дрейфа частиц и степени очистки газов, помимо времени очистки были измерены размеры электродов.

Для расчета скорости газа v , м/с, необходимо определить, за какой промежуток времени частицы осаждаются на электродах, а также длину электрода [7].

$$v = \frac{L}{t} \quad (1)$$

L – длина электродов, м;

t – время очистки, с.

Для определения степени очистки газа электрофильтром была использована формула Дэйча [3].

$$\eta = 1 - e^{-\omega f}, \quad (2)$$

где η – степень очистки газов, %;

e – основание натуральных логарифмов;

ω – скорость дрейфа частиц, м/с;

f – параметр Дэйча.

Производительность электрофильтра V_v , м³/ч определяется по формуле [1]:

$$V_{\text{ч}} = 3600 \cdot F \cdot v, \quad (3)$$

где F – общая площадь сечения всех электродов, м²;

v – скорость газа, м/с.

Для нахождения скорости дрейфа частиц ω , м/с, используется формула [5]:

$$\omega = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2}{\mu} r, \quad (4)$$

где E – напряженность поля осаждения, В/м;

r – радиус частицы, м;

μ – динамическая вязкость газов, Н×с/м².

Применение вышеуказанных формул позволяет определить параметры качества очистки воздуха с помощью электростатического фильтра.

Результаты исследований, их обсуждение. Используя данные, которые были получены в экспериментальной части исследования, рассчитали показатели для каждого набора электродов. Результаты расчетов представлены в виде графиков и диаграмм.

В итоге определена зависимость скорости дрейфа частиц от вида электрода, которая представлена на рис. 2.

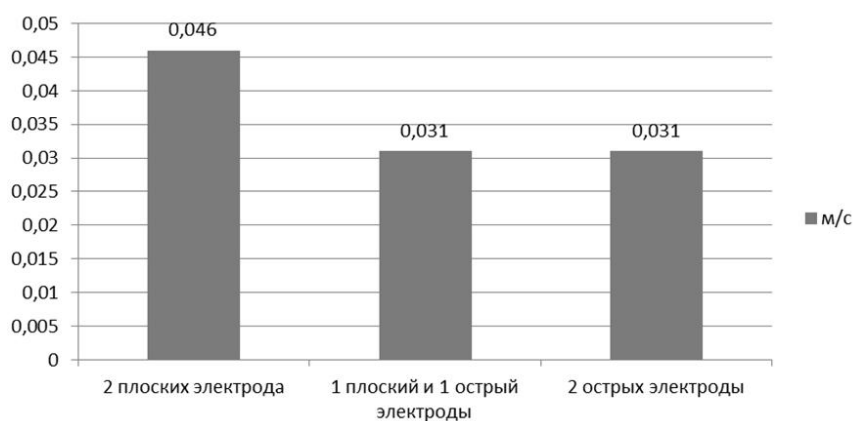


Рис. 2. Диаграмма зависимости скорости дрейфа частиц от вида электрода

Можно заметить, что скорость дрейфа частиц двух плоских электродов выше, чем у двух острых или острого и плоского электродов. Равенство скорости дрейфов двух острых, острого и плоского электродов связано с размером выбранного коронирующего электрода в парах.

Выявлено изменение скорости тумана в электрофилт্রে.

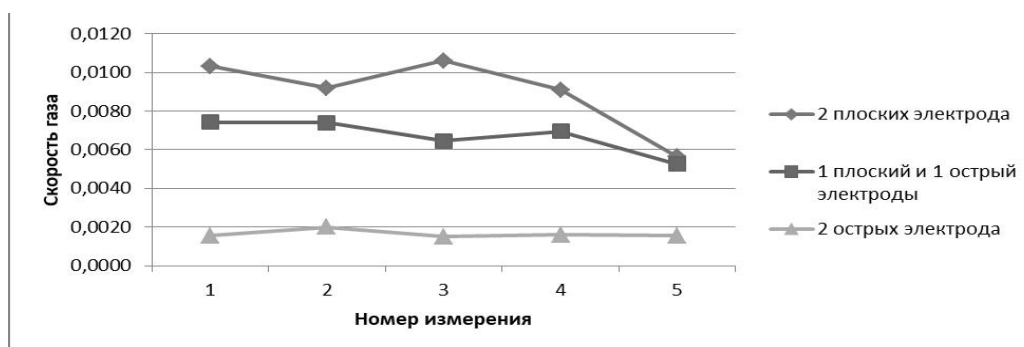


Рис. 3. График изменения скорости тумана в электрофилт্রে

Можно отметить, что скорость тумана в электростатическом филт্রে, в котором находились два плоских электрода, выше по сравнению с остальными парами электродов.

Рассчитаны процентные соотношения степеней очистки электростатического филтра при использовании разных пар электродов.

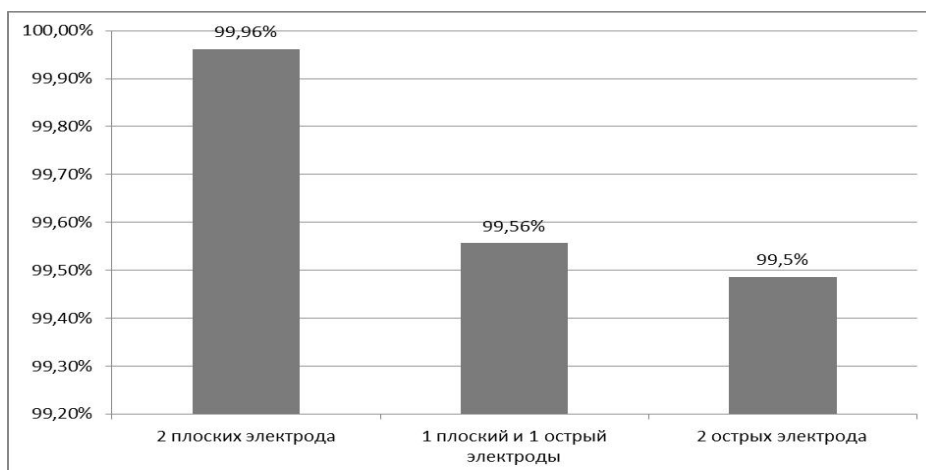


Рис. 4. Степень очистки электрофилтра с использованием разных электродов

При анализе полученных результатов можно сделать вывод, что степень очистки электрофилтра с применением различных пар электродов практически одинаковая и находится в пределах 100%.

Определена зависимость производительности электростатического филтра от вида электрода, которая представлена на рис. 5.

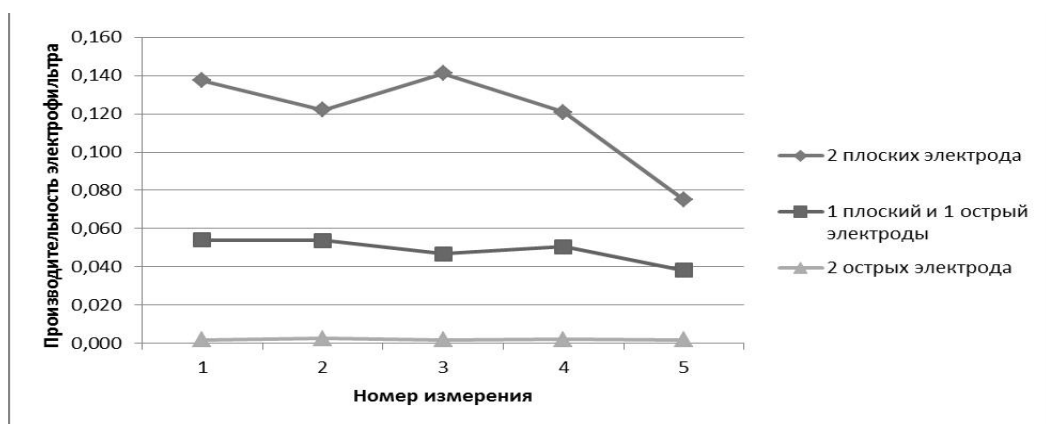


Рис. 5. Зависимость производительности электрофильтра от вида электрода

На графике представлена зависимость производительности электростатического фильтра от вида электрода. Можно заметить, что производительность электростатического фильтра с применением двух плоских электродов выше по сравнению с остальными парами. Это связано с тем, что общая площадь сечения электродов у пары плоских больше.

Необходимо отметить, что производительность фильтра с парой острых электродов находится в пределах нулевых значений, потому что площадь сечения и скорость газа по сравнению с другими парами мала.

Выводы. Выявлены параметры, которые влияют на степень очистки электростатическим фильтром. Проведены расчеты скорости дрейфа частиц, скорости взвеси капель жидкости, степень очистки и производительности электростатического фильтра. Выяснено, что при применении электрофильтров эффективность осаждения аэрозольных частиц имеет высокую степень. Электростатические фильтры, по сравнению с другими способами очистки воздуха, могут применяться для осаждения веществ с различными свойствами и в разных условиях окружающей среды.

По результатам расчета можно отметить, что степень очистки не зависит от вида применяемого электрода и находится в пределах 100%, что подтверждает информацию, полученную на основе анализа литературных источников.

Практическая значимость исследования состоит в том, что созданную экспериментальную установку можно использовать для демонстрации работы электростатического фильтра на лекции или лабораторной работе.

Библиографический список

1. Алиев Г. М., Гоник А. Е. Агрегаты питания электрофильтров. М. : «Энергия», 1968. 128 с.
2. Архипов В. А. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность : учеб. пособие. Томск : ГТПУ, 2007. 136 с.
3. Бекетов В. Е., Евтухова Г. П. Конспект лекций по дисциплине Прикладная аэроэкология, модуль 4 «Аппараты сухой очистки газов». Харьков : ХНУГХ, 2013. 64 с.
4. Панасенко А. И. Технология очистки от аэрозолей: учеб. пособие. Донецк : ДВНЗ «ДонНТУ» 2008. 119 с.
5. Токарев А. В., Юданов В. А. Определение скорости дрейфа заряженных частиц в газодинамическом электрофильтре // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2008. Т. 8. № 10. С. 116–122.
6. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей : монография / В. Н. Хмелев , К. В. Шалунова, С. Н. Цыганок, Р. В. Барсуков, А. Н. Сливин, А. В. Шалунов. Бийск : АлтГТУ, 2010. 228 с.
7. Чернобыльский И. И. Машины и аппараты химического производства. М : Машиностроение, 1975. 454 с.

Модель принятия решений в конфликтных ситуациях с нечеткими, лингвистическими оценками

В. Г. Чернов

доктор экономических наук, профессор кафедры вычислительной техники и систем управления.

Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Российская Федерация.

E-mail: Vladimir.chernov44@maik.ru.

Аннотация. В исследовании операций значительное место занимают задачи, формальной моделью которых являются антагонистические игры. Классические методы решения таких игр основаны на принципе полного знания, согласно которому участники игры располагают полной информацией о возможных решениях и их последствиях. Известны исследования, в которых допускается информационная рефлексия участников игры, т.е. допускается их неуверенность в оценке ситуации, требующей принятия решения. Формализация этой неуверенности выполняется вероятностными методами. Другим вариантом формализованного представления может быть использование аппарата теории нечетких множеств.

Цель исследования – разработка метода решения антагонистической игры в условиях, когда игроки не располагают полным знанием в ситуации, требующей принятия решений.

Методы: предполагается, что игроки руководствуются собственными, не совпадающими представлениями о параметрах игры: возможности выбора каких-то стратегий, а также значений элементов платежной матрицы, неопределенности которых формализуются нечеткими множествами (числами).

Результаты: разработан метод решения антагонистической игры в условиях неполноты знаний игроков о возможных решениях и соответствующих результатах противоположной стороны. В качестве формальной модели игровой ситуации предложено использовать нечетко-множественное представление оценок возможностей использования игроками их стратегий и соответствующих последствий. Предложен метод решения данной задачи путем преобразования нечетких оценок результатов конкретных решений для каждой ситуации в форму интегральной нечеткой оценки с треугольной функцией принадлежности. Разработанный метод не накладывает ограничений на вид функций принадлежности исходных нечетких оценок. Кроме выбора наилучшего решения, получается оценка его результата и степени возможности реализации.

Практическая значимость: метод не требует сложных математических преобразований, легко может быть реализован программно в качестве компоненты системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: нечеткое множество, функция принадлежности, точечная оценка, платежная матрица.

Введение. Классической моделью конфликтной ситуации является некооперативная, антагонистическая игра, которую формально можно представить тройкой

$$G = \{X, Y, L(X, Y)\},$$

где $X = \{x_i = 1, \dots, M\}$, $Y = \{y_j = 1, \dots, N\}$ – множества стратегий игроков;

$L(X, Y)$ – бинарное отношение на $X \times Y$ (платежная матрица).

В основе классической теории антагонистических игр лежит принцип «общего знания» [1, 2]. В работе [3] сформулирован ряд трудностей, с которыми

ми приходится сталкиваться при создании игровой модели конфликтной ситуации, вступающей в противоречие с принципом «общего знания». Это приводит к тому, что в оценках параметров игры появляется неопределенность, обусловленная субъективными представлениями участников конфликтной ситуации (игры) и, соответственно, имеющая нестатистический характер.

В настоящее время известно достаточно большое количество исследований, посвященных применению методов теории нечетких множеств для решения антагонистических игр [4–6]. В то же время в ряде работ при нечетких оценках параметров игры авторы в неявном виде придерживаются принципа «всеобщего знания» и сосредоточены на нахождении смешанных стратегий, используя, например, методы нечеткого линейного программирования. Известно, что смешанные стратегии имеют смысл, когда игра реализуется многократно и при неизменных условиях. Реальная конфликтная ситуация вряд ли будет реализовываться многократно на постоянных условиях. В этом случае принцип «общего знания» нарушается, что приводит к неопределенности в оценке всех параметров игры.

Ведущий подход. Рассмотрим ситуацию, когда участники конфликтной ситуации (игроки) достаточно хорошо осведомлены о возможных стратегиях друг друга, а неопределенность проявляется в оценках значений элементов платежной матрицы. При этом игра реализуется однократно.

Учитывая специфические особенности построения нечеткой модели конфликтной ситуации, допустим, что первоначально платежная матрица формируется в привычной для игроков числовой форме. При этом изначально допускается неопределенность указываемых значений и степень этой неопределенности недостаточно известна.

В этих условиях элементы платежной матрицы (ПМ) подвергаются фаззификации. Для этого должно быть сформировано терм-множество лингвистических значений $T = \{\tau_k : k = \overline{1, K}\}$, например $T = \{\text{малое, ниже среднего, среднее, выше среднего, большое}\}$, и соответствующий набор нечетких множеств (НМ):

$$M = \{\mu_k(z), z \in [z_{min}, z_{max}], k = \overline{1, K}\},$$

где $\mu_k(z)$ – функция принадлежности (ФП),

$[z_{min}, z_{max}]$ – предполагаемые минимальные и максимальные значения элементов ПМ.

Выбор вида ФП может иметь существенное значение при последующей обработке элементов ПМ. Например, методы, предложенные в [6], могут работать только с определенными видами ФП. Далее предлагается метод нахождения решений в антагонистической игре, не зависящий от вида ФП.

В результате фаззификации каждому элементу платежной матрицы l_{ij} будет поставлено в соответствие либо НМ с ФП $\mu_k(z)$, либо комбинация из двух соседних НМ:

$$\begin{aligned} \mu'(z) &= \mu_k(z) \cup \mu_{k+1}(z), \\ 0 < \max[\mu_k(z)] \leq 1 \text{ или } 0 < \max[\mu'(z)] \leq 1. \end{aligned}$$

В результате получим нечеткую ПМ:

$$\tilde{M} = \|\tilde{m}_{ij}\|,$$

$$\text{где } \tilde{m}_{ij} = \{\mu_{ij}(z) / z \in [z_{min}, z_{max}]\} = \{\mu_k(z) \text{ или } \mu'(z)\}, \quad (1)$$

после построения которой необходимо определить наилучшие стратегии игроков и возможные результаты их применения.

Выбор стратегий можно выполнить на основе точечных оценок нечетких множеств \tilde{m}_{ij} , вычисляемых по соотношениям [7, 8]:

$$s(\alpha_i) = \frac{\sum z(\alpha_i)}{n(\alpha_i)}, S = \frac{\sum s(\alpha_i) d\alpha_i}{\alpha_{max} - \alpha_{min}},$$

где α_i – i -й α уровень;

$z(\alpha_i)$ – значения аргумента ФП нечеткого множества \tilde{m}_{ij} , такие, что $\mu_{ij}(z) \geq \alpha_i$;

$n(\alpha_i)$ – число $z(\alpha_i)$;

$d(\alpha_i) = \alpha_i - \alpha_{i-1}$;

$\alpha_{max}, \alpha_{min}$ – максимальное и минимальное значения α уровней.

Значения точечных оценок зависят как от вида ФП, так и от их положения на области определения. После вычисления этих оценок для всех НМ (1) получим матрицу:

$$S = \|s_{ij}\|.$$

Предположим для определенности, что первый игрок выигрывает, а второй проигрывает. При нарушении принципа «общего знания» игроки могут только предполагать конкретный выбор другой стороны. Тогда, если допустить равную возможность выбора любой стратегии, для первого игрока наилучшим решением будет

$$x_i^* = \max\left\{\frac{1}{N} \sum_j s_{ij}\right\},$$

для второго

$$y_j^* = \min\left\{\frac{1}{M} \sum_i s_{ij}\right\}. \quad (2)$$

Точечные оценки позволяют участникам конфликта найти наиболее выгодные решения, но не дают оценки последствий возможного выбора.

Будем рассматривать каждую строку матрицы (1) как некоторую совокупность возможно пересекающихся НМ. Применим к i -й строке матрицы (1) преобразование *FztoTriangle*, определенное в нечеткой таблице *FuzyCalc*. Это преобразование заменяет совокупность НМ i -строки матрицы (2) эквивалентным НМ с параметрами

$$z_i^{L^y} = \min_j \{z^L < \tilde{m}_{ij} >\},$$

$$z_i^{R^y} = \max_j \{z^R < \tilde{m}_{ij} >\}, \text{ где } z^L < \tilde{m}_{ij} > - \text{ левая граница нечетких множеств}$$

i -й строки;

$z^R < \tilde{m}_{ij} >$ – правая граница нечетких множеств i -й строки. Центр тяжести CG_i^y равен центру тяжести совокупности НМ, образующих i -ю строку матрицы (2):

$$CG_i^y = \frac{\sum_{k_i} \mu_{ij}(z_{k_i}) z_{k_i}}{\sum_{k_i} \mu_{ij}(z_{k_i})}, z_{k_i} \in [z_i^{L^y}, z_i^{R^y}].$$

Модальное значение ФП эквивалентного множества определяется из известного соотношения для центра тяжести треугольника:

$$CG_i^y = \frac{1}{3}(z_i^{L^y} + \hat{z}_i + z_i^{R^y}), \hat{z}_i = 3CG_i^y - (z_i^{L^y} + z_i^{R^y}),$$

где \hat{z}_i – модальное значение.

В результате для каждого игрока будут получены интегральные оценки возможных последствий его выбора.

Первого игрока, очевидно, интересует

$$x_i^* \rightarrow \max\{\tilde{R}(x_i)\}, \quad (3)$$

второго

$$y_j^* \rightarrow \min\{\tilde{R}(y_j)\}.$$

Отметим, что при тестировании описанного метода на примерах конкретных ситуаций соотношения (2) и (3) дают совпадающие результаты, что можно рассматривать как доказательство корректности использования преобразования *FztoTriangle*.

Равновесной нечеткой ценой игры будет

$$\tilde{\gamma} = \tilde{R}(x_i^*) \cap \tilde{R}(y_j^*).$$

Можно показать, что $\tilde{\gamma} \neq \emptyset$.

Результаты исследований, их обсуждение. Предложен метод нахождения наилучшего решения в конфликтной ситуации, формализуемой некооперативной, антагонистической игрой при нарушении принципа «общего знания».

Показано, что в этих условиях для формализации возникающих неопределенностей целесообразно использование аппарата нечетких множеств.

Нахождение наилучшего решения предлагается выполнять на основе преобразования нечетких оценок последствий выбранных решений в эквивалентное нечеткое множество с треугольной функцией принадлежности, что позволяет упростить сравнение нечетких оценок для определения наиболее рационального решения.

Выводы. Предложенный подход позволяет участникам антагонистической игры в условиях недостаточно достоверной информации о последствиях выбранных решений найти наилучшее для этих условий.

Использование нечетких множеств для формализации неопределенности исходных данных позволяет получить достаточно адекватную модель конфликтной ситуации.

Интегральная, нечеткая оценка последствий выбранного решения, полученная с помощью эквивалентного преобразования в форму треугольного нечеткого множества, позволяет упростить сравнение нечетких оценок.

Библиографический список

1. Myerson R. B. Game theory: analysis of conflict. L. : Harvard Un. Press, 1991. 388 p.
2. Geanakoplos J. Common Knowledge Hand Books of Game Theory/ ed. R. Auman and S. Hart. Elsevier Science BV. 1994. Pp. 1438–1496.
3. Сигал А. В. Теоретико-игровая модель принятия инвестиционных решений // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, серия «Экономика и управление». 2011. Т. 24(63). № 1. С. 193–205.
4. Vector C. R., Cnadra S. Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games. Springer, 2010. 236 p.
5. Kumar R. S., Kumeraghuti S. Optimization of Fuzzy Matrix Games of Order 4x3 // Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2014. Vol. 2. Is. 10 (Part 4). Pp. 12–14.
6. Verna T., Kumar A., Kacpizyk J. A Novel Approach to the Solution of Matrix Games with Payoffs Expressed by Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Number // Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. 2015. Vol. 9. № 3. Pp. 25–46.
7. Yager R. R. Multiple-objective decision – making using a fuzzy sets // International Journal. Man – Machine. 1977. Vol. 9. № 4. Pp. 375–382.
8. Yager R. R. Multicriteria decisions with soft: an application of fuzzy set and possibility theory // Fuzzy Mathematics. 1982. Vol. 2. № 2. Pt.1. Pp. 21–28; Vol. 2. № 3. Pt. 2. Pp. 7–16.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Установка для сварки кольцевых швов большого диаметра

К. Ю. Апатов^a, С. А. Сысолятин^b, Р. А. Бушмелев^c

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения^a

студент группы МСм 2801^{b, c}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: usr03913@vyatsu.ru^a, stud123760@vyatsu.ru^b, stud123763@vyatsu.ru^c

Аннотация. Получение сварных швов в трубчатых деталях большого диаметра, таких как элементы трубопроводов, контейнеры, баллоны и т.п., сопряжено с большими сложностями, связанными с установкой и базированием свариваемых деталей, громоздкостью установок, трудностью с обеспечением доступа к сварному шву.

Для сварки кольцевых швов имеются разработанные конструкции установок, которые позволяют выполнять сварку труб диаметром до 200 мм. Получение швов в изделиях диаметром более 300 мм связано с гораздо большими сложностями, а установки для сварки имеют значительно более высокую стоимость.

Кроме того, для изготовления качественных сварных конструкций большого диаметра требуется наличие сварного шва, не имеющего дефектов.

Данная работа посвящена анализу возможных дефектов сварных швов в изделиях большого диаметра, а также выбору наиболее эффективного способа контроля сварного шва.

В работе предложена конструкция установки для сварки кольцевых швов диаметром от 300 мм с проработкой ее отдельных узлов. Установка позволяет выполнять автоматизированную сварку деталей с размерами: длина максимальная – 7177 мм, длина минимальная – 653 мм, внутренний диаметр минимальный – 365 мм, внутренний диаметр максимальный – 920 мм, толщина стенки 2,5–3 мм со скоростью 13–17 м/час.

Установка позволяет реализовывать обратноступенчатый способ, многослойную сварку кольцевого шва и метод сварки крест-накрест.

Ключевые слова: сварка трубчатых деталей, дефекты сварных швов, установка для сварки.

Введение. Развитие современного промышленного производства ведет к появлению необходимости получения сварных швов в тонкостенных трубчатых деталях большого диаметра. Это могут быть элементы магистральных трубопроводов, детали оборонной промышленности (пусковые контейнеры ракетных установок и т. п.), а также различные корпусные детали общемашиностроительного назначения.

При этом крупный размер свариваемых деталей создает ряд сложностей, которые связаны с правильной установкой и базированием заготовок, удобством доступа ко всему месту стыка деталей, по которому будет выполняться шов, а также с исключением влияния дефектов сварки на качество сварного шва, что имеет большое значение вследствие необходимости уменьшения процента бракованных изделий ввиду их высокой стоимости.

Для сварки крупногабаритных изделий может применяться термическая сварка, к которой относится электродуговая контактная сварка, в отдельных случаях может применяться ручная дуговая сварка, аргоновая сварка, в том числе сварка полуавтоматом, сварка под флюсом.

В настоящее время существуют различные конструкции установок для сварки, но большинство из них предназначено для сварки труб диаметром, не превышающим 200 мм. Установки для сварки труб большего диаметра производятся зарубежными фирмами и имеют значительную стоимость. Ручная сварка труб большого диаметра может иметь ограниченное применение в связи с низкой производительностью и стабильностью качества получаемого сварного шва [1].

Поэтому целью данной работы было спроектировать установку для сварки труб диаметром 300 мм, позволяющую выполнять как автоматизированную, так и ручную сварку.

Для достижения данной цели решались следующие задачи: анализ дефектов сварных швов, анализ способы контроля сварных швов и выбор наиболее оптимального, разработка компоновки установки для сварки труб большого диаметра, предложение технологических методов сварки кольцевых швов.

Методы исследования. В процессе сварки в материале шва и зоне термического влияния могут появляться различные отклонения от технических требований к сварному шву, которые могут привести к ухудшению работоспособности получаемых сварных конструкций, а также снижению их надежности в процессе эксплуатации и возможному ухудшению внешнего вида изделия. Такие отклонения называют дефектами сварного шва.

Все возникающие в процессе сварки дефекты можно разделить на несколько групп. К первой группе относят дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе формирования и кристаллизации сварочной ванны и последующего остывания сварного соединения, ко второй группе относят дефекты, появление которых связано с нарушением технологических режимов сварки или нерациональной подготовкой и сборкой элементов сварного соединения, неработоспособностью оборудования либо имеющимися нарушениями технологического процесса сварки.

Виды дефектов сварных швов показаны на рис. 1.

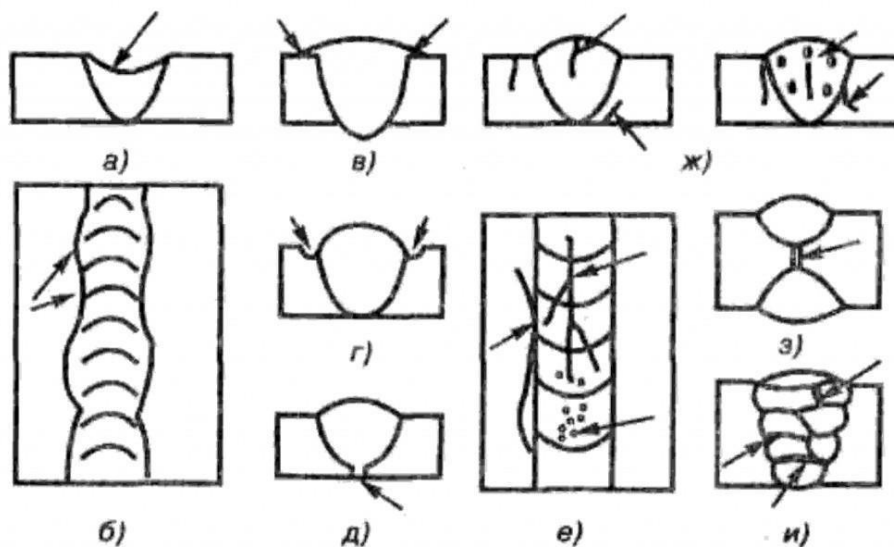


Рис. 1. Виды дефектов сварных швов

К дефектам сварного шва относят (рис. 1): а – ослабление шва, б – неравномерность ширины, в – наплыв, г – подрез, д – непровар, е – трещины и поры, ж – внутренние трещины и поры, з – внутренний непровар, и – шлаковые включения.

Для крупногабаритных деталей трубопроводов наибольшую опасность представляют непровары, а также трещины, которые приводят к нарушению герметичности сварного соединения. Для изделий, подверженных силовому воздействию, важна равномерность шва, так как наличие ослаблений приведет к появлению очага напряжений и последующему разрушению конструкции по шву.

Для исключения наличия указанных дефектов сварки в готовых изделиях применяют неразрушающие методы контроля сварных соединений. К ним относятся: визуальный осмотр, обмер сварного шва, контроль керосином (основан на явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по порам и трещинам шва), контроль аммиаком (с использованием способности аммиака окрашивать некоторые индикаторы), контроль воздушным и гидравлическим давлением, вакуумный контроль, магнитные методы контроля, радиационные методы контроля, рентгенографический и ультразвуковой контроль.

Предлагаемая установка для сварки кольцевых швов показана на рис. 2.

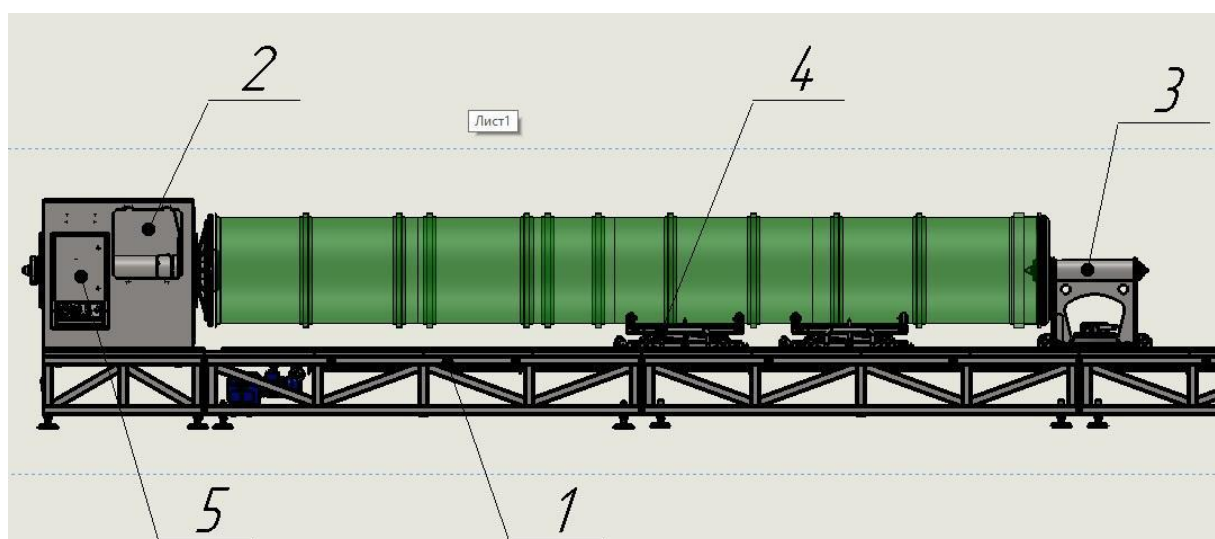


Рис. 2. Установка для сварки кольцевых швов

При сварке кольцевых швов заготовки, подлежащие соединению, вращаются перед одной или двумя закрепленными горелками. Такие сварочные комплексы, с применением широкого диапазона позиционеров и роликовых вращателей, обеспечивают автоматизацию сварки тел вращения.

Установка состоит из следующих основных узлов (рис. 2): 1 – рама, 2 – бабка передняя, 3 – бабка задняя, 4 – каретка транспортировочная, 5 – шкаф электрооборудования.

Установка обеспечивает автоматическую сварку кольцевых швов изделий, которые имеют следующие характеристики.

Вид сварки: АрДэс переменным током с присадочной проволокой.

Габариты: длина максимальная – 7177 мм, длина минимальная – 653 мм, внутренний диаметр минимальный – 365 мм, внутренний диаметр максимальный – 920 мм, толщина стенки 2,5–3 мм.

Установка состоит из цельной станины с закрепленным на ней позиционером (вращатель) с вертикальной планшайбой для монтажа оправки. Должна быть предусмотрена возможность монтажа оснастки для сварки.

Соосно оси вращения позиционера на установке размещена задняя бабка, имеющая возможность продольного перемещения по направляющим станины. Задняя бабка оснащена пинолью с центром для фиксации и поджатия свароч-

ной оправки во время работы. Установка также оснащается загрузочными тележками для удобства монтажа отсеков на сварочную оснастку без использования кран-балки. Позиционер (вращатель) должен обеспечивать необходимую скорость сварки в интервале от 13 до 17 м/ч, а также иметь необходимую грузоподъемность (масса оправки + масса заготовки + запас прочности) для работы с оправкой и для работы с оснасткой для сварки заготовок. Данную грузоподъемность установка должна обеспечивать без поджима и фиксации задней бабки (момент снятия и установки деталей на оправку).

В состав конструкции установки для автоматической сварки должны быть включены: сварочная колонна CWGTAW-MUST-8; система контроля дуги Jetline ALC-401 со сварочной горелкой; источник сварочного тока Miller Dynasty 350 блоком охлаждения COOLMATE 3.5, которые находятся на участке сварки (пост автоматической аргодуговой сварки кольцевого шва) и имеют необходимые характеристики и параметры для сварки.

Задняя бабка должна иметь электропривод для ее продольного перемещения. Загрузочные тележки должны обеспечивать перемещение изделия по направляющим станины, регулировку его по высоте при совмещении со сварочной оправкой и задней бабкой.

Габариты тележек не должны препятствовать вращению изделия при сварке.

Управление рабочими ходами установки и сварочным циклом должно выполняться с пульта на рабочем месте сварщика. Установка обеспечивает удобство эксплуатации, ремонтпригодна, конструкция отвечает эргономическим требованиям: удобство управления, точность восприятия информации.

Результаты исследований, их обсуждение. Предлагаемая конструкция установки для сварки кольцевых швов имеет следующие технологические возможности.

Одним из наиболее перспективных способов для сварки труб с диаметром более 300 мм является кольцевой обратноступенчатый способ. В этом случае каждый небольшой участок сваривается по часовой стрелке, но появляться эти

сварные участки будут в обратном порядке, против часовой стрелки. Таким образом в начале первого участка будет заканчиваться второй и т. д.

Другим способом, применимым для сварки труб большого диаметра, будет многослойная технология. Сущность данного способа состоит в том, что концы и начала смежных слоев перекрывают друг друга и при каждом последующем наложении шва направление сварки будет меняться на противоположное. Величина каждого сварного участка обычно не превышает 25 мм.

Также существует способ кольцевой сварки, называемый «крест-накрест». Он может применяться для труб, диаметр которых более 1000 мм. В этом случае сварочные швы делятся на отдельные участки, как правило, четыре или больше. В свою очередь каждый участок делится еще на два. Таким образом, получается не менее восьми точек, в которых нужно сваривать деталь. Они фиксируются и нумеруются не по порядку, а крест-накрест. В этом случае лучше использовать два сварочных поста.

Величина сварочного тока меняется в зависимости от диаметра электрода. Если диаметр 3,25 мм, то ток должен быть не меньше 100–110 ампер. А электрод диаметром 4 мм потребует 120–160 ампер для сварки кольцевых и иных швов в нижнем или полувертикальном положении и 100–140 ампер для остальных положений.

Схемы данных процессов показаны на рис. 3.

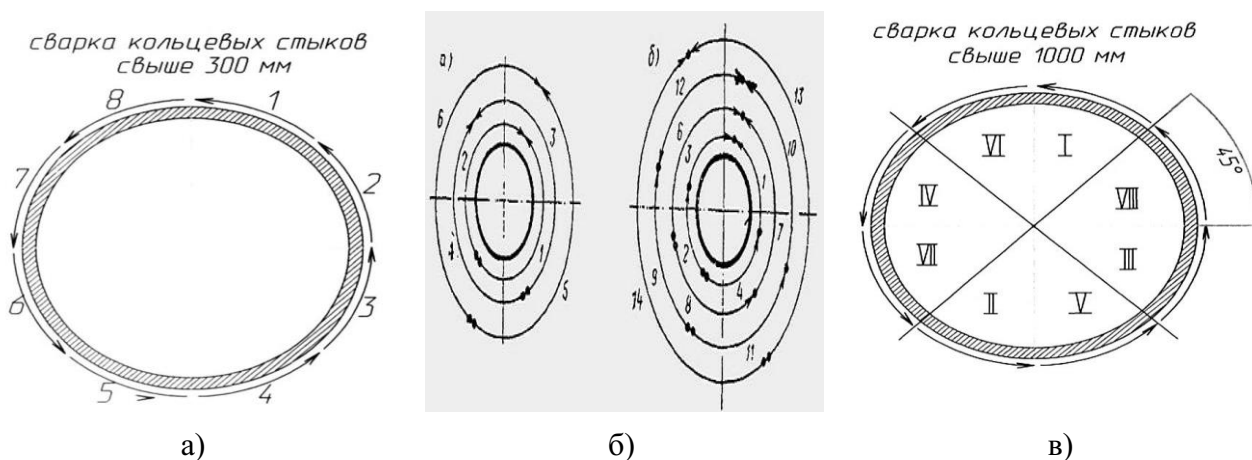


Рис. 3. Схемы основных методов сварки на предлагаемой установке: обратноступенчатый способ (а), многослойная сварка (б) и сварка крест-накрест (в)

Выводы. Таким образом в работе был выполнен анализ дефектов сварных швов и предложены способы их контроля, наиболее оптимальным из которых является контроль гидравлическим давлением. Разработана компоновка и основные узлы установки для сварки труб большого диаметра, предложены технологические методы сварки кольцевых швов, к которым относятся обратноступенчатый способ, многослойная сварка кольцевого шва и метод сварки крест-накрест.

Библиографический список

1. Банов М. Д. Технология и оборудование контактной сварки. М. : Академия, 2008.

Применение BIM-технологий в учебном процессе

В. Г. Басманов^a, А. Д. Сивков^b

кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения^a
студент группы ЭиЭм-1801-01-00^b
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: basmanov@vyatsu.ru^a, stud142734@vyatsu.ru^b

Аннотация. В данной работе рассмотрен опыт применения BIM-проектирования, в частности программы Autodesk Revit, при выполнении комплексной выпускной квалификационной работы (ВКР) командами студентов-бакалавров кафедр электроснабжения, строительного производства, теплотехники и гидравлики. Актуальность данной работы объясняется новыми требованиями, которые предъявляются к выпускникам в условиях развития информационных технологий: наличие навыков применения этих технологий и умения командной работы по созданию компьютерной модели при проектировании новых объектов, содержащей в себе всю информацию об этом объекте. Целью данной работы является внедрение BIM-проектирования в учебный процесс при подготовке студентов технических направлений. В результате выполнения ВКР каждой командой была сформирована комплексная информационная модель, в которую входили разделы АР, ЭО, ЭМ, ЭГ, ОВ и ВК. Модель была экспортирована в среду виртуальной и дополненной реальности для наглядной демонстрации проделанной работы. Применение данной технологии и навыков командной работы при написании ВКР в ВятГУ является новым уникальным опытом, который показал необходимость продолжения его дальнейшего применения при подготовке выпускников вузов по техническим направлениям.

Ключевые слова: инженерное проектирование, информационная модель, комплексная ВКР.

Введение. Отрасль строительства выдвигает большое количество условий к проектировщику, и одно из таких требований – умение понимать BIM-технологии и работать с ними. При этом сама отрасль BIM-технологий находится в стадии развития, и вследствие этого ей необходимо большое количество квалифицированных кадров, что и было целью проведения данного эксперимента.

Что же такое BIM-технология? «Информационное моделирование зданий (от английского Building Informational Modeling, сокращенно BIM) – это процесс, в результате которого формируется информационная модель здания (от английского Building Informational Model), также получившая аббревиатуру BIM» [1].

В данной работе рассмотрен опыт применения BIM-проектирования, в частности программы Autodesk Revit, при выполнении комплексной выпускной квалификационной работы (ВКР) командами студентов-бакалавров кафедр

электроснабжения, строительного производства, теплотехники и гидравлики. Актуальность данной работы объясняется новыми требованиями, которые предъявляются к выпускникам в условиях развития информационных технологий: наличие навыков применения этих технологий и умения командной работы по созданию компьютерной модели при проектировании новых объектов, содержащей в себе всю информацию об этом объекте. Целью данной работы является внедрение BIM-проектирования в учебный процесс при подготовке студентов технических направлений. Для решения поставленной цели необходимо показать навыки применения BIM-проектирования и умения командной работы при выполнении комплексной ВКР.

Ведущий подход. На данный момент ведущим программным обеспечением для проектирования всех разделов строительства на рынке является Autodesk AutoCAD. Разработчики расширяли функционал на протяжении почти 35 лет, что позволило сделать данное ПО приспособленным для создания проектной и рабочей документации в электронном виде с учетом всех требований. Однако примерно 20 лет назад компания Revit Technology Corporation выпустила программу под названием “revise-it”, которая постепенно стала феноменом в мире проектирования, потому что она работает не так, как все привыкли. «Revit обеспечивает более близкое моделирование к реальным зданиям. Отсюда термин: “Информационное моделирование зданий”, или BIM, однако так же, как переход от бумаги к экрану не произошел в одночасье, сегодня люди все еще не решаются приветствовать Revit с распростертыми объятиями» [2].

Сравнение и анализ указанных ПО позволяют выделить несколько преимуществ Revit перед AutoCAD [2, 3]:

1. Возможность внесения правок или обмен чертежами, сделанными в AutoCAD. Представьте, что проект состоит из большого количества листов и на финальной стадии понадобилось внести корректировки в свой раздел. Для этого необходимо передать этот файл каждому участнику проекта. Каждый смежный проектировщик должен будет откорректировать свой раздел, и получается хаос, но, к сожалению, все к этому привыкли и считают такой способ создания

проектов нормой. В Revit же все файлы одного проекта связаны между собой, и, если архитектор решит переместить перегородку, это изменение не повлечет за собой ошибки, так как все участники проекта сразу увидят это изменение в своих работах.

2. Использование 3D-проектирования. В большинстве случаев в AutoCAD работают в 2D-режиме и мыслят плоскостями, а не объемами, вследствие чего возникают пересечения смежных разделов на объекте. В Revit, проектируя изначально в 3D, можно предвидеть эти ошибки и избежать их. В конечном итоге при загрузке всех разделов в один проект можно запустить проверку на пересечения и устранить их при наличии.

3. BIM-проектирование имеет возможность автоматического составления спецификаций. В каждом разделе проекта проектировщик обязан выдать спецификацию по количеству материалов, предметов, устройств, используемых в проекте. У электриков это светильники, розетки, выключатели, автоматы, длины кабелей и т. д. У архитекторов – окна, двери, количество кирпича, бетона и т. д. Когда объект небольшой, это незаметно, гораздо проще посчитать все элементы вручную. Однако, если это большой торговый центр, где необходимо заказать сотни километров кабеля? В таких ситуациях поневоле начинаешь задумываться о методах автоматизации подсчета спецификации. В Revit можно и нужно это автоматизировать. После создания электрических цепей становится известно расстояние между двумя предметами, которое привязывается к заранее построенным кабеленесущим системам. В спецификацию попадают верные значения длины. Также происходит и с элементами, измеряющимися количеством: в модели мы вставляем не просто полигональные элементы, которые выглядят как электротехническое оборудование, а конкретные приборы, все параметры которых (мощность, напряжение, название, производитель и т. д.) предварительно занесены в программу. Но все эти параметры необходимо заполнить, что достаточно трудозатратно и окупится быстро, только если проектировать крупные объекты.

4. Возможность выполнения всех расчетов в одной программе. В AutoCAD приходилось прибегать к сторонним программам, экспортировать, потом

импортировать, что занимало много времени и приводило к ошибкам в расчетах. В Revit можно рассчитать все нагрузки, не выходя из программы, потому что в программу можно занести электротехнические данные о каждом электроприемнике, расположенном в модели. Также на основе этих данных можно автоматически построить однолинейные схемы, прибегая к плагинам Revit, таким как BIM Electrical Design от Shneider Electric и TeslaBIM.

Результаты исследований и их обсуждение. Весной 2021 г. в Вятском государственном университете было реализовано экспериментальное учебное задание, целью которого было решение задач промышленных партнеров в вопросе подготовки квалифицированных кадров в области BIM-проектирования. В рамках данного задания группа студентов (восемь человек) под руководством трех преподавателей и двух консультантов выполняли проект в программе Autodesk Revit, которая позволяет координировать совместную работу разных специалистов. Необходимо отметить, что большинство студентов не имели навыков работы в Autodesk Revit.

Первым этапом было создание архитектурной информационной 3D-модели по 2D-чертежам, хотя с точки зрения концепции BIM должно быть наоборот: сначала должна быть спроектирована информационная модель, а по ней уже должны быть получены поэтажные планы. Были построены стены, расставлены колонны и окна, спроектированы перегородки и перекрытия.



Рис. 1. Архитектурная модель

Следующим этапом было проектирование инженерных коммуникаций, в частности разделов ЭМ, ЭО, ЭГ. В качестве инструментов для расчета использовались плагины BIM Electrical Design от Shneider Electric и TeslaBIM, которые являются преимуществом BIM-проектирования электрики в программе Autodesk Revit, так как они упрощают рутинные процессы проектировщика и являются бесплатными для использования, автоматически рассчитывают нагрузки, токи, потери напряжения, выбирают кабели, автоматы, щиты.

При проектировании электротехнических разделов необходимо разместить электрические приемники, розетки, выключатели, щиты и другое оборудование в архитектурной, заранее подготовленной модели. В роли этого оборудования выступают семейства. Семейства – это неделимый компонент единой геометрии, используемый для проектирования. В нашем случае это электротехнические устройства, наделенные мощностью, сопротивлением и другими параметрами.

Для расчета освещения была использована программа DIALux EVO, которая выполняет очень подробный светотехнический расчет освещенности точечным методом с достаточно подробными визуализациями всех помещений, пример показан на рис. 2. На основе полученных данных были расставлены светодиодные светильники во всех помещениях проектируемого здания.

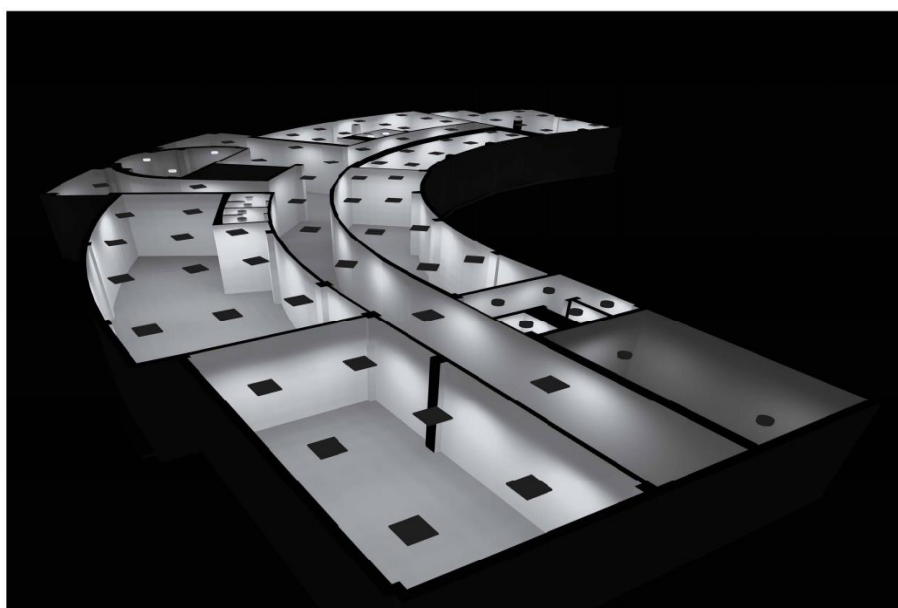


Рис. 2. Светотехнический расчет освещенности в программе DIALux EVO

После расстановки оборудования создавались электрические цепи, логически связывались щиты с питающей сетью, а электроприемники – с щитами или распределительными коробками. Таким образом, программа запоминает все нагрузки и ни одна из них не будет упущена в расчетах. После расстановки оборудования и создания всех электрических цепей была спроектирована кабеленесущая система, на которую в дальнейшем можно опираться при расчете длины кабельных линий. Далее выполнялась проверка выбора кабелей, автоматических выключателей и другого оборудования, выбранного программой по существующим правилам и ГОСТ. Все это можно автоматически рассчитать в программе, что минимизирует временные затраты на проектирование, однако проверять правильность расчетов все-таки необходимо.

В специальном разделе решался вопрос по электробезопасности, выбирались и проектировались системы молниезащиты и заземления.

Совместно с разделом электроснабжения проектировался раздел ОВ и ВК. В этом разделе проектировалась приточная и вытяжная вентиляция, представлялись кондиционеры, воздухопроводы и т. д.

На заключительном этапе собиралась сводная информационная модель, в которой присутствовали все проектируемые разделы. Модель проверялась на коллизии, выдавались задания на отверстия для коммуникаций строителям. Проект был экспортирован в среду виртуальной и дополненной реальности, пример приведен на рис. 3.

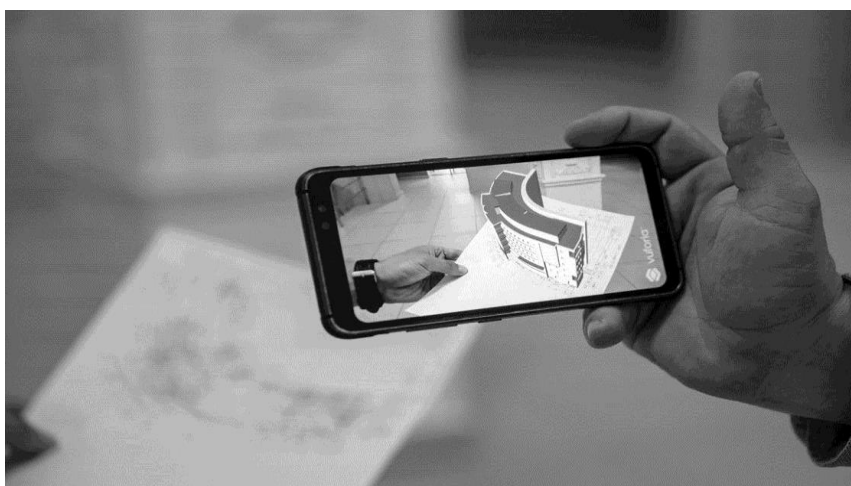


Рис. 3. Наглядная демонстрация проекта в среде дополненной реальности

Выводы. В ходе выполнения комплексной выпускной квалификационной работы были решены поставленные задачи по применению современных BIM-технологий и демонстрации навыков командной работы. В результате проведенного эксперимента выпускниками технических направлений ВятГУ были получены новый опыт и компетенции, которые востребованы на рынке труда работодателями.

Библиографический список

1. Талапов В. В. Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения. URL: https://stroi.mos.ru/builder_science/tekhnologhiia-bim-iedinaia-modiel-i-sviazannyie-s-etim-zabluzh-dieniia?from=cl (дата обращения: 30.02.2022).
2. AutoCAD или Revit. Сравнение. Плюсы и минусы. URL: <https://cgaward.com.ua/publi-kacii/soft/autocad-or-revit.html> (дата обращения: 30.02.2022).
3. Чем Revit отличается от AutoCAD. URL: <https://archtutors.org/revit-autocad/> (дата обращения: 30.02.2022).

Нормирование параметров затухания аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей

К. А. Батенков

доктор технических наук.

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Орёл, Российская Федерация.

E-mail: pustur@yandex.ru

Аннотация. В работе отмечается, что нормирование аналоговых окончаний сетей передачи информации включает в себя рассмотрение ряда параметров и их допустимых границ, соблюдение которых свидетельствует о надлежащем качестве организуемого канала связи. Цель статьи – рассмотреть одни из самых важных характеристик канала тональной частоты: остаточное затухание и затухание несогласованности как для двухпроводного режима, так и для четырехпроводного. Ведущий подход – анализ существующей нормативной базы в области оценки качества в телекоммуникациях. Основные результаты: показаны основные теоретические сведения об остаточном затухании и затухании несогласованности канала тональной частоты, а также представлен порядок их расчета. Основным предназначением представленных материалов является их использование в качестве научно-технического обоснования критериев и показателей, обеспечивающих оценку качества предоставляемых телекоммуникационных услуг.

Ключевые слова: сети связи, качество обслуживания, аналоговое окончание, остаточное затухание, затухание несогласованности.

Введение. Нормирование аналоговых окончаний сетей передачи информации включает в себя рассмотрение ряда параметров и их допустимых границ, соблюдение которых свидетельствует о надлежащем качестве организуемого канала связи. Далее рассматриваются одни из самых важных характеристик канала тональной частоты: остаточное затухание и затухание несогласованности как для двухпроводного режима, так и для четырехпроводного.

Нормирование затухания несогласованности канала тональной частоты. Нормы на общие характеристики канала тональной частоты приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Нормы на общие характеристики канала тональной частоты

Наименование характеристики	Двухпроводный режим	Четырехпроводный режим
Плюса эффективно передаваемых частот, Гц	300–3400	
Номинальные относительные уровни передачи на частоте 1020 Гц, дБ	0	-13
Номинальные относительные уровни приема на частоте 1020 Гц, дБ	-7	+4
Номинальное значение остаточного затухания канала на частоте 1020 Гц, дБ	7	-17
Номинальные величины входного и выходного сопротивления, Ом	600	

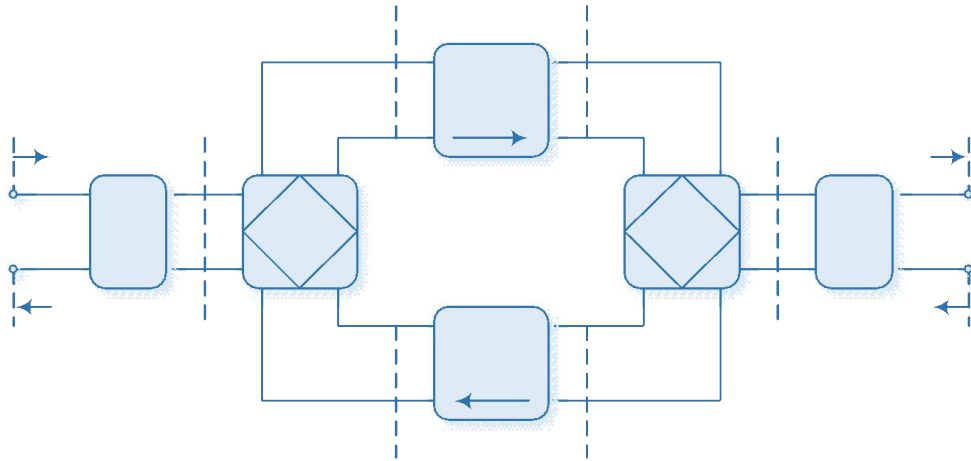


Рис. 1. Уровни передачи и приема двух- и четырехпроводного канала

Пример расчета остаточного затухания канала тональной частоты.

На двухпроводный и четырехпроводный входы канала тональной частоты подаются нормированные уровни передачи. На выходе двухпроводного канала принимается сигнал напряжением 109 мВ на согласованной нагрузке, а на четырехпроводном 777 мВ на нагрузочном сопротивлении 150 Ом. Определить соответствие остаточных затуханий нормам.

Дано: $U_2=109$ мВ, $U_4=777$ мВ, $Z_4=150$ Ом.

Найти: a_2 , a_4 .

Нормированное напряжение на согласованной нагрузке 600 Ом составляет 775 мВ. Таким образом, на двухпроводном выходе уровень сигнала

$$L_2=20\lg U_2U_0 =20\lg 109775 =-17 \text{ дБм.}$$

Поскольку абсолютный уровень мощности, относящийся к точке относительного нулевого уровня, не задан, то предполагается использование его величины по умолчанию:

$$L_0=-10 \text{ дБм0.}$$

Относительный уровень по мощности:

$$L_2'=L_2-L_0=-17 \text{ дБм--}10 \text{ дБм0}=-7 \text{ дБо.}$$

Остаточное затухание рассчитывается относительно номинального относительного входного уровня $L_i=0$ дБо.

$$a_2=L_i-L_2'=0--7=7 \text{ дБ.}$$

Таким образом, согласно табл. 1, остаточное затухание a_2 соответствует норме (табл. 2).

Таблица 2

Соответствие нормам на остаточное затухание

Показатель	Остаточное затухание двухпроводного канала a_2 , дБ	Остаточное затухание четырехпроводного канала a_4 , дБ
Норма	7	-17
Измеренные значения	7	-17

На четырехпроводном выходе уровень сигнала замеряется на несогласованной нагрузке $Z_4=150$ Ом:

$$L_4=20\lg U_4U_0 +10\lg Z_4Z_0 =20\lg 777775 +10\lg 150600 =-6 \text{ дБм.}$$

Поскольку абсолютный уровень мощности, относящийся к точке относительного нулевого уровня, также не задан, то предполагается использование его величины по умолчанию:

$$L_0=-10 \text{ дБм0.}$$

Относительный уровень по мощности

$$L_4'=L_4-L_0=-6 \text{ дБм--}10 \text{ дБм0}=4 \text{ дБо.}$$

Остаточное затухание рассчитывается относительно номинального относительного входного уровня $L_i=-13$ дБо.

$$a_4=L_i-L_4'=-13-4=-17 \text{ дБ.}$$

Таким образом, согласно табл. 1, остаточное затухание a_4 соответствует норме (табл. 2).

Нормирование затухания несогласованности канала тональной частоты. Границы затухания несогласованности для двухпроводного канала имеют сложную форму, представленную на рис. 2а [1]. Затухание несогласованности по отношению к номиналу – не менее 20 дБ или коэффициент отражения по отношению к номиналу – не более 10% для четырехпроводного окончания (рис. 2б) [2, 3]. В нормах на электрические параметры каналов тональной частоты [4, 5] разграничивают понятия передачи и приема, и на передаче используются менее жесткие требования [6–8]: затухание несогласованности по отношению к номиналу – не менее 17 дБ или коэффициент отражения по отношению к номиналу – не более 15% (рис. 2в).

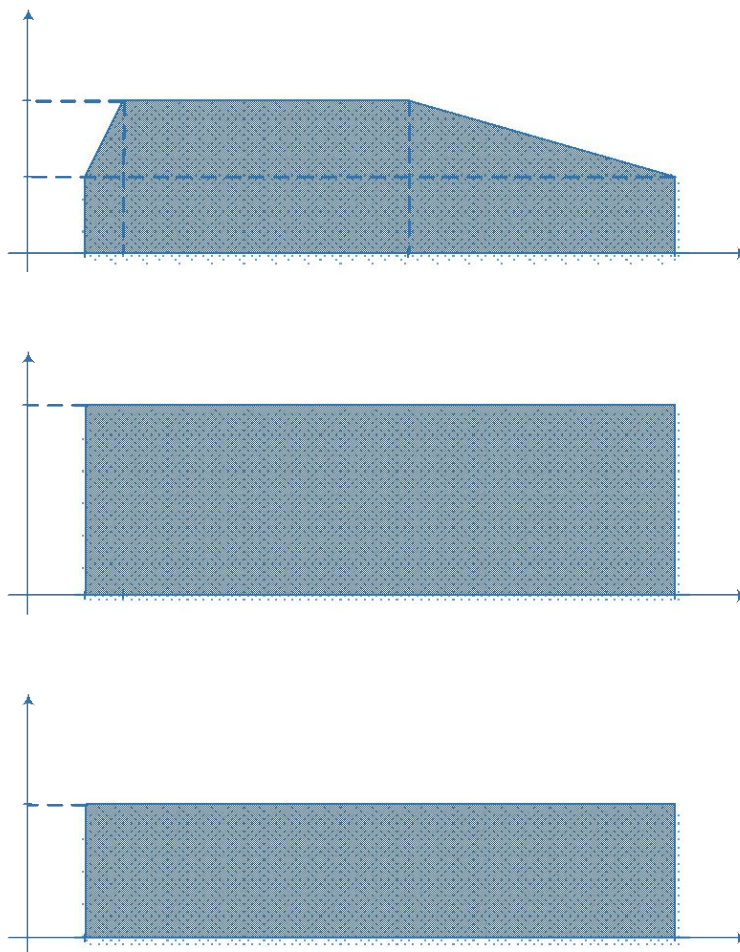


Рис. 2. Нормы на затухание несогласованности α для двухпроводного канала (а), четырехпроводного канала на приеме (б) и на передаче (в)

Пример расчета затухания несогласованности канала тональной частоты. На измерительное нормированное сопротивление подается напряжение генератора 120 мВ нормированной частоты, на входе канала тональной частоты регистрируется сопротивление 68 мВ (рис. 3).

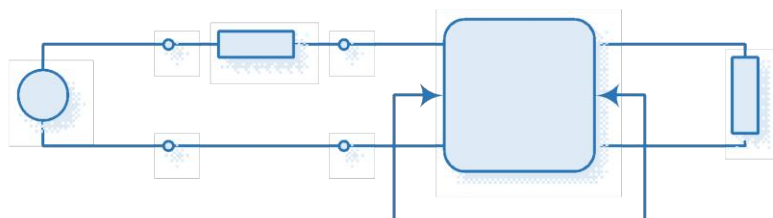


Рис. 3. Несогласованность сопротивлений на передаче Z_i и приеме Z_o

Определить входное сопротивление канала тональной частоты, коэффициент отражения, затухание несогласованности и его соответствие нормам.

Дано: $U_G=120$ мВ, $U_1=68$ мВ.

Найти: Z_i , i , a_i .

Нормированное сопротивление для канала тональной частоты соответствует $Z_1=600$ Ом. Входное сопротивление канала тональной частоты:

$$Z_i = U_1 Z_1 U_G - U_1 = 68 \cdot 600 - 68 = 784,6 \text{ Ом.}$$

Коэффициент отражения:

$$i = \frac{Z_1 - Z_i}{Z_1 + Z_i} = \frac{600 - 784,6}{600 + 784,6} = 0,133.$$

Затухание несогласованности:

$$a_i = -20 \lg i = -20 \lg 0,133 = 17,5 \text{ дБ.}$$

Согласно рис. 2а и в нормам удовлетворяет только четырехпроводное окончание ($17,5 > 17$), а двухпроводное – нет ($17,5 < 18$), поскольку нормированная частота равна 1020 Гц (табл. 3).

Таблица 3

Соответствие нормам на затухание несогласованности на частоте 1020 Гц

Показатель	Затухание несогласованности двухпроводного канала a_2 , дБ	Затухание несогласованности четырехпроводного канала a_4 , дБ
Норма	18	17
Измеренные значения	17,5	17,5

Выводы. В работе показаны основные теоретические сведения об остаточном затухании и затухании несогласованности канала тональной частоты, а также представлен порядок их расчета.

Библиографический список

1. Rec. Q.552. Transmission characteristics at 2-wire analogue interfaces of digital exchanges. 1996-11. Geneva : ITU-T, 1996. 43 p.
2. ГОСТ 21655-87. Каналы и тракты магистральное первичной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений. Введ. 1989-01-01. М. : Издательство стандартов, 1988. 106 с.
3. Rec. Q.553. Transmission characteristics at 4-wire analogue interfaces of digital exchanges. 2001-11. Geneva : ITU-T, 2001. 22 p.
4. Нормы на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризоновых первичных сетей: утв. М-вом связи РФ 15.04.96. М. : МК-Полиграф, 1996. 96 с.
5. Батенков А. А., Батенков К. А., Фокин А. Б. Методы формирования множеств состояний телекоммуникационных сетей для различных мер связности // Труды СПИИРАН. 2020. Т. 19. № 3. С. 644–673.
6. Батенков К. А. Технический эффект оптимальных линейных модуляции и демодуляции в беспроводных системах связи // Известия Института инженерной физики. 2015. № 1 (35). С. 24–28.
7. Батенков А. А., Батенков К. А. Дискретизация линейного канала связи с памятью и аддитивным белым гауссовским шумом численным методом // Математическое моделирование. 2009. Т. 21. № 1. С. 53–74.
8. Батенков К. А. Математические модели модулятора и демодулятора с заданным порядком нелинейности // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 1. С. 14–21.

Защита трафика в транспортных сетях при авариях с применением методов восстановления и переключения

К. А. Батенков^а, А. Б. Фокин^б

доктор технических наук, доцент кафедры многоканальной передачи^а
преподаватель^б

Академия ФСО России, Орел, Российская Федерация^{а, б}
E-mail: pustur@yandex.ru^а, tatarin57ru@mail.ru^б

Аннотация. В настоящее время транспортные сети обладают высокой пропускной способностью, и даже кратковременные перерывы связи могут привести к потере большого объема передающего трафика. Таким образом, создание структурно надежных транспортных сетей является актуальной задачей. Один из способов повышения надежности таких сетей предполагает формирование высокосвязных топологических структур с применением механизмов резервирования. К таким механизмам относят методы защиты переключением (Protection) и методы восстановления (Restoration). Основными показателями, которыми характеризуются эти методы, являются время, необходимое для устранения отказов, и используемый ресурс.

Ключевые слова: сеть, метод, структурная надежность, отказ, коэффициент надежности.

Введение. Современные транспортные сети обладают высокой пропускной способностью и используют волоконно-оптические линии связи (WDM, Wavelength Division Multiplexing) в качестве направляющих систем. Обеспечивая передачу информации на высоких скоростях, транспортная сеть становится чувствительной даже к кратковременным перерывам связи, приводящим к потере большого объема передающего трафика. Таким образом, задача обеспечения структурной надежности таких сетей является актуальной [1]. Для повышения структурной надежности сети операторы связи используют следующие мероприятия:

- выбор аппаратуры и/или линий с повышенной надежностью;
- применение резерва по каналам, трактам или линиям на отдельных участках сети;
- применение резервных обходных путей (в режиме горячего резерва);
- устройство «перемычек» – поперечных соединений между существующими путями;
- организация службы контроля и восстановления;
- создание системы управления разных уровней, обеспечивающей оперативное переключение трактов и каналов, перераспределение и ограничение потоков сообщений.

Выбор мер определяется требованиями к надежности и допустимому времени перерыва в связи, а также соотношениями затрат. На практике для повышения надежности транспортных сетей операторы, как правило, применяют высокосвязные топологические структуры с использованием методов защиты информационных потоков от влияния аварий на сети связи, использующие сочетания указанных мер. Разработаны два класса методов защиты трафика от влияния аварий: методы защитного переключения (Protection) и методы динамического восстановления (Restoration). Выбор применимости методов зависит от типа передающего трафика и его чувствительности к времени восстановления соединения.

Защита трафика в транспортных сетях при авариях с применением методов восстановления и переключения

В Российской Федерации приказом Мининформсвязи РФ от 27 сентября 2007 г. № 113 определены технические нормы для показателей функционирования устойчивости различных сетей связи [2]. Требуемые показатели устойчивости сетей связи обеспечиваются путем создания новых и совершенствования существующих методов защиты информационных потоков от влияния аварий на сети связи.

Основным типом аварии на сети связи является отказ. Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [3]; на сетях связи под отказом понимают перерыв в предоставлении услуги связи пользователю при выходе из строя узлов и/или линий связи. Зная величину вероятности отказа участка сети связи, определяют степень воздействия отказа на трафик. Гарантируемое оператором качество обслуживания (*QoS*) является важным аспектом для оценки воздействия отказа на сеть связи, который определяется временем восстановления сети и количеством потерянного трафика. Количество потерянного трафика пропорционально времени восстановления сети и скорости передачи. Проведенный анализ в [4] позволяет сделать вывод о том, что общее время от момента возникновения отказа (аварийной ситуации) и до восстановления или переключения всех сетевых элементов не должно пре-

вышать 200 мс. При данном интервале времени пользователи услуг связи не будут ощущать значительного ухудшения качества связи (в зависимости от предоставляемых услуг).

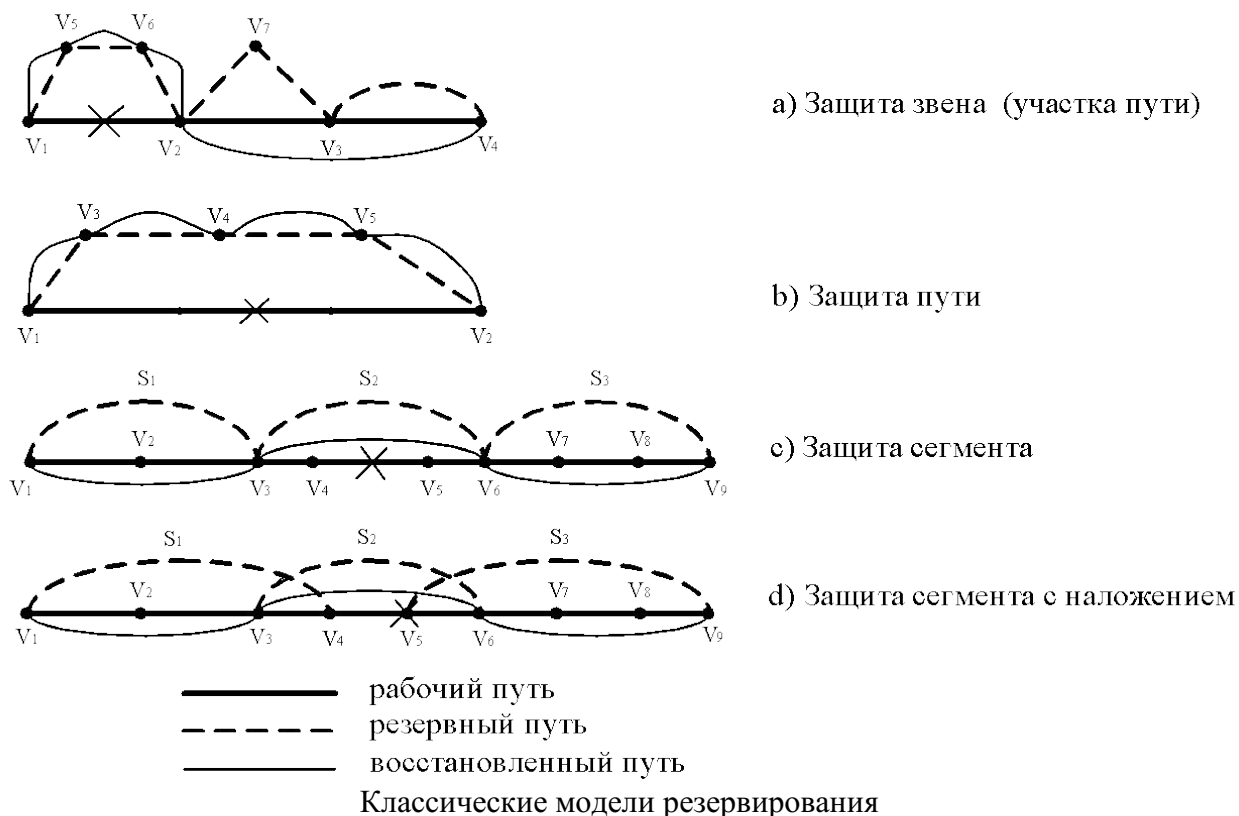
Для повышения структурной надежности высокоскоростных транспортных сетей между двумя конечными узлами применяются различные механизмы защиты трафика от влияния аварий на сети связи. Основными механизмами являются методы защитного переключения (Protection) и методы динамического восстановления (Restoration). У данных методов есть свои достоинства и недостатки, от которых и зависит их применимость.

Методы защитного переключения (Protection) обеспечивают внесение резервных элементов в систему связи, помимо необходимых для ее нормальной эксплуатации. Механизм резервирования данных методов заключается в предварительном выделении дополнительного ресурса сети еще до наступления соединения для организации обходных маршрутов и каналов при возникновении отказа на сети. Команду на переключение формирует оборудование на основании статусных сигналов. Главным достоинством этих методов является быстрое время восстановления связи (до 50 мс), тем самым обеспечивается минимум потерь передаваемого трафика, что не сказывается на качестве предоставляемых услуг. Существенным недостатком будет организация дополнительной избыточности сетевого ресурса. При использовании таких методов отказ системы связи наступает только после отказа основного элемента и всех резервных элементов, что существенно повышает надежность сети.

Методы защитного переключения (protection) применяются к различным моделям защиты сети (см. рисунок): защита звена (участка пути), защита пути, защита сегмента, которые реализуются по схемам: 1+1 и 1:1 ($M:N$).

К наиболее эффективным методам защитного переключения можно отнести механизм резервирования на основе р-циклов (P-cycle, preconfigured protection cycle) [5], относящийся к сегментным методам. Сущность методов состоит в выделении на высокосвязной топологической структуре замкнутого контура или цикла с заранее рассчитанной резервной пропускной способно-

стью, которая будет использоваться при возникновении аварии. Данные методы направлены на снижение избыточности сетевого резерва с сохранением высоких скоростей переключения. Анализ и описание методов защитного переключения можно найти в работах [6–9].



Методы динамического восстановления (Restoration) предполагают использовать существующие на момент аварии ресурсы сети и осуществлять поиск возможных путей (маршрутов) обхода непосредственно в момент аварии, используя при этом исправные ресурсы сети. Применение подобных методов резервирования также требует наличия свободного сетевого резерва либо отмены передачи низкоприоритетного трафика. В то же время эти методы позволяют серьезно сэкономить на простое свободного сетевого резерва, передавая по нему низкоприоритетный трафик, которым можно пожертвовать при составлении обходных путей. При этом восстановление сети происходит с использованием возможностей вычислительных ресурсов центральной системы управления сети. В некоторых случаях для этого требуется достаточно значительное количество времени, при этом не всегда имеется возможность обеспечить вос-

становление всех аварийных маршрутов на сети. Из вышесказанного видно, что к главному недостатку методов динамического восстановления можно отнести затрату относительно большого ресурса времени (до 200 мс) на восстановление связи, что может повлиять на качество предоставляемых услуг передаваемого трафика, чувствительного к времени восстановления сети. Также возникает риск нестабильности работы сети при частых самоустраняющихся сбоях [10]. Достоинством данных методов является более экономичное использование сетевых ресурсов (пропускной способности) сети связи по сравнению с методами защитного переключения (резервирования). Описание и анализ методов динамического восстановления отражены в [7, 11–13].

Обобщенная классификация методов защиты трафика при авариях на сети связи представлена в табл. 1 [4].

Таблица 1

Классификация методов защиты информационных потоков

Методы защиты		
Защитное переключение (резервирование потоков, линейных трактов)	Динамическое восстановление соединения (перемаршрутизация потоков)	
Выделение ресурсов		
По предварительному расчету	По требованию	
Использование ресурсов		
Выделенного резерва 1+1	Общего резерва 1:N	Второстепенного трафика
Расчет резервного маршрута (пути)		
Предварительный расчет	Выбор пути в зависимости от требования по качеству	По требованию
Объект защиты		
Защита пути (защита потока на всей сети)	Защита линейного тракта (участка линейного тракта)	Защита сегмента сети
Управление механизмом защиты		
Автоматическое управление (за счет статусных сигналов оборудования)	Внешними командами системы управления	

Из сказанного видно, что основными показателями, характеризующими методы защиты трафика от влияния аварий на сети связи, являются время, необходимое для устранения отказов (аварий), и объем используемых ресурсов, которые в совокупности влияют на качество предоставляемых услуг [14]. Однако, помимо объема используемых ресурсов и времени переключения, при выборе методов защиты информационных потоков от влияния аварий на сетях

связи необходимо учитывать и изменение показателя надежности сети при выбранном механизме резервирования. Так как показатели надежности сети связи имеют вероятностный характер, то их оценка производится расчетным способом на основе показателей надежности всех элементов исследуемой сети. Согласно [15] в качестве показателя надежности на сети электросвязи связи используют коэффициент готовности (K_G), который является одной из метрик, отражающих структурную надежность сети. Коэффициент готовности (K_G) – это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени [16], определяется соотношением:

$$K_G = T_o / T_o + T_B,$$

где T_o – среднее время наработки на отказ, T_B – среднее время восстановления.

В настоящее время оба эти механизма способны обеспечить требуемый пользователям необходимый показатель готовности услуги или готовности соединения. Под готовностью будем понимать вероятность того, что соединение будет обеспечено в любой случайный момент времени [17]. Для пользователя при выборе сетевого оператора показатель готовности требуемой им услуги будет являться важной метрикой, иногда даже более значимой, чем другие параметры QoS (джиттер, задержка, потеря пакетов).

Понятно, что чем выше должна быть готовность системы связи (табл. 2), тем больше затрат требуется со стороны оператора для ее обеспечения, что, соответственно, отразится на конечной цене услуги, предоставляемой пользователю.

Таблица 2

Классы готовности систем

Тип системы	Недоступность (мин/год)	Доступность	Класс готовности
Необслуживаемые	50000	90%	1
Обслуживаемые	5000	99%	2
Хорошо обслуживаемые	500	99,9%	3
Отказоустойчивые	50	99,99%	4
Высокая готовность	5	99,999%	5
Очень высокая готовность	0,5	99,9999%	6
Сверхвысокая готовность	0,05	99,99999%	7

Так как на рынке телекоммуникационных услуг присутствуют пользователи с разным уровнем бюджета, то оператор должен иметь возможность

предоставлять им удовлетворяющий их по цене уровень доступности к сервису. Эту задачу оператор решает, в том числе и используя как раз разные варианты применения методов защитного переключения и восстановления, в зависимости от требований пользователя к готовности услуги.

Выводы. Методы защитного переключения и восстановления являются двумя основными подходами, обеспечивающими структурную надежность телекоммуникационных сетей при авариях на сетях связи, приводящих к отказам узлов и линий связи. Также данные методы можно использовать совместно друг с другом, при этом разделяя весь трафик на несколько типов в соответствии с их приоритетами и разной чувствительностью к времени восстановления соединения. Для критичного к задержкам трафика применяются методы защитного переключения по схемам 1+1 или 1:1, для менее чувствительного – методы восстановления. Использование данных методов не ограничивается применением только в транспортных сетях, они также широко используются и в сетях SONET-SDH, IP и MPLS [7].

Библиографический список

1. Mukherjee B. Optical WDM Networks. Springer, 2006. 956 p.
2. Приказ Мининформсвязи России от 27 сентября 2007 г. № 113 «Об утверждении требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования» // Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации.
3. ГОСТ Р 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. Введ. 2017–03–01. М. : Стандартинформ, 2016. 30 с.
4. Грязев А. Н., Жигadlo В. Э. Оценка надежности транспортной сети телекоммуникационной системы при использовании систем резервирования // Информация и Космос. 2017. № 4. С. 126–132.
5. New option and insights for survivable transport networks / W. D. Grover [et al.] // IEEE Communications Magazine. January, 2002. Pp. 34–41.
6. Шувалов В. П., Тимченко С. В. Методы резервирования и восстановления в телекоммуникационных сетях. // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Омск, 2009. С. 40–43.
7. Vasseur J., Pickavet M., Demester P. Network Recovery. Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS. Morgan Kaufman Publishers. 2004. 521 p.
8. Network reliability and availability // WWW. network – protection / network – reliability – and – availability. 2010.
9. Калимулина Э. Ю. Моделирование и анализ надежности корпоративной сети // Стандарты и качество. 2008. № 8. С. 96–112.
10. Bircan G., Cannington J., Ortynski E. A. Design strategies for meeting unavailability targets using dedicated protection in DWDM networks // J. Lightwave Technolody. 2007. Vol. 25. № 5. Pp. 1120–1129.

11. Поповский В. В., Лемешко А. В., Мельникова Л. Н., Андрушко Д. В. Обзор и сравнительный анализ основных моделей и алгоритмов многопутевой маршрутизации в мультисервисных телекоммуникационных сетях // Прикладная радиоэлектроника. 2005. Т. 4. Вып. 4. С. 372–382.
12. Norden S., Buddhikot M., Waldvogel M. Routing bandwidth-guaranteed paths with restoration in label switched networks // Comput. Netw. 2004. Vol. 46. № 2. Pp. 197–218.
13. Будылдина Н. В., Трибунский Д. С., Шувалов В. П. Оптимизация сетей с многопротокольной коммутацией по меткам. М. : Горячая линия – Телеком, 2010. 144 с.
14. Grover W. D. Mesh-Based Survivable Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET, and ATM Networking. New Jersey, 2003. 880 p.
15. ГОСТ 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. М. : Стандартформ, 2008.
16. ГОСТ Р 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. Введ. 2017-03-01. М. : Стандартинформ, 2016. 30 с.
17. Шувалов В. П., Егурнов М.М. Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях // Вестник СибГУТИ. 2012. № 2. С. 3–10.

Влияние легирования на физико-механические свойства и структуру сплавов на основе Al-49%Zn

Д. А. Бёрдов^a, А. И. Скворцов^b

инженер кафедры материаловедения и основ конструирования^a
доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и основ конструирования^b
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: da_berdov@vyatsu.ru^a, skvorcov@vyatsu.ru^b

Аннотация. Исследовано влияние пластической деформации осадкой при комнатной температуре на твёрдость и структуру сплава Al-49%Zn и сплавов, дополнительно легированных Mg и модифицированных Zr. Проанализированы закономерности эффектов упрочнения и разупрочнения на разных стадиях пластической деформации этих сплавов. Рассмотрены основные механизмы упрочнения и разупрочнения: механизм дислокационного упрочнения и механизм зернограничного скольжения, эффективность которых зависит от химического состава сплава и степени пластической деформации. Разупрочнение связано с преобладанием усиливающегося влияния механизма зернограничного скольжения по сравнению с дислокационным механизмом. Упрочнение связано с преобладанием усиливающегося влияния дислокационного механизма, обусловленного увеличением плотности дислокаций, по сравнению с механизмом зернограничного скольжения. Последующее развитие проведенного исследования заключается в изучении влияния нагрева на структуру и свойства сплавов.

Ключевые слова: сплав системы алюминий-цинк, легирование, модифицирование, отжиг, пластическая деформация, микроструктура, твёрдость.

Введение. Сплавы Al-Zn нашли широкое применение в промышленности, в частности в машиностроении, а также в научных исследованиях с целью углубления фундаментальных знаний о сплавах на основе Al-Zn.

Сплавы Al-Zn в зависимости от химического состава и режимов обработки могут обладать сверхпластичностью, высокой демпфирующей способностью, высокой жидкотекучестью при литье. Благодаря этим свойствам алюминий-цинковые сплавы являются высокотехнологичным материалом.

В работах [1–8] проанализированы физико-механические свойства сплавов системы Al-Zn как богатых цинком, так и богатых алюминием. Анализ литературы показывает, что сплавы системы Al-Zn с содержанием компонентов вблизи середины диаграммы состояния системы Al-Zn и легированные Zr, Mg малоизучены. Представляет интерес изучение влияния степени пластической деформации при комнатной температуре на твёрдость таких сплавов. Известно, что большинство металлических материалов упрочняется при пластической деформации, однако для сплавов системы Al-Zn имеет место чередование процессов упрочнения и разупрочнения [2–4].

Целью работы является изучение влияния пластической деформации при комнатной температуре на твёрдость и структуру сплавов на основе Al-49%Zn, легированных Zr, Mg. Выбор этих элементов обусловлен тем, что ими легируют сплавы, богатые алюминием, для которых чётко прослеживается улучшение этим легированием физико-механических характеристик сплава [6–8]. Однако в упомянутых работах не изучены сплавы, содержащие Al и Zn в количестве, соответствующем середине их диаграммы состояния.

Материал и методы исследования. Сплавы (табл. 1) плавил в открытой тигельной печи из чистых шихтовых материалов. Из отливок, полученных литьём в металлическую форму, изготавливали образцы диаметром 15 мм и высотой 15 мм. Образцы отжигали при 400 °С. Отожжённые образцы подвергали пластической деформации осадкой при комнатной температуре на гидравлическом прессе со степенями деформации Σ от 20 до 74%. Из каждого образца делали шлиф в продольном сечении для изучения структуры и измерения твёрдости.

Таблица 1

Химический состав сплавов (вес %)

Сплавы	Al	Zr	Mg	Cu	Zn	Примеси
1	49	–	–	–	Остальное	0,15 <
2	49	0,05	–	–	Остальное	0,15<
3	49	0,03	0,13		Остальное	0,15 <

Твёрдость HV измеряли на приборе ТВМ 1000 при нагрузке 9,8 Н. Микроструктуру изучали на микроскопе “Neophot 21” после травления образцов погружением в реактив составом: H₂SO₄ – 10 мл, HF – 10 мл, H₂O – 80 мл – с последующей промывкой в воде.

Результаты исследований и их обсуждение

Сплав 1. На рис. 1 представлен график зависимости твёрдости от степени пластической деформации для сплава Al-49%Zn. Для сплава характерны три стадии упрочнения-разупрочнения при деформировании: 1-я стадия – разупрочнение до степени деформации $\Sigma = 20\%$, 2-я стадия – упрочнение до степени деформации $\Sigma = 48\%$ и 3-я стадия – разупрочнение при дальнейшем увеличении степени пластической деформации.

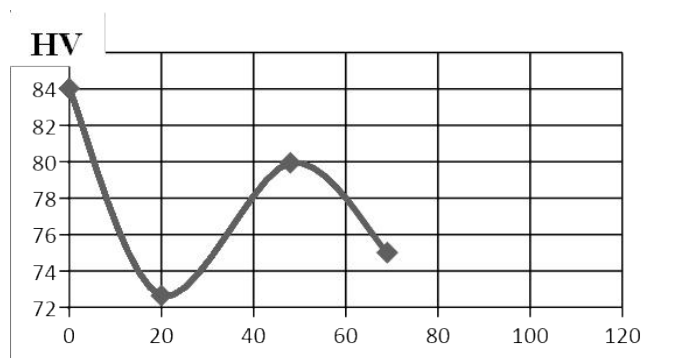


Рис. 1. Зависимость твёрдости предварительно отожжённого сплава Al-49%Zn (сплав 1) от степени пластической деформации при комнатной температуре

Из рис. 2 видно, что при деформации 20% структура измельчается, при деформации 48% структура существенно не меняется. При дальнейшем увеличении степени деформации увеличивается степень слоистости микроструктуры, степень сплюсненности зерен. Можно предположить, что на 1-й стадии деформирования разупрочнение связано с преобладанием усиливающегося влияния механизма зернограничного скольжения по сравнению с дислокационным механизмом. На 2-й стадии деформирования увеличение твёрдости обусловлено преобладанием усиливающегося влияния дислокационного механизма, обусловленного увеличением плотности дислокаций. Уменьшение твёрдости на 3-й стадии деформирования обусловлено, как и на 1-й стадии, преобладанием усиливающегося влияния механизма зернограничного скольжения по сравнению с дислокационным.

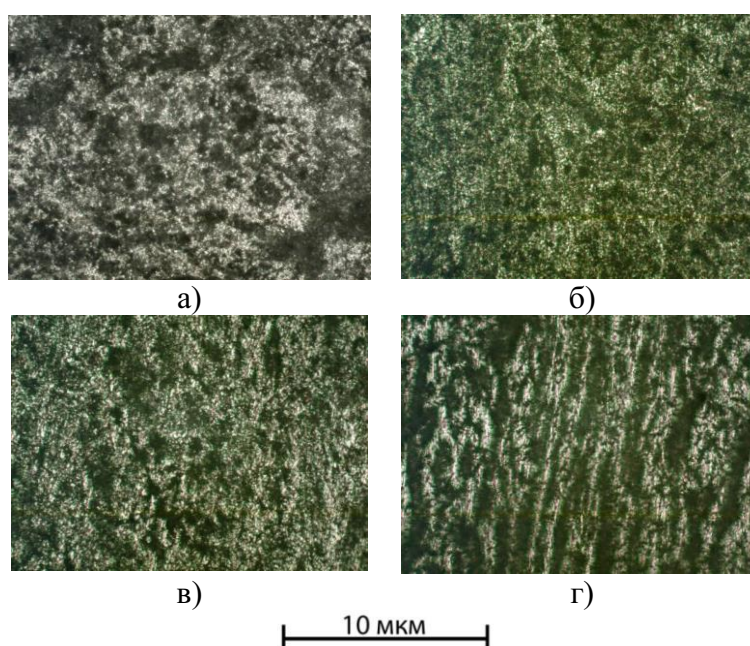


Рис. 2. Микроструктура отожжённого сплава Al-49%Zn после пластической деформации Σ , %: а – 0, б – 20, в – 48, г – 69

Сплав 2. При деформации сплава 2 также наблюдаются три стадии деформирования (рис. 3), как и для сплава Al-49%Zn. Влияние циркония заключается в том, что значительного разупрочнения на 1-й стадии не происходит. Это можно связать с ослаблением цирконием действия механизма зернограничного скольжения и усилением работы дислокационного механизма. Влияние циркония на структуру заключается в том, что структурные составляющие сплава 2 (рис. 4) становятся более дисперсными по сравнению со сплавом Al-49%Zn (рис. 2).

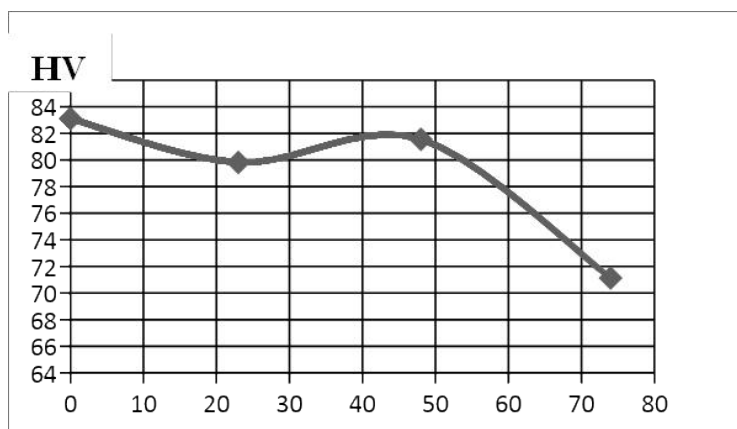


Рис. 3. Зависимость твёрдости предварительно отожжённого сплава 2 от степени пластической деформации при комнатной температуре

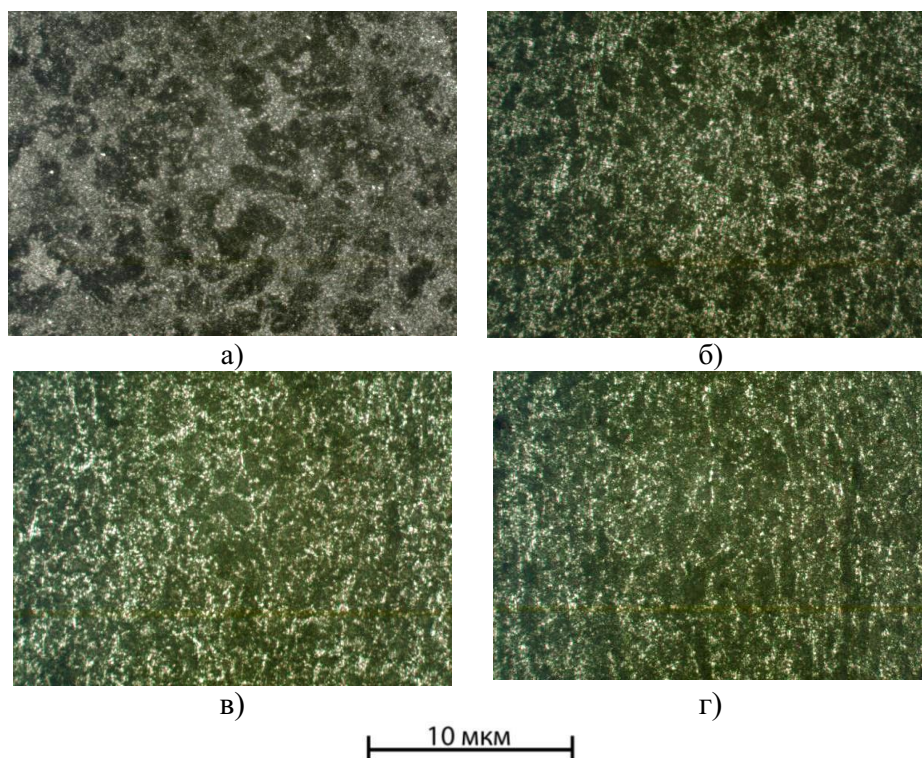


Рис. 4. Микроструктура отожжённого сплава 2 после пластической деформации Σ , %:
а – 0, б – 23, в – 48, г – 74

Сплав 3. Дополнительное введение в сплав Mg сопровождается увеличением уровня твердости сплава (рис. 5) и степени дисперсности микроструктуры (рис. 6). Минимум твердости, разделяющий 1-ю и 2-ю стадии деформирования, приходится примерно на $\Sigma = 24\%$. С увеличением степени пластической деформации увеличивается степень слоистости микроструктуры и сплюснутости зёрен (рис. 6). Увеличение твердости сплава на 2-й и 3-й стадиях деформирования обусловлено преобладающим влиянием работы дислокационного механизма над механизмом зернограничного скольжения.

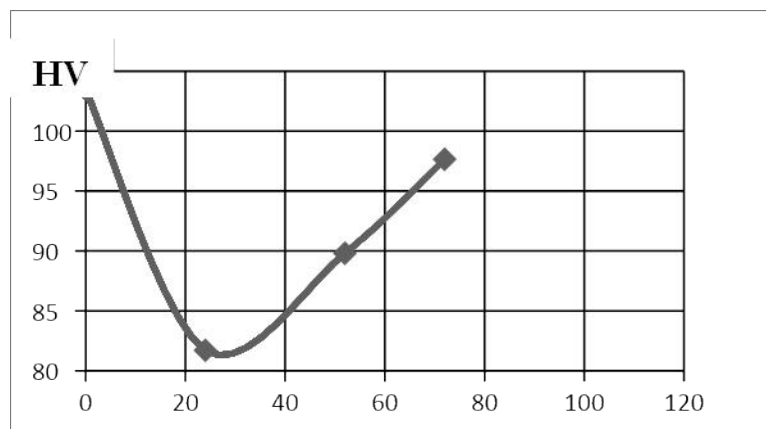


Рис. 5. Зависимость твердости предварительно отожжённого сплава 3 от степени пластической деформации при комнатной температуре

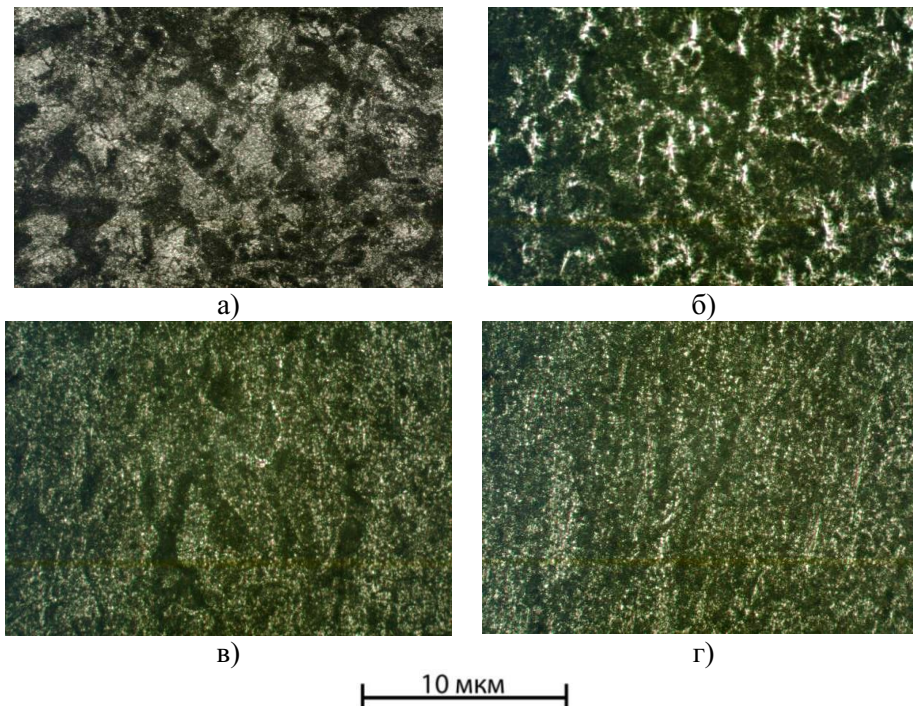


Рис. 6. Микроструктура отожжённого сплава 3 после пластической деформации Σ , %:
а – 0, б – 24, в – 52, г – 72

Выводы:

1. Для сплавов на основе Al-49%Zn характерны три стадии пластической деформации при комнатной температуре при увеличении ее степени до 62–74%. Стадиям разупрочнения соответствует преобладание усиливающегося влияния механизма зернограничного скольжения по сравнению с дислокационным механизмом. Стадиям упрочнения соответствует преобладание усиливающегося влияния дислокационного механизма, обусловленного увеличением плотности дислокаций, по сравнению с механизмом зернограничного скольжения.

2. Влияние циркония при его дополнительном введении в сплав заключается в том, что значительного разупрочнения на 1-й стадии не наблюдается. Это можно связать с ослаблением цирконием действия механизма зернограничного скольжения и усилением работы дислокационного механизма. А при этом влияние циркония на структуру заключается в том, что структурные составляющие становятся более дисперсными по сравнению со сплавом Al-49%Zn.

3. Дополнительное введение в сплав Mg сопровождается увеличением уровня твердости сплава на ее зависимости от степени пластической деформации и увеличением степени дисперсности микроструктуры.

4. Дальнейшее развитие исследований планируется в направлении изучения влияния последующего после деформации нагрева на структуру и свойства этих сплавов.

Библиографический список

1. Мазилкин А. А., Страумал Б. Б., Протасова С. Г., Когтенкова О. А., Валиев Р. З. Структурные изменения в алюминиевых сплавах при интенсивной пластической деформации // Физика твердого тела. 2007. Т. 49. № 5. С. 824–829.
2. Скворцов А. И. Влияние пластической деформации при комнатной температуре на упрочнение и разупрочнение металлов и сплавов системы алюминий-цинк // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сб. материалов Всерос. ежегод. науч.-практ. конф, 18–29 апр. 2016 г. Киров, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Секция «Материаловедение и технологии сварки. Наноматериалы и нанотехнологии». С. 243–248.
3. Скворцов А. И. Изменение механизмов упрочнения-разупрочнения сплавов Zn-Al при пластической деформации и последующей термической обработке // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов : материалы XXIV Уральской школы металловедов-термистов. Магнитогорск : ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», 2018. С. 65–66.
4. Скворцов А. И., Полев В. В. Разупрочнение и упрочнение сплавов системы Zn-Al при пластической деформации // Металловедение и термическая обработка металлов. 2017. № 8. С. 31–36.

5. Precipitation hardening in dilute Al–Zr alloys / Pedro H. L. S., Carlos A. S. deOliveira, José Maria do V // Journal of Materials Research and Technology. 2018. Vol. 7. Is. 1. Pp. 66–72.
6. Quan-feng X., Ji-wu H. Effects of minor Sc and Zr additions on mechanical properties and microstructure evolution of Al-Zn-Mg-Cu alloys // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2020. 30. Pp. 1429–1438.
7. Zou L., Pan Q. Effect of minor Sc and Zr addition on microstructures and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloys // Trans. Nonferrous Met. SOC. China. 2007. 17. Pp. 340–345.
8. Алюминий и его сплавы : учеб. пособие / сост. А. Р. Луц, А. А. Суслина. Самара : Самарский гос. техн. ун-т, 2013. 81 с.

Опыт экспертизы частотно-управляемых асинхронных электродвигателей для привода деревообрабатывающего станка

В. Я. Беспалов^a, В. Д. Куракина^b, В. Н. Тимошенко^c, А. В. Шестаков^d

доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и аппаратов, профессор^a
студентка группы ЭиЭм-2802-02-00^b

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов^c

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов, доцент^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: usr00028@vyatsu.ru^a, stud123964@vyatsu.ru^b,

timoshenko@vyatsu.ru^c, shestakov@vyatsu.ru^d

Аннотация. Деревообрабатывающая промышленность является одной из основных отраслей народного хозяйства Кировской области, поэтому исключительную важность для его развития имеет повышение производительности оборудования, в частности деревообрабатывающих станков. Одним из путей повышения производительности оборудования для деревообработки является применение частотно-управляемого асинхронного электропривода. При этом заказчики оборудования – предприятия лесопромышленного комплекса – зачастую сталкиваются с проблемой точного определения показателей надежности и производительности приобретаемых станков. Целью настоящей статьи является практическое определение показателей надежности и производительности деревообрабатывающего станка для производства пиломатериалов различного профиля на основе каталожных данных асинхронных двигателей, применяемых в станке, и их экспериментальных исследований. Результаты исследований и расчетов подтвердили соответствие заявленных мощностей асинхронных двигателей паспортным данным, а также требуемые показатели их надежности и производительности станка.

Ключевые слова: деревообрабатывающий станок, частотно-управляемый электропривод, трехфазный асинхронный двигатель, экспериментальные исследования.

Введение. Деревообрабатывающая промышленность является одной из основных отраслей народного хозяйства Кировской области, поэтому исключительную важность для его развития имеет повышение производительности оборудования, в частности деревообрабатывающих станков. Одним из путей повышения производительности любого промышленного оборудования, в том числе и для деревообработки, является применение частотно-управляемого асинхронного электропривода [1]. При этом заказчики оборудования – предприятия лесопромышленного комплекса – зачастую сталкиваются с проблемой точного определения показателей надежности и производительности приобретаемых станков. Авторам настоящей статьи в рамках работы по договору с ООО ПКП «Алмис» была поставлена **цель** экспертизы частотно-управляемых асинхронных двигателей (АД), входящих в деревообрабатывающий станок Weinig Powermat 2500 в составе линии строжки (строгания), расположенной на

производственной площадке ООО ПКП «Алмис» (г. Слободской). Проблемой заказчика являлось отсутствие на двигателях табличек с указанием их номинальных данных. На разрешение были поставлены **задачи**:

- идентификация АД по данным каталогов;
- определение соответствия мощностей АД заявленным условиям работы станка Weinig Powermat 2500;
- определение годовой производительности названного станка при условии надежной работы электродвигателей.

Методы исследования. В качестве объектов исследования выступали асинхронные частотно-управляемые двигатели в составе деревообрабатывающего станка Weinig Powermat 2500.

Для решения поставленных задач необходимо было:

- произвести измерения электрических параметров всех АД, входящих в состав станка, при его работе на холостом ходу и под нагрузкой, включая определение температуры корпуса каждого АД;
- сопоставить данные каталога Siemens для АД серии 1L/1M с фактическими габаритными размерами и снятыми опытным путем значениями потребляемой мощности и тока при измеренных значениях частоты и напряжения питания каждого АД;
- определить время обработки пиломатериалов каждого профиля с учетом допустимых условий нагрева АД и годовую производительность станка.

Результаты исследований. Результаты измерения габаритных и установочно-присоединительных размеров в соответствии с рис. 1 представлены в табл. 1.

В соответствии с [2] определены типоразмеры, заказные номера, номинальные энергетические показатели (мощности и потребляемые токи) асинхронных двигателей, представленные в табл. 2.

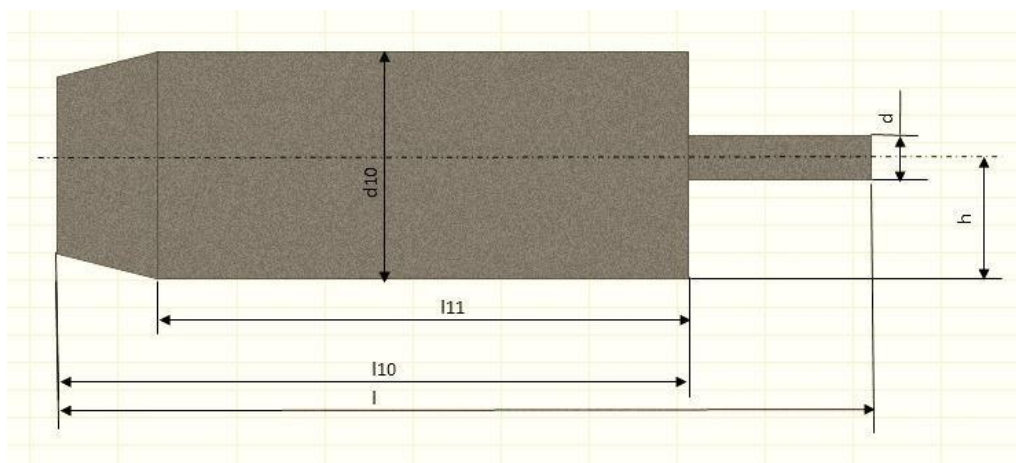


Рис. 1. Схема для определения габаритных и установочно-присоединительных размеров асинхронных двигателей

Таблица 1

Определение габаритных и установочно-присоединительных размеров асинхронных двигателей

Номер двигателя	h, мм	d, мм	l10, мм	l11, мм	d10, мм	l, мм
301м	160	45	–	300	300	–
381м	160	Нет доступа	480	300	300	–
321м	130	40	360	250	250	480
331м	130	Нет доступа	420	–	250	540
361м	130	40	380	–	250	500
341м	160	Нет доступа	480	340	300	–
351м	160	Нет доступа	480	340	300	–
311м	160	Нет доступа	480	340	300	–
391м	130	Нет доступа	430	280	250	–

Таблица 2

Типоразмеры, заказные номера и номинальные энергетические показатели асинхронных двигателей.

Номер двигателя	Типоразмер двигателя	Заказной номер по [2]	Число полюсов 2p	Номинальная мощность, кВт	Номинальный потребляемый ток при напряжении 400 В, А
301м	180M	1LA5 183-2AA	2	22,0	39,5
381м	160M	1LA7 163-2AA	2	11,0	20,0
321м	132S	1LA7131-2AA	2	7,5	13,8
331м	132S	1LA7131-2AA	2	7,5	13,8
361м	132S	1LA7 131-2AA	2	7,5	13,8
341м	160M	1LA7 163-2AA	2	11,0	20,0
351м	160M	1LA7 163-2AA	2	11,0	20,0
311м	160M	1LA7 164-2AA	2	15,0	26,5
391м	132S	1LA7 131-2AA	2	7,5	13,8

По результатам измерений потребляемых мощностей, токов и напряжений с помощью анализатора параметров качества электрической энергии Sonel PQM-701 получены осциллограммы токов и напряжений исследуемых АД. На

рис. 2 в качестве примера представлены осциллограммы потребляемых линейных токов всего станка. Кроме того, получены таблицы действующих значений линейных токов АД, снятые с интервалом в 0,01 с (то есть дважды за период напряжения). Данные таблицы формируются в формате *.txt в процессе измерений и сохраняются в памяти анализатора Sonel PQM-701.

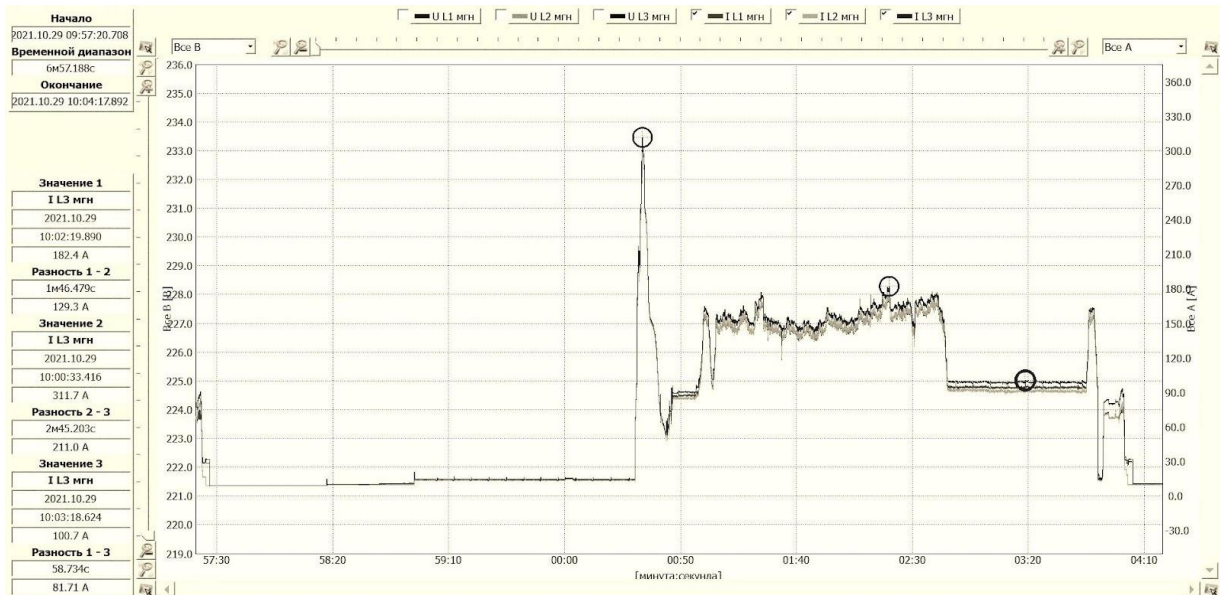


Рис. 2. Осциллограммы фазных токов, потребляемых деревообрабатывающим станком Weinig Powermat 2500

Для двигателя номер 301м (привод подачи станка) осциллограммы не снимались, поэтому оценка его загруженности определена по данным измерений путем вычитания из суммарной мощности нагрузки станка измеренных значений максимальных потребляемых мощностей $P_{дв\ нагр}$ остальных АД. В результате получена максимальная потребляемая за время цикла мощность двигателя номер 301м в размере 10,522 кВт.

Оценка фактической нагрузки исследуемых АД (кроме № 301м) проводилась с помощью определения среднего эквивалентного тока $I_{АДn,эkv}$ за время цикла соответствующего АД по формуле, А:

$$I_{АДn,эkv} = \sqrt{\frac{1}{T_{Цn}} \cdot \sum_{i=1}^{T_{Цn}} (I_{АДn,i}^2 \cdot \Delta t)}, \quad (1)$$

где $T_{Цn}$ – длительность цикла n-го асинхронного двигателя, с;

n – порядковый номер асинхронного двигателя;

i – номер шага в процессе измерения токов;

$I_{АДn,i}$ – измеренное в данный момент времени действующее значение потребляемого тока асинхронного двигателя, А;

Δt – интервал времени измерения токов, с; анализатор Sonel PQM-701 измеряет значения всех величин с интервалом $\Delta t = 0,01$ с.

Значения средних эквивалентных токов асинхронных двигателей по (1) определялись для каждой фазы, а затем усреднялись путем нахождения среднего арифметического.

Результаты определения средних эквивалентных токов для исследуемых АД (кроме № 301м) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Определение средних эквивалентных токов асинхронных двигателей

Номер двигателя в станке	Длительность цикла $T_{Цn}$, с	Среднее эквивалентное значение тока $I_{АДn,эkv}$, А	Номинальный потребляемый ток при напряжении 400 В, А (по табл. 2)
381м	136,4	11,94	20,0
321м	136,4	11,94	13,8
331м	112,0	10,58	13,8
361м	161,2	13,99	13,8
341м	316,0	21,20	20,0
351м	415,8	11,44	20,0
311м	449,2	9,07	26,5
391м	449,2	9,07	13,8

Как видно из табл. 3, у большинства АД средний эквивалентный ток за время цикла не превышает номинального потребляемого тока по каталогу [2]. У двигателя № 341м ток на 6% выше, а у двигателя № 361м ток на 1,4% выше номинального, однако данные превышения можно объяснить неполнотой учета времени цикла (в текстовую таблицу не вошло всё время холостого хода или паузы).

Для АД № 301м, как уже говорилось выше, максимальная потребляемая за время цикла мощность составляет 10,522 кВт, что значительно ниже номинальной мощности данного двигателя.

Еще одной важнейшей характеристикой, отражающей степень загруженности и возможность безаварийной работы АД, является температура обмоток.

В нашем случае были определены максимальные значения температуры корпусов АД в режиме холостого хода и под нагрузкой, а также значения частоты вращения в тех же режимах. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты измерения частот вращения и температур асинхронных двигателей

Номер асинхронного двигателя	Частота вращения асинхронного двигателя в режиме холостого хода, мин ⁻¹	Частота вращения асинхронного двигателя под нагрузкой, мин ⁻¹	Температура корпуса в режиме холостого хода, градусы	Температура корпуса под нагрузкой, градусы
301м	2995	2989	30	35
381м	2995	2960	32	40
321м	2976	2945	48	61
331м	2987	2964	56	62
361м	2993	2972	53	63
341м	2987	2940	41	48
351м	2874	2900	58	60
311м	2850	2700	21	21
391м	2989	2990	27	27

Опыт проектирования асинхронных машин показывает, что температура обмоток и температура корпуса соотносятся у большинства асинхронных двигателей закрытого исполнения средней мощности в пределах 1,2–1,6 [3], причем у быстроходных машин это отношение лежит ближе к меньшему значению. Таким образом, из табл. 4 можно сделать вывод, что значения температуры обмоток даже у самых нагруженных двигателей (номера 321м, 331м, 361м и 351м) не превышают (даже в самом крайнем случае) 100–105 градусов, что находится в допустимых пределах для классов нагревостойкости изоляции В (130 градусов) и F (155 градусов).

По данным экспертизы, проведенной экспертом ООО «ФАС “Консультант”» И. П. Алексеевым [4, с. 44], на производство 4000 м³ продукции затрачено 13179 минут работы станка под нагрузкой. Там же [4, с. 44] приведены объемы производства (в кубических метрах и в процентах от общего объема), а также время непосредственной работы станка (то есть время работы под нагрузкой) для производства профиля каждого вида.

Предполагая, что в среднем в цикл работы станка входит 50% времени работы под нагрузкой и 50% времени холостого хода и простоя, можно получить, что всего для производства 4000 м³ продукции полного времени работы станка потребуется:

$$T_{4000} = \frac{13179}{ПН} = \frac{13179}{0,5} = 26358 \text{ минут} = 439,3 \text{ часа}, \quad (2)$$

где ПН – продолжительность работы станка под нагрузкой в среднем за цикл, отн. ед.

Для производства 43250 м³ продукции при сохранении пропорций между видами профилей, указанных в [4, с. 44], потребуется, часов:

$$T_{43250} = T_{4000} \cdot \frac{43250}{4000} = 439,3 \cdot \frac{43250}{4000} = 4749,9. \quad (3)$$

При трехсменной работе (предполагая по 7 часов работы станка в среднем за смену) для производства 43250 м³ продукции потребуется, рабочих дней:

$$D_{\text{трехсменной},43250} = \frac{T_{43250}}{N_{\text{см}} \cdot T_{\text{см}}} = \frac{4749,9}{3 \cdot 7} = 226,2, \quad (4)$$

где $N_{\text{см}}$ – количество смен в течение одного рабочего дня; $T_{\text{см}}$ – общее время работы станка за смену (включая время работы под нагрузкой и время холостого хода и простоя), час.

Для продолжительности нагрузки станка ПН = 60% получено, что станок может обеспечить необходимый объем производства продукции при двухсменной работе.

Выводы. Представленные на экспертизу АД для привода деревообрабатывающего станка **соответствуют** требованиям по мощности и нагревостойкости и **могут эксплуатироваться в номинальном режиме работы станка** в течение срока службы, гарантируемого поставщиком оборудования.

Представленный на экспертизу станок **способен обеспечить безаварийную работу и годовой выпуск продукции** (пиломатериалы различных профилей) в объеме **43 250 кубических метров год** при установленном двухсменном или трехсменном календарном графике работы.

Превышение объема производства сверх 44 000–45 000 м³ продукции в год путем увеличения продолжительности нагрузки станка недопустимо, так как это может привести к преждевременному выходу из строя электродвигателей станка.

Библиографический список

1. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование приводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / УРО. Екатеринбург, 2000. 654 с.
2. Низковольтные электродвигатели. Короткозамкнутые электродвигатели стандарта IEC Каталог D 81.1. 2008. 623 с.
3. Жадан В. А., Говязова С. В. Тепловой расчет электрических машин закрытого исполнения с естественным охлаждением и оребренным корпусом // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 174–178.
4. Заключение эксперта № ЗЭ-1/09/21 от 30.09.2021. Техническая экспертиза деревообрабатывающего станка в составе линии строжки, расположенной на производственной площадке ООО ПКП «Алмис» по адресу: 613152, Кировская область, Слободской район, город Слободской, переулок Бакулевский, дом 2 / эксперт И. П. Алексеев. Киров, 31.08.2021–30.09.2021. 58 с.

Работа выполнена в рамках договора между ВятГУ и ООО ПКП «Алмис». Авторы выражают благодарность декану ЭТФ ВятГУ, к. т. н., доценту А. А. Фоминых и преподавателю кафедры электроснабжения Д. А. Порошину за активное содействие в проведении работ по указанному договору.

Определение методов выявления эксплуатационных свойств асфальтобетона

Ш. В. Бузиков^a, А. И. Гордин^b

кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства^a
студент группы СТб-5801-01-60^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr10012@vyatsu.ru^a, stud101336@vyatsu.ru^b

Аннотация. Определение методов, обеспечивающих эксплуатационные свойства асфальтобетона, недостаточно изучено и является актуальным. Цель настоящей работы – определение методов, обеспечивающих эксплуатационные свойства асфальтобетона. Основным объектом для исследования является асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог общего пользования. Основные методы исследования: анализ действующих ГОСТ по получению, укладке и последующему содержанию асфальтобетонного покрытия, а также виды и описание дефектов дорожной одежды в процессе её эксплуатации. В результате проведенных исследований удалось выявить факторы, которые оказывают влияние на эксплуатационные свойства асфальтобетона, и определить основные методы выявления или прогнозирования эксплуатационных свойств, таких как определение прочности щебня, а также его способности к истиранию при воздействии на него абразивных факторов и определение вязкости дорожных битумов. Полученные результаты исследования могут быть применены для прогнозирования будущих эксплуатационных свойств асфальтобетона при известных будущих условиях эксплуатации.

Ключевые слова: асфальтобетон, дорожный битум, дорожная одежда.

Введение. Вид применяемого минерального материала напрямую связан с основными эксплуатационными свойствами асфальтобетона [1]. Асфальтобетон – это многокомпонентная твердофазная система, в которой минеральный материал служит «скелетом» [1]. Этот материал находится в среде, склеивающую его в единый монолит. Структура асфальтобетона, как правило, характеризуется геометрическими размерами минерального материала и их соотношением, а также структурой и свойствами битума [1].

Исследованию свойств битумов посвящен ряд работ, в которых определялись адгезионные свойства [1], прочностные [2], влияние на структуру всевозможных добавок [3], нефтяных остатков [4], реологических свойств [5], влияние парафинсодержащих компонентов [6], энергосберегающих свойств [7], влияние процессов окисления [8]. В результате этих исследований были впервые получены зависимости свойств битумов от определенных параметров и разработаны новые качественные характеристики.

Как видно из представленных работ, уровень разработанности вопросов, связанных со свойствами асфальтобетона, достаточно широк, однако определе-

ние методов, обеспечивающих эксплуатационные свойства асфальтобетона, недостаточно изучено и является актуальным.

В связи с этим целью настоящей работы является определение методов, обеспечивающих эксплуатационные свойства асфальтобетона. Для достижения цели исследования необходимо решение двух задач: во-первых, определить факторы, оказывающие влияние на эксплуатационные свойства, а во-вторых, определить методы выявления этих самых свойств.

Ведущий подход. Основным объектом для исследования является асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог общего пользования. На него в значительной мере оказывают влияние условия содержания и эксплуатации.

Основными методами исследования являются анализ действующих ГОСТ по получению, укладке и последующему содержанию асфальтобетонного покрытия, а также виды и описание дефектов дорожной одежды в процессе её эксплуатации.

На первоначальном этапе необходимо было выяснить, какие факторы и в какой мере оказывают влияние на эксплуатационные свойства асфальтобетона, а затем определить основные методы, которые позволят выявить эти самые свойства.

Результаты исследований, их обсуждение. Основным недостатком асфальтобетона является зависимость его прочностных и деформативных характеристик от температуры эксплуатации [9]. Увеличение температуры эксплуатации оказывает значительное влияние на вязкость битума, содержащегося в асфальтобетоне, что в итоге приводит к снижению его прочности и повышению деформативности. Такое изменение в значительной мере снижает условия работы асфальтобетона. В результате при высоких температурах наблюдаются сдвиговые волны, наплывы и калейность, а при низких температурах – трещинообразование и разломы [10]. Такое асфальтобетонное покрытие становится опасным для нормальной эксплуатации автомобильных дорог и в итоге может приводить к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий [10].

Основными факторами, которые оказывают влияние на эксплуатацию асфальтобетонного покрытия, являются истирание и шлифование зерен щебня, входящего в состав смеси (см. рисунок).

Основную задачу по обеспечению шероховатости асфальтобетона играет вид щебня [9]. Щебень высокой прочности и стойкости к истиранию обеспечивает требуемую шероховатость асфальтобетонного покрытия в период его эксплуатации. Снижение вязкости битума, входящего в состав асфальтобетона, и применение щебня низкой стойкости к истиранию приводило к значительному ухудшению его эксплуатационных свойств, а именно снижению прочности и увеличению деформативности.



Истирание и шлифование дорожной одежды

В этом случае основными методами выявления или прогнозирования будущих свойств асфальтобетона будут прочность и износостойкость щебня, а также зависимость вязкости дорожного битума от температуры окружающего воздуха. В итоге перед началом приготовления асфальтобетона необходимо определение вышеназванных свойств асфальтобетона для прогнозирования его будущих эксплуатационных свойств.

Выводы. В результате проведенных исследований удалось выявить факторы, которые в значительной мере оказывают влияние на эксплуатационные свойства асфальтобетона, такие как вязкость дорожного битума, а также проч-

ность и износостойкость щебня, входящего в его состав. Также определены основные методы выявления или прогнозирования эксплуатационных свойств асфальтобетона, такие как определение прочности щебня, а также его способности к истиранию при воздействии на него абразивных факторов и определение вязкости дорожных битумов.

Библиографический список

1. Абдуллин А. И., Емельянычева А. И. Оценка адгезионных свойств модифицированных нефтяных битумов на основе их диэлектрических свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 300–304.
2. Степанович Ю. А., Твердова Е. А., Шрубок А. О. Применение нефтеполимерной смолы для регулирования прочностных свойств СБС-модифицированных битумов // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2(247). С. 138–143. DOI 10.52065/2520-2669-2021-247-2-138-143.
3. Аликабулов Ш. А. Влияние добавок на структуру и свойства битумов // Universum: технические науки. 2021. № 10-3(91). С. 36–38.
4. Рахимов Б. Б., Шукуруллаев Б. А., Аликабулов Ш. А. Методы исследования и влияние нефтяных остатков на свойства строительного битума // Universum: технические науки. 2021. № 6-3(87). С. 88–92.
5. Шорин В. А., Вельсовский А. Ю. Исследование реологических свойств нефтяного дорожного битума Московского НПЗ с модифицированной бифункциональной добавкой Honeywell // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2021. № 4(14). С. 45–49.
6. Влияние парафинсодержащих компонентов на низкотемпературные свойства дорожных битумов / В. А. Давидович, В. М. Капустин, А. А. Гуреев, М. Е. Цаплина // Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России : материалы 7-й Всерос. науч.-техн. конф., Москва, 29–30 января 2007 года. М. : Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2007. С. 240–241.
7. Пыриг Я. И., Галкин А. В. Сравнительная оценка влияния энергосберегающих добавок на свойства битума // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2020. № 90. С. 114–124. DOI 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114.
8. Закономерности изменения свойств дорожных битумов в процессе окисления / В. В. Васильев, Е. В. Саламатова, Н. В. Майданова [и др.] // Кокс и химия. 2020. № 6. С. 51–58.
9. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия: принят 17.12.2013; действ. с 01.11.2014. М., 2019. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
10. ГОСТ Р 50597-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля: принят 26.09.2017; действ. с 01.09.2018. М., 2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
11. ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия (с Изменением № 1): принят 20.10.1983; действ. с 05.01.1985. М., 2007. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

Исследование условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля

Ш. В. Бузиков^a, С. А. Плотников^b, А. И. Шипин^c

кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства^a
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения^b
аспирант группы МСа-4802-04-00^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}
E-mail: usr10012@vyatsu.ru^a, sa_plotnikov@vyatsu.ru^b, stud109528@vyatsu.ru^c

Аннотация. Определение условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля, в котором учитывалась бы величина гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы, представляет научный интерес и является на сегодняшний день весьма актуальным. Цель работы – определение условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля с учётом гидравлических потерь. Разработанная методика расчёта гидравлических потерь основана на уравнениях Бернулли и неразрывности потока жидкости. В результате проведенных исследований впервые была разработана методика расчёта гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы, а также произведен расчёт гидравлических потерь системы питания тракторного дизеля марки Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5. Таким образом удалось определить условия работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля. С практической точки зрения применение данной методики позволит производить предварительные расчёты для проектирования подобных систем питания тракторных дизелей.

Ключевые слова: линия всасывания, система питания, гидравлические потери.

Введение. Основным и главным условием обеспечения бесперебойной подачи топлива [1], определяющим работоспособность системы питания в целом [2], является непрерывное, надежное и полное поступление топлива в камеру сгорания дизельного двигателя трактора в соответствии с заданным законом топливоподачи [1]. На подачу топлива значительное влияние оказывает конструкция системы питания [1], а именно величина гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы [1]. Целым рядом авторов проводились исследования по определению условий работы системы питания дизельных двигателей [3–6]. Так, в работе [3] определены пределы низкотемпературной прокачиваемости топлива в системе питания дизеля в условиях зимней эксплуатации. В работе [4] представлен расчет параметров топливной системы тракторного дизеля при его адаптации к работе на рапсовом масле. Авторы в [5] произвели теоретический расчет изменения кольцевого зазора плунжерных пар ТНВД в зависимости от содержания рыжикового масла в смесевом рыжико-минеральном топливе. В работе [6] представлен

расчет гидравлического сопротивления фильтра-нагревателя для системы питания сельскохозяйственных машин.

Однако стоит отметить, что определение условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля, в котором учитывалась бы величина гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы, представляет научный интерес и является на сегодняшний день весьма актуальным.

В связи с этим целью нашей работы является определение условий работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля с учётом гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы. Для достижения цели исследования необходимо решение нескольких задач. Во-первых, разработать методику расчёта гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы. Во-вторых, выполнить расчёт гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы применительно для тракторного дизеля.

Ведущий подход. Линия всасывания (ЛВ) системы питания тракторного дизеля состоит из топливного бака (ТБ), фильтра грубой очистки топлива (ФГОТ), топливопроводов (ТП) и топливоподкачивающего насоса (ТН). Тогда уравнение Бернулли будет иметь следующий вид:

$$H_{тб} + \frac{P_{атм}}{\rho_m \cdot g} + \alpha_{тб} \frac{v_{тб}^2}{2g} = H_{тн} - \frac{P_{тн}}{\rho_m \cdot g} + \alpha_{тн} \frac{v_{тн}^2}{2g} + \sum h_{лв}, \quad (1)$$

где $h_{тб}$, $h_{тн}$, соответственно, высота расположения ТБ и ТН, относительно самой нижней точки ЛВ, м; $H_{тб}$ – уровень топлива в ТБ, м; $P_{атм}$, $P_{тн}$, соответственно, атмосферное давление и противодавление топлива, создаваемое ТН, Па; $v_{тб}$, $v_{тн}$, соответственно, скорость топлива при выходе из ТБ и при входе в ТН, м/с; $\alpha_{тб}$, $\alpha_{тн}$, соответственно, коэффициенты Кориолиса при выходе из ТБ и при входе в ТН; ρ_m – плотность топлива, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\sum h_{лв}$ – суммарные потери напора в ЛВ, м.

Уравнение неразрывности потока топлива выглядит как [7]

$$S_{m\bar{o}} \cdot v_{m\bar{o}} = S_{m\bar{m}} \cdot v_{m\bar{m}} = Q, \quad (2)$$

где $S_{m\bar{o}}$, $S_{m\bar{m}}$, соответственно, площади потока топлива при выходе из ТБ и при входе в ТН, м²; Q – объёмный расход топлива, м³/с.

Рассматриваемые сечения потоков топлив являются круглыми, тогда:

$$S_{m\bar{o}} = S_{m\bar{m}} = \frac{\pi \cdot (d_{m\bar{o}}^2, d_{m\bar{m}}^2)}{4}, \quad (3)$$

где π – число Пи; $d_{m\bar{o}}$, $d_{m\bar{m}}$, соответственно, диаметры сечений ТП ТБ и перед ТН, м.

Объёмный расход топлива через участок ТП определим через эффективные показатели работы тракторного дизеля:

$$Q = \frac{g_e \cdot N_e}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \rho_m}, \quad (4)$$

где g_e – эффективный удельный расход топлива, г/(кВт·ч); N_e – эффективная мощность двигателя, кВт.

Условие обеспечения работоспособности ЛВ с учётом уравнений (1), (2), (3), (4), а также того, что при ламинарном течении топлива коэффициенты Кориолиса $\alpha_{m\bar{o}} = \alpha_{m\bar{m}} = 2$ [7], можно представить следующим образом:

$$\sum h_{\text{лв}} \leq h_{m\bar{o}} + (h_{m\bar{o}} - h_{m\bar{m}}) + \frac{1 \cdot P}{g \cdot \rho_m} \left[(P_{\text{амм}} + h_{m\bar{m}}) + \left[\frac{1,234 g_e^2 \cdot N_e^2}{\pi^2 \cdot \rho_m \cdot 10^{12}} \cdot \left(\frac{1}{d_{m\bar{o}}^4} - \frac{1}{d_{m\bar{m}}^4} \right) \right] \right]. \quad (5)$$

Суммарные потери напора в ЛВ определяются как

$$\sum h_{\text{лв}} = h_{\text{эм1}} + h_{\text{фзот}} + h_{\text{эм2}}, \quad (6)$$

где $h_{\text{эм1}}$, $h_{\text{эм2}}$ – потери напора в ТП, м; $h_{\text{фзот}}$ – потери напора в ФГОТ, м.

Потери напора в ТП рассчитаем по формуле Дарси – Вейсбаха с учётом выражений (2), (3) и (4) [8, 9]:

$$h_{\text{эм1}} = h_{\text{эм2}} = \frac{0,617 g_{\text{эм}}^2 \cdot N_{\text{эм}}^2 \cdot (\lambda_{\text{эм1}} \lambda_{\text{эм2}}) \cdot (l_{\text{эм1}}, l_{\text{эм2}})}{\pi^2 \cdot (d_{\text{эм1}}^5, d_{\text{эм2}}^5) \cdot \rho_m^2 \cdot g \cdot 10^{12}}, \quad (7)$$

где $\lambda_{\text{эм1}}$, $\lambda_{\text{эм2}}$ – коэффициенты гидравлического трения в ТП; $l_{\text{эм1}}$, $l_{\text{эм2}}$ – длины ТП, м; $d_{\text{эм1}}$, $d_{\text{эм2}}$ – диаметры ТП, м.

При ламинарном движении топлива по ТП круглого сечения коэффициенты гидравлического сопротивления определяются по формуле [10]:

$$\lambda_{em1} = \lambda_{em2} = \frac{64}{(R_e^{em1}, R_e^{em2})}, \quad (8)$$

где R_e^{em1}, R_e^{em2} – числа Рейнольдса, которые для труб круглого сечения определяются по формуле [10]:

$$R_e^{em1} = R_e^{em2} = \frac{4g_e \cdot N_e}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot (d_{em1}, d_{em2}) \cdot \rho_m \cdot v}, \quad (9)$$

где v – кинематическая вязкость топлива, м²/с.

Тогда потери напора в ТП при подстановке выражения (8) и (9) в (7) определяются так:

$$h_{em1} = h_{em2} = \frac{35,55 g_{em} \cdot N_{em} \cdot v \cdot (l_1, l_2)}{\pi \cdot (d_{em1}^4, d_{em2}^4) \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^{12}} \quad (10)$$

Потери напора в ФГОТ определим как [8–10]

$$h_{фзот} = h_{вф} + h_{кфрз} + h_{ноф} + h_{ф} + h_{вмф} + h_{мф} + h_{истф} \quad (11)$$

где $h_{вф}$ – потери напора на входе в корпус фильтра, м; $h_{кфрз}$ – потери напора в корпусе фильтра в рабочей зоне, м; $h_{ноф}$ – потери напора в перфорированной обечайке фильтра, м; $h_{ф}$ – потери напора в фильтроэлементе, м; $h_{вмф}$ – потери напора на входе в трубку фильтроэлемента, м; $h_{мф}$ – потери напора на трение в трубке фильтроэлемента, м; $h_{истф}$ – потери напора на изменение сечения трубки фильтроэлемента, м.

Потери напора на входе в корпус фильтра [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{вф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{0,062 H_{ф}}{d_{вн}^4} - \frac{0,097}{D_{ф} \cdot d_{вн}^2} + \frac{0,038}{D_{ф}^2 \cdot H_{ф}} \right) = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{вф}, \quad (12)$$

где $d_{вн}$ – диаметр входного патрубка фильтра, м; $D_{ф}$ – диаметр корпуса фильтра, м; $H_{ф}$ – рабочая высота фильтра, м; $k_{вф}$ – коэффициент потери напора на входе в корпус фильтра, м⁻³.

Потери напора в корпусе фильтра в рабочей зоне [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{кфрз} = \frac{g_{эмж} \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{5,072 \cdot l^{1,25}}{D_{ф}^{3,75} \cdot \pi^{1,06} \cdot d_{кф}^{0,5}} = \frac{g \cdot N \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{кфрз}, \quad (13)$$

где $l_{тж}$ – длина тока жидкости, м; $d_{кф}$ – внутренний диаметр корпуса фильтра, м; $k_{кфрз}$ – коэффициент потери напора в корпусе фильтра в рабочей зоне, м⁻³.

Потери напора в перфорированной обечайке фильтра [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{ноф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{0,038}{d_0^3} \left(\frac{71}{n_{ом}} + \frac{1}{\pi^{0,75}} \right) = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{ноф}, \quad (14)$$

где d_0 – диаметр отверстий обечайки фильтра, м; $n_{ом}$ – количество отверстий в обечайке фильтра, шт.; $k_{ноф}$ – коэффициент потери напора в перфорированной обечайке фильтра, м⁻³.

Потери напора в фильтроэлементе [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{ф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{0,154}{K_{ср} \cdot H_{сф}} \ln \left(\frac{d_n}{d_s} \right) = \frac{g \cdot N \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot 10^3} \cdot k_{ф}, \quad (15)$$

где $H_{сф}$ – высота фильтроэлемента, м; $K_{ср}$ – коэффициент проницаемости фильтроэлемента, м²; d_n – наружный диаметр фильтроэлемента, м; d_s – внутренний диаметр фильтроэлемента, м; $k_{ф}$ – коэффициент потери напора в фильтроэлементе, м⁻³.

Потери напора на входе в трубку фильтроэлемента [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [13]:

$$h_{смф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{0,077}{\pi^{0,75} \cdot d_{мф}^2 \cdot H_{мф}} \cdot \left[\frac{1744 \cdot H_{мф}}{d_{мф}} + 2,77 \right] = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{смф}, \quad (16)$$

где $d_{мф}$ – диаметр трубки фильтроэлемента, м; $H_{мф}$ – высота трубки фильтроэлемента, м; $k_{смф}$ – коэффициент потери напора на входе в трубку фильтроэлемента, м⁻³.

Потери напора на трение в трубке фильтроэлемента [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{мф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{0,025 \cdot H_{мф}}{\pi \cdot d_{мф}^4} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{мф}, \quad (17)$$

где $k_{мф}$ – коэффициент потери напора на трение в трубке фильтроэлемента, м⁻⁴.

Потери напора на изменение сечения трубки фильтроэлемента [8–10] с учётом выражений, полученных ранее, и некоторых преобразований определим [10]:

$$h_{устф} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot \frac{1,234}{\pi^{0,75} \cdot d_{вых}^3} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot v}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^3} \cdot k_{устф}, \quad (18)$$

где $d_{вых}$ – диаметр выходного патрубка, м; $k_{устф}$ – коэффициент потери напора на изменение сечения трубки фильтроэлемента, м⁻³.

Выражение (5) с учётом выражений с (12) по (18) и преобразований определим:

$$\sum h_{лв} = \frac{g_{эм} \cdot N_e \cdot v_{эм}}{\pi \cdot \rho_m \cdot g \cdot 10^{12}} \cdot \left[35,55 \left(\frac{l_1}{d_{эм1}^4} + \frac{l_2}{d_{эм2}^4} \right) + k_{фзот} \right], \quad (19)$$

где $k_{фзот}$ – коэффициент потерь напора в ФГОТ, м⁻³, определяемый как

$$k_{фзот} = k_{сф} + k_{кфрз} + k_{ноф} + k_{ф} + k_{эмф} + k_{мф} + k_{устф} \quad (20)$$

Результаты исследований, их обсуждение. Данные для расчёта элементов ЛВ для тракторного дизеля марки Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 представлены в таблице ниже.

Данные и условия для определения элементов потерь напора

Вид сопротивления	Данные для расчёта	Значение
По длине топливопровода 1	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $l_{эм1}=2,25$ м, $\pi=3,14$, $d_{эм1}=0,012$ м, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ²	$1,0 \cdot 10^{-8}$
По длине топливопровода 2	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $l_{эм2}=1,25$ м, $\pi=3,14$, $d_{эм2}=0,012$ м, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ²	$5,8 \cdot 10^{-9}$
На входе в корпус фильтра	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ² , $d_{эм}=0,012$ м, $D_{ф}=0,12$ м, $H_{ф}=0,2$ м	$1,6 \cdot 10^{-3}$
В корпусе фильтра в рабочей зоне	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ² , $l_{мж}=0,12$ м, $D_{ф}=0,12$ м, $d_{кф}=0,08$ м	$2,9 \cdot 10^{-6}$
В перфорированной обечайке фильтра	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ² , $d_0=0,002$ м, $n_{от}=150$ шт.	$7,8 \cdot 10^{-3}$
В фильтроэлементе	$g_e=220$ г/(кВт·ч), $N_e=72$ кВт, $v=4,5 \cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860$ кг/м ³ , $g=9,81$ м/с ² , $H_{сф}=0,1$ м, $K_{ср}=0,21 \cdot 10^{-6}$ м ² , $d_u=0,04$ м, $d_s=0,02$ м	$4,4 \cdot 10^{-3}$

Вид сопротивления	Данные для расчёта	Значение
На входе в трубку фильтроэлемента	$g_e=220 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$, $N_e=72 \text{ кВт}$, $v=4,5\cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860 \text{ кг/м}^3$, $g=9,81 \text{ м/с}^2$, $d_{mf}=0,02 \text{ м}$, $H_{mf}=0,1 \text{ м}$	$1,9\cdot 10^{-2}$
На трение в трубке фильтроэлемента	$g_e=220 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$, $N_e=72 \text{ кВт}$, $v=4,5\cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860 \text{ кг/м}^3$, $g=9,81 \text{ м/с}^2$, $d_{mf}=0,02 \text{ м}$, $H_{mf}=0,1 \text{ м}$	$1,3\cdot 10^{-5}$
На изменение сечения трубки фильтроэлемента	$g_e=220 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$, $N_e=72 \text{ кВт}$, $v=4,5\cdot 10^6$, $\pi=3,14$, $\rho_m=860 \text{ кг/м}^3$, $g=9,81 \text{ м/с}^2$, $d_{выпн}=0,012 \text{ м}$	$8,1\cdot 10^{-4}$
Суммарные потери напора		$3,4\cdot 10^{-2}$

Как видно из данных, представленных в таблице, самые низкие потери напора находятся на участке длины топливопровода от ФГОТ до ТН, а самые высокие потери напора – на участке при входе в трубку фильтроэлемента. Суммарные же потери напора на всей ЛВ составили $3,4\cdot 10^{-2}$ м.

Выводы. В результате проведенных исследований впервые была разработана методика расчёта гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы, а также произведен расчёт гидравлических потерь системы питания тракторного дизеля марки Д-245.5С2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5. Таким образом удалось определить условия работы линии всасывания системы питания тракторного дизеля с учётом гидравлических потерь через местные сопротивления, создаваемые элементами самой системы. С практической точки зрения применение данной методики позволит производить предварительные расчёты для проектирования подобных систем питания тракторных дизелей.

Библиографический список

1. Аминов Л. А. Эксплуатационные свойства дизельных топлив, определяющие эффективность их применения при низких температурах // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. 2019. № 3 (13). С. 55–65.
2. Черемисинов П. Н. Анализ возможности улучшения физико-химических свойств смеси дизельного топлива с рапсовым маслом // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. XVIII Всерос. науч.-практ. конф. : в 3 т. Киров, 02–28 апреля 2018 года / Вятский государственный университет. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 1065–1072.
3. Карташевич А. Н., Гордеенко А. В., Понталёв О. В. Определение пределов низкотемпературной прокачиваемости топлива в системе питания дизеля в условиях зимней эксплуатации // Вестник БарГУ. Серия, Технические науки. 2015. № 3. С. 74–79.
4. Савельев Г. С., Кочетков М. Н. Расчет параметров топливной системы тракторного дизеля при его адаптации к работе на рапсовом масле // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. № 4 (10) С. 60–67.

5. Уханов А. П., Ротанов Е. Г., Хохлов А. А. Теоретический расчет изменения кольцевого зазора плунжерных пар ТНВД в зависимости от содержания рыжикового масла в смешанном рыжико-минеральном топливе // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 49–54.
6. Зыков С. А., Алдошин А. И., Халтурин Д. В. Расчет гидравлического сопротивления фильтра-нагревателя для системы питания сельскохозяйственных машин // Международный научный журнал. 2014. № 3. С. 101–107.
7. Фомин Ю. Я. Гидродинамический расчёт топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ. М. : Машиностроение, 1973. 144 с.
8. Удлер Э. И. Фильтрация нефтепродуктов. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1988. 216 с.
9. Удлер Э. И. Фильтрация углеводородных топлив. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1981. 152 с.
10. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М. : Недра, 1972. 224 с.

Выбор типа датчика тока для измерителя сопротивления растеканию тока заземляющего устройства опоры ВЛ

Р. П. Вальс^a, Я. В. Мальцев^b, О. А. Новоселова^c, Е. Н. Хорошинина^d

младший научный сотрудник кафедры электрических станций^a

студент группы ЭиЭб-4801-01-00^b

старший преподаватель кафедры электрических станций^{c, d}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail:usr22276@vyatsu.ru^a, stud106628@vyatsu.ru^b, novoselova@vyatsu.ru^c,

en_horoshinina@vyatsu.ru^d

Аннотация. Рассматривается актуальный вопрос выбора типа датчика тока для использования в измерительной установке, предназначенной для контроля сопротивления растеканию тока заземляющего контура опоры воздушной линии электропередачи. Описываются особенности измерения тока, протекающего через заземляющее устройство опоры, в случае наличия на воздушной линии грозозащитного троса, заземлённого на каждой опоре. Указываются требования к конструкции датчика тока, позволяющие выполнять измерения на разных типах опор, включая металлические четырехстоечные, без подъема на опору. Выполняется сравнение достоинств и недостатков двух широко используемых в настоящее время типов датчиков тока: измерительных трансформаторов тока с разъемным ферромагнитным сердечником и гибких датчиков тока на базе катушки Роговского. Обосновывается вывод, что при конструировании мобильного измерительного прибора, предназначенного для использования в полевых условиях, наиболее целесообразно использовать в качестве датчика тока катушку Роговского.

Ключевые слова: сопротивление заземления, опора воздушной линии, трансформатор тока с ферромагнитным сердечником, катушка Роговского.

Введение. При эксплуатации линий электропередачи требуется контроль состояния контуров заземления опор. Если на линии используется грозозащитный трос, заземленный на каждой опоре, это сделать затруднительно. Причиной является то, что при выполнении измерения сопротивления заземления опоры на результаты влияют заземления соседних опор. Для исключения этого влияния необходимо при выполнении измерений отсоединять трос от опоры, что связано с существенными трудностями как технического, так и организационного характера [1].

Существует достаточно большое количество способов и устройств, предназначенных для решения поставленной задачи. Однако в основе всех имеющихся в настоящее время методов лежит воплощение одной и той же идеи: создать в связанных с землей элементах опоры или грозозащитного троса некоторую ЭДС и измерить ток, замыкающийся при этом через заземляющее устройство, одновременно следует измерить напряжение между заземленными эле-

ментами опоры и точкой нулевого потенциала (удаленной землей). Сопротивление растекания тока на землю, исходя из сделанных замеров, определяется по закону Ома как отношение потенциала на заземляющем устройстве опоры к току, стекающему с него на землю.

В настоящей работе рассматривается проблема выбора оптимального типа датчика тока, который может быть использован для измерения величины тока, замыкающегося через заземляющее устройство опоры, при выполнении эксперимента по определению сопротивления заземляющего контура. Решается задача сравнения существующих типов датчиков тока, исходя из особенностей измерений тока, стекающего с опоры ВЛ на землю.

Ведущий подход. Выбор наилучшего типа датчика тока для измерителя сопротивления растеканию тока заземляющего устройства опоры ВЛ выполняется путем выявления наиболее значимых требований, предъявляемых к указанным датчикам, и сравнения в соответствии с ними существующих устройств, предназначенных для определения величины электрического тока. В настоящей работе рассмотрены особенности измерения тока, стекающего на землю через заземляющее устройство опоры при наличии грозозащитного троса, связывающего заземляющие контуры соседних опор. Оцениваются достоинства и недостатки трансформаторов тока с разъемным ферромагнитным сердечником, а также катушек Роговского.

Результаты исследований, их обсуждение. Использование закона Ома для определения сопротивления растекания тока на землю не имеет дополнительных технических трудностей, если у исследуемого контура заземления нет дополнительных связей с землей, по которым может замыкаться ток от испытательного источника тока. Опоры воздушной линии с заземлением грозозащитного троса на каждой опоре создают проблемы при определении сопротивления контура заземления каждой отдельной опоры. Дополнительная сложность заключается в том, что ток от испытательного источника, присоединенного к проводящим элементам опоры, делится на две составляющие, как показано на рис. 1:

1) Составляющая тока, замыкающаяся на землю через заземляющее устройство исследуемой опоры.

2) Составляющая тока, растекающаяся через грозозащитный трос и замыкающаяся на землю через заземляющие устройства соседних опор.

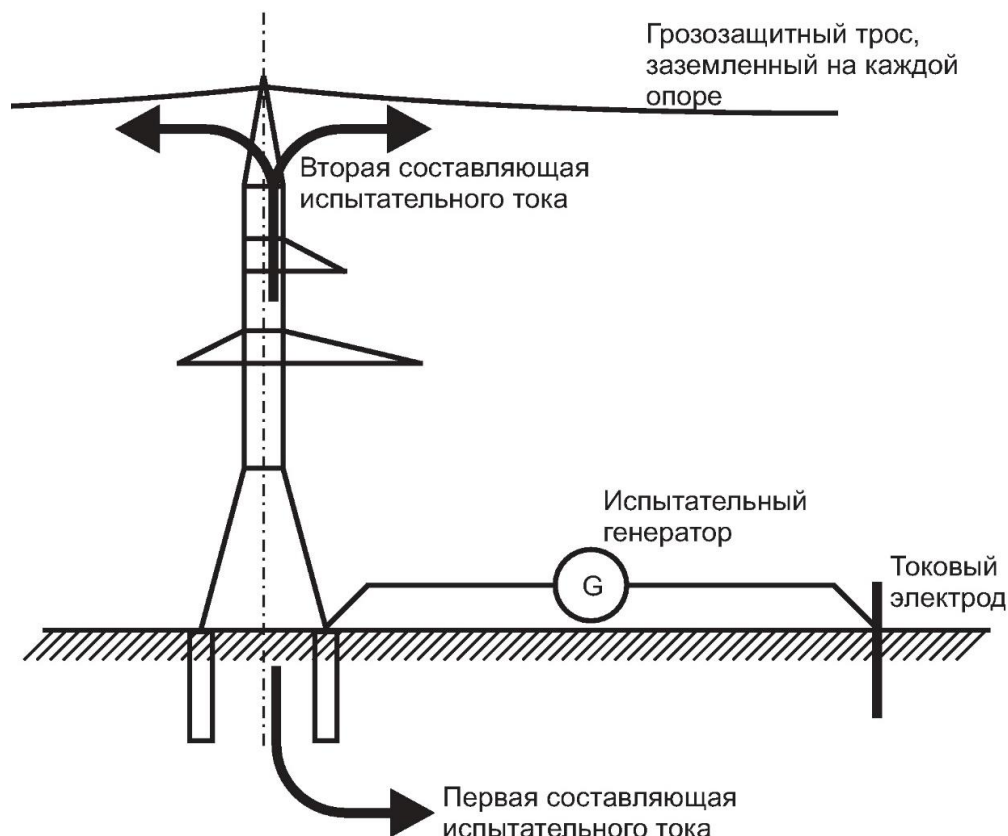


Рис. 1. Деление тока испытательного источника на две составляющие

Для использования закона Ома с целью определения сопротивления заземления опоры необходимо измерять только первую составляющую испытательного тока, стекающего с опоры на землю. Решение этой задачи имеет свои сложности при любом типе опор.

В случае выполнения испытаний на железобетонной опоре цепь, по которой протекает ток на землю, представляет собой совокупность параллельно включенных стержней арматуры стойки опоры, покрытых слоем бетона. Контакт с землей обеспечивается как элементами специально выполненного контура заземления, так и арматурными стержнями через бетонный слой, который ниже уровня земли имеет примерно такое же удельное сопротивление, как окружающий грунт (выравнивание электрических параметров бетона под зем-

лей и окружающей его почвы достигается через несколько месяцев после установки опоры). Стальная многогранная опора, в зависимости от способа установки, может иметь связь с землей как через металлический фундамент, так и через арматуру железобетонного фундамента, как описано выше. Многостоечные опоры устанавливаются, как правило, на нескольких независимых фундаментах, через проводящие элементы которых ток может стекать на землю помимо специально выполненного контура заземления.

Таким образом, при решении задачи измерения тока, стекающего на землю, необходимо:

- учитывать, что выполнить разрыв цепи, по которой ток от металлических элементов опоры стекает на землю, с целью подключения амперметра не представляется возможным;

- предусмотреть несколько измерительных каналов тока для определения суммарного тока, стекающего на землю по всем стойкам опоры и оттяжкам, имеющим связь с землей.

Существует несколько способов измерения электрического тока без разрыва цепи. С целью выбора оптимального для решения задачи измерения испытательного тока, стекающего с опоры на землю, будут рассмотрены два варианта:

- использование трансформатора тока с разъемным ферромагнитным сердечником большого диаметра,

- использование гибкого датчика тока без ферромагнитного сердечника (пояса Роговского).

Первичной обмоткой трансформатора тока, используемого при измерении тока, стекающего на землю с тела опоры, являются металлические элементы стойки опоры, поэтому число витков в ней неизменно и равно одному. Это приводит к тому, что величина МДС первичной обмотки определяется только величиной испытательного тока, стекающего с опоры, а он, в свою очередь, ограничен размерами и массой измерительного прибора.

Согласно [2], токовая погрешность измерительного трансформатора тока может быть снижена путем увеличения магнитной проницаемости сердечника,

причем это имеет особенное значение в случае невозможности увеличить МДС первичной обмотки. Промышленность выпускает сердечники из аморфных и нанокристаллических сплавов, имеющих высокую относительную магнитную проницаемость (50000–100000 о. е.). Однако для обеспечения размещения трансформатора тока на опоре его магнитопровод необходимо делать разъемным, что при самом тщательном изготовлении узлов, стыкующих две части сердечника, приводит к возникновению воздушных зазоров на пути замыкания магнитного потока. Даже незначительные воздушные зазоры приводят к резкому снижению эквивалентной магнитной проницаемости сердечника. Например, магнитопровод с внутренним диаметром 650 мм, разнимаемый на две одинаковые части, разработанный на кафедре электрических станций ФГБОУ ВО «ВятГУ» [3], имеет эквивалентную относительную магнитную проницаемость до 4700 о. е., при том что он изготовлен в заводских условиях из аморфного железа с относительной магнитной проницаемостью 50000 о. е.

Длина средней линии магнитопровода определяется диаметром опоры. Например, в случае необходимости выполнения измерений на одностоечных опорах с нижним диаметром 800 мм длина средней линии магнитопровода должна быть не менее 2,5 м. Согласно [2], токовая погрешность трансформатора тока пропорциональна длине средней линии магнитопровода, что приводит к необходимости увеличивать площадь поперечного сечения магнитопровода, так как это позволяет скомпенсировать рост токовой погрешности. Пределы увеличения площади сечения сердечника трансформатора тока ограничиваются ростом его массы. Например, упомянутый выше датчик тока с ферромагнитным сердечником, разработанный на кафедре электрических станций и предназначенный для использования на опорах с диаметром до 610 мм, имеет массу 8,8 кг. Датчик тока с той же погрешностью, выполненный по той же технологии, но предназначенный для работы на опорах с нижним диаметром 800 мм, будет иметь массу ориентировочно 15 кг. Прибор для измерения сопротивления заземления многостоечных опор должен иметь количество датчиков, равное количеству стоек опоры. Для покрытия максимального числа случаев один

прибор должен комплектоваться не менее чем четырьмя датчиками суммарной массой 60 кг без учета массы самого прибора.

Таким образом, разработка прибора для измерения сопротивления заземления опор большого диаметра и многостоечных опор требует использования датчиков тока без ферромагнитного сердечника.

Измерительный трансформатор без ферромагнитного сердечника имеет много альтернативных наименований, например измерительный трансформатор с немагнитным сердечником, воздушный трансформатор, катушка Роговского, пояс Роговского, гибкий датчик тока и т.п. Принцип действия этого устройства точно такой же, как у классического измерительного трансформатора. Отличие заключается лишь в том, что вторичная катушка, средняя линия которой охватывает проводник с измеряемым током, наматывается на немагнитный сердечник с относительной магнитной проницаемостью, близкой к единице. Из закона полного тока следует, что мгновенное значение ЭДС, наводимой в катушке Роговского, определяется производной от измеряемого тока по времени. При измерении синусоидального тока действующее значение ЭДС на выходе катушки Роговского пропорционально действующей величине измеряемого тока.

Из-за низкой магнитной проницаемости сердечника магнитный поток, замыкающийся внутри измерительной катушки, мал. Это приводит к тому, что выходной сигнал пояса Роговского является низковольтным и маломощным, по сравнению с выходным сигналом классического измерительного трансформатора с ферромагнитным магнитопроводом.

С точки зрения использования воздушного трансформатора в переносном приборе для измерения сопротивления заземления опор наиболее важными его достоинствами являются:

- возможность изготовления катушки Роговского на гибком сердечнике, что позволяет легко замыкать и размыкать датчик тока вокруг основания опоры;

- малая масса воздушного трансформатора (до 0,25 кг) и возможность сворачивать его в компактную бухту.

Выводы. Для решения задачи определения сопротивления растекания тока на землю заземляющего устройства опоры ВЛ наиболее целесообразно в качестве датчика тока использовать катушку Роговского. Это позволит существенно сократить размеры и массу испытательной установки даже в случае проведения измерений на четырехстоечных опорах. Результаты, приведенные в настоящей работе, могут быть использованы при разработке измерительных приборов, предназначенных для контроля состояния заземляющих устройств опор воздушных линий.

Библиографический список

1. Измерение сопротивления заземляющих устройств опор линии электропередачи без отсоединения грозозащитного троса с волоконно-оптическим кабелем / А. В. Бессолицын, И. В. Кайсин, М. Ш. Мисриханов, В. А. Попов // Электрические станции. 2007. № 2. С. 64–66.
2. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель и др. Л. : Энергоиздат, 1989. 416 с.
3. Разработка прибора для измерения сопротивления заземления опор ВЛ без отсоединения заземленного грозозащитного троса / А. В. Бессолицын, А. В. Голговских, О. А. Новоселова и др. // Общество. Наука. Инновации : сб. ст. : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. Киров, 2017. С. 741–742.

Особенности показателей надежности и причин повреждения воздушных линий

А. Н. Воронин^а, В. М. Холманских^б, В. С. Мелехина^с

студент группы ЭиЭм-2801-01-00^а

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения^б

студент группы ЭиЭм-2801-01-20^с

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: stud123951@vyatsu.ru^а, vm_holmanskih@vyatsu.ru^б, stud128784@vyatsu.ru^с

Аннотация. В статье рассматриваются особенности показателей надежности, наиболее достоверно описывающих состояние воздушных линий (ВЛ) электропередачи и их характерных повреждений. Актуальность вопроса заключается в том, что воздушные линии являются повреждаемыми элементами энергосистемы в связи с их значительной протяженностью. Также существенным фактором является климатическое воздействие окружающей среды. Для раскрытия проблемы произведен анализ наиболее распространенных повреждений воздушных линий электропередач, таких как обрыв проводов, грозовые и коммутационные воздействия, схлестывания проводов, падение, крен, переламывание опор, пробой и срывы изоляторов, падение деревьев на провода. Выполнен анализ наиболее распространенных повреждений воздушных линий и способов их предупреждения. Перечислены основные направления повышения уровня надёжности, а также предложены решения для минимизации различных факторов, влияющих на надёжность воздушных линий электропередач. Рассмотренные вопросы могут быть использованы для прогнозирования надёжности и снижения ущерба в случае аварий.

Ключевые слова: воздушные линии, показатели надёжности, повреждения.

Введение. Повышение надежности электроснабжения потребителей при передаче мощности между различными частями энергосистемы в большей степени связано с условиями эксплуатации и техническим состоянием ВЛ [8].

ВЛ являются одними из главных элементов систем электроснабжения. Протяженность ВЛ 6–10 кВ в России составляет примерно 1,5 млн км – практически 45% от длины ВЛ напряжением 0,4–110 кВ. Почти 70% всех отказов в электроснабжении происходит в электрических сетях этого класса напряжения [3].

ВЛ – наиболее повреждаемый элемент энергосистемы из-за значительной протяженности и зависимости от климатических условий. Параметр потока отказов ВЛ во много раз выше параметров потока отказов коммутационной аппаратуры и силовых трансформаторов [1], вследствие чего прогнозирование состояния ВЛ необходимо для поддержания постоянства передачи электрической энергии.

При расчёте параметров надёжности элементы ВЛ оцениваются одинаково [5, 6]. Такой способ рассмотрения некорректен, так как не способен достоверно отражать происходящие процессы. Это обусловлено значительной про-

тяженностью воздушной линии и прохождением её в различных климатических зонах, что влияет на работу ВЛ [11].

Целью данной работы является выбор технических и организационных средств для повышения эксплуатационной надежности ВЛ на основании анализа показателей надежности ВЛ и их характерных повреждений. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Выбрать показатели надёжности, которые наиболее точно характеризуют надёжность линии электропередач и позволяют достоверно определить их текущее состояние
2. Выполнить анализ наиболее распространённых повреждений ВЛ и способов их предупреждения.

Ведущий метод исследования заключается в статистическом анализе основных причин повреждений и обзоре принятых на практике показателей надёжности ВЛ.

Говоря о надёжности в электроэнергетике, обычно подразумевают способность объекта сохранять свой функционал в требуемом объеме [4].

Надежность является обобщенным показателем, который отражает в себе ряд свойств, и зависит от назначения и условий эксплуатации ВЛ. Выделяют два свойства надёжности первого уровня: безотказность и восстанавливаемость [7].

Показатель надежности представляет собой техническую характеристику, количественным образом показывающую различное количество свойств, демонстрирующих надежность объекта [2, 10]. Состояние работоспособности воздушной линии может быть восстановлено ремонтом или заменой повреждённых элементов. Исходя из этого, ВЛ является восстанавливаемым объектом и имеет следующие основные показатели [9]: параметр потока отказов, время восстановления, наработка на отказ, коэффициент готовности, коэффициент вынужденного простоя, вероятность безотказной работы, коэффициент технического использования.

Данные показатели позволяют достоверно определить текущее состояние ВЛ, а также дают возможность прогнозирования остаточного ресурса как основных элементов, так и воздушной линии в целом.

В табл. 1 приведены средние значения параметра потока отказов для ВЛ на различные напряжения, а в табл. 2 – среднее время восстановления ВЛ для разных классов напряжения. Из табл. 1 видно, что ВЛ 10 кВ наиболее подвержены отказам.

Таблица 1

Параметры потока отказов ВЛ (λ_{wi}), 1/год

Элемент	Напряжение, кВ			
	220	110	35	10
Воздушные линии на 100 км				
одноцепные	0,6	1,1	1,4	25
двухцепные				
отказ одной цепи	0,5	0,9	1,1	–
отказ двух цепей	0,1	0,2	0,3	–

Таблица 2

Среднее время восстановления ВЛ $T_v \cdot 10^{-3}$ лет

Элемент	Напряжение, кВ			
	220	110	35	10
Воздушные линии на				
одноцепные	1,1	1,0	1,0	–
двухцепные				
отказ одной цепи	0,2	0,4	0,8	–
отказ двух цепей	4,0	3,0	2,5	–

Данные показатели позволяют достоверно определить текущее состояние ВЛ, а также дают возможность прогнозирования остаточного ресурса как основных элементов, так и воздушной линии в целом.

При изучении повреждаемости ВЛ рассматривают первопричины возникновения аварий. К ним относятся: перенапряжения – как атмосферные, так и коммутационные, влияние ветровых нагрузок, образование гололёда и налипание снега на провода ВЛ.

Рассмотрим их особенности и способы снижения негативных последствий.

Атмосферные перенапряжения. Данный вид перенапряжений возникает на ВЛ ввиду грозовых явлений. Такие перенапряжения могут стать причиной серьёзных аварий, таких как пробой и перекрытие изоляции, возможны случаи повреждения или полного разрушения изоляционных материалов, а также в случае прямого попадания молний в ВЛ может произойти расщепление деревянных стоек или траверс опор.

Для избежания негативных последствий и повышения уровня надёжности в настоящее время применяют тросовые молниеотводы, а также устанавливают различную аппаратуру, снижающую волну перенапряжения. Примером такой защиты может быть нелинейный ограничитель перенапряжения.

Коммутационные перенапряжения. Такие перенапряжения возникают в системе электроснабжения из-за коммутации. Воздействие на изоляцию таких перенапряжений аналогично действию атмосферных перенапряжений. Для уменьшения количества аварийных ситуаций могут применяться разрядники, нелинейные ограничители перенапряжения.

Действие ветра способно вызывать механические нагрузки в разных частях воздушной линии. Данный вид воздействия рассматривается при проектировании линии, учитывается основное направление и скорость ветра, данная мера позволяет снизить количество аварийных ситуаций в ходе эксплуатации ВЛ, тем самым увеличивается уровень надёжности линии. Ветровые нагрузки также оказывают влияние и на деревья, расположенные рядом с трассой ВЛ. Из-за сильных порывов ветра возможно падение веток и деревьев на провода линий электропередач, что приводит к аварийным отключениям, увеличивая время простоя линии. Для минимизации этого негативного явления проводятся плановые обходы, на основании которых производятся работы по очистке трасс ВЛ от растительности.

Гололедные образования возникают на проводах ВЛ из-за попадания капель дождя и тумана, налипания снега. Негативными последствиями гололёдных образований являются обрывы проводов, поломки опор, схлестывание проводов. Для борьбы с данными последствиями используют как традиционный способ плавки гололёда путём создания искусственных коротких замыканий или использования выпрямительных блоков, так и комбинированные преобразовательные установки, способные помимо плавки гололёда компенсировать реактивную мощность. Данные средства позволяют повысить надёжность ВЛ, избегая негативных последствий.

Рассмотренные явления при отсутствии средств и методов снижения их негативного влияния способны в значительной мере снизить надёжность линии электропередач.

На практике первопричины повреждений ВЛ намного разнообразнее. Для изучения повреждений ВЛ нами были обработаны статистические данные об отказах ВЛ 6–10кВ в одном из северных районов Кировской области. Всего было изучено 13 ВЛ общей протяженностью 339 км. За время 6-летних наблюдений количество повреждений ВЛ достигло 251. В качестве наглядного примера реально происходившей ситуации в районных линиях электропередач может выступать представленная на рисунке диаграмма повреждений ВЛ 6–10кВ.



Диаграмма повреждений ВЛ 10кВ за 6 лет северного района Кировской области

Результаты исследований, их обсуждение. Благодаря расчёту показателям надёжности можно спрогнозировать время выхода из строя ВЛ или её отдельных частей, что позволит минимизировать экономический ущерб от аварий.

Описанные в статье причины аварийных ситуаций существенно снижают уровень надёжности ВЛ. Разработка и применение решений, направленных на устранение данных факторов, позволяют увеличить надёжность линий электропередач.

На основании рассмотренных в данной статье показателей надёжности и причин возникновения аварий можно произвести оценочную характеристику остаточного ресурса линий, что позволит скорректировать график планово-предупредительных мероприятий. В результате повышается безотказность ра-

боты системы, снижаются капитальные затраты на ремонт и покупку нового оборудования, а также снижается количество несчастных случаев среди персонала из-за выхода из строя оборудования ВЛ.

Выводы:

1. Рассмотрены основные показатели надёжности, характеризующие надёжность линий электропередач.

2. Указаны основные направления повышения уровня надёжности, а также перечислены решения для минимизации различных факторов, влияющих на надёжность ВЛ.

3. Установлено, что реальное число первопричин повреждений ВЛ значительно превышает приведенное в технической и справочной литературе по надёжности ВЛ.

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для прогнозирования надёжности ВЛ и снижения ущерба в случае аварий.

Библиографический список

1. Барг И. Г., Эдельман В. И. Воздушные линии электропередачи: вопросы эксплуатации и надёжности. М., 1985. 248 с.
2. Надёжность технических систем / под ред. И. А. Ушакова. М. : Радио и связь, 1985. 608 с.
3. Воротницкий В. В., Бузин С. А. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления воздушными линиями 6–10 кВ // Новости Электротехники – Электротехника Инженерные новости. 2005. № 3. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php> (дата обращения: 04.02.2022).
4. ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2016. 28 с.
5. Оценка надёжности электроустановок / под ред. проф. Б. А. Константинова. М. : Энергия, 1974. 200 с.
6. Розанов М. Н. Надёжность электроэнергетических систем. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1984. 176 с.
7. Китушин В. Г. Надёжность энергетических систем. Теоретические основы : учеб. пособие. Ч. I. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. 256 с.
8. Складчиков А. А. Оценка надёжности и управление рисками технологических нарушений на воздушных линиях электропередачи. URL: https://revolution.allbest.ru/physics/00934009_0.html (дата обращения: 04.02.2022).
9. Утеулиев Б. А. Разработка методов и средств оценки остаточного ресурса воздушных линий электропередач. URL: https://www.nstu.ru/files/dissertations/dissertaciya_uteulieva_b.a._154461102397.pdf (дата обращения: 04.02.2022).
10. Федотова Г. А., Воропай Н. И., Ковалев Г. Ф. Надёжность технических объектов. Вопросы стандартизации // Надёжность и безопасность энергетики. 2015. № 4 (31). С. 2–6.
11. Шатова Ю. А., Алешина Н. Н. Методика расчета показателей надёжности воздушных линий электропередачи на основе их длин // Вестник евразийской науки. 2013. № 5 (18). С. 49. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/49tvn513.pdf> (дата обращения: 04.02.2022).

Перспективный коммутационный аппарат и расчет его электромагнитного привода

В. А. Головенкин^a, В. В. Фадеев^b, А. А. Абрамов^c, Р. Ю. Хабибулин^d

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов^a

студент группы ЭиЭм-2802-02-00^b

студент группы ЭиЭм-1802-02-00^c

студент группы ЭиЭб-4806-07-00^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: usr00091@vyatsu.ru^a, stud123965@vyatsu.ru^b, stud142757@vyatsu.ru^c,

stud086081@vyatsu.ru^d

Аннотация. Современная авиационная и аэрокосмическая промышленность требует коммутационные электрические аппараты (ЭА) с высокой динамической стойкостью к вибрации, удару, линейным ускорениям, с малым сопротивлением контактов в замкнутом состоянии, высоким быстродействием при малых габаритах. Анализ технической литературы и патентный поиск показал, что создание таких коммутационных ЭА возможно на базе поляризованного электромагнита с балансированным относительно оси вращения якорем. Поэтому разработка и расчет таких коммутационных ЭА актуальны.

Цель статьи – обоснование преимуществ и разработка методики расчета поляризованного электромагнитного привода с уравновешенным якорем для перспективных коммутационных ЭА.

Ведущий подход – разработка методики расчета с проверкой её верности путем сравнения с результатами компьютерного моделирования магнитного поля поляризованного электромагнита.

Вывод: разработка методики расчета поляризованной магнитной системы дает достаточную для инженерных расчетов точность. Относительная ошибка расчета не превышает 14%.

Обоснованная конструкция коммутационного ЭА и разработанная методика расчета его электромагнитного привода предназначена для разработчиков перспективных ЭА.

Ключевые слова: коммутационный электрический аппарат, поляризованная магнитная система, постоянный магнит, динамическая стойкость, сопротивление контактов, быстродействие.

Введение. Применение поляризованного электромагнитного привода с уравновешенным якорем существенно повышает динамическую стойкость коммутационного ЭА. Постоянный магнит (ПМ) позволяет исключить возвратную пружину привода, увеличить контактное усилие, снизить сопротивление контактов, уменьшить МДС катушки управления, повысить быстродействие, уменьшить габариты.

Ведущий подход. На рис. 1 представлена конструктивная схема коммутационного ЭА, обеспечивающая перечисленные преимущества. Здесь 1 – сердечник; 2 – катушка; 3 – полюс 1; 4 – якорь сбалансированный; 5 – контактная система; 6 и 7 – полюса 2 и 3; 8 – постоянный магнит.

В начальном положении катушка привода обесточена. Магнитный поток Φ_M постоянного магнита замыкается против часовой стрелки через рабочие зазоры 1 и 2. В этих зазорах создаются электромагнитные силы, электромагнитный момент которых направлен против часовой стрелки и надежно удерживает контактную систему (КС) в начальном положении.

Современные редкоземельные ПМ способны создать достаточно мощный электромагнитный момент, обеспечивающий большое контактное усилие и, следовательно, низкое переходное сопротивление контактов. Так ПМ марки КС25ДЦ размерами 40x15x5, мм, как показал расчет, на плече 20 мм развивает момент 0,6 Н·м, то есть создает контактное усилие в 30 Н. При таком контактном усилии сопротивление контактов достаточно низкое, позволяющее им пропускать ток 150 А.

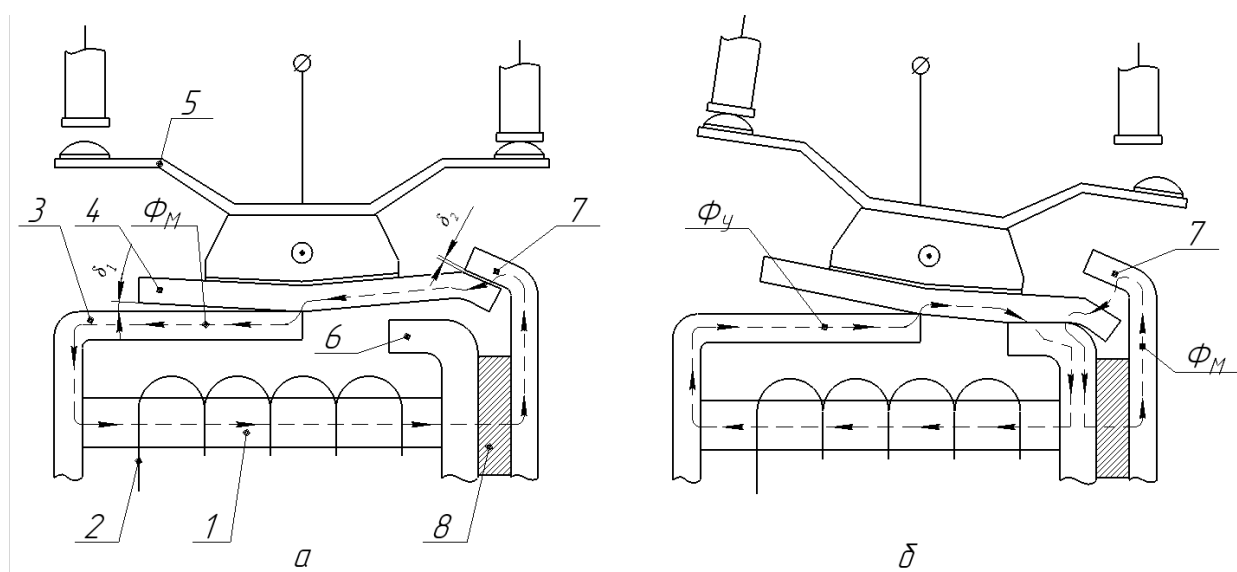


Рис. 1. Поляризованный электромагнитный привод для коммутационного ЭА:
а – начальное состояние; б – конечное состояние

Для перевода привода в конечное положение необходимо подать напряжение на катушку управления такой полярности, чтобы магнитный поток Φ_U катушки был направлен встречно потоку Φ_M постоянного магнита. Поток Φ_U вытеснит поток Φ_M при их равенстве из якоря. При этом электромагнитная сила будет создаваться лишь потоком Φ_U , который переведет якорь и КС в конечное состояние. Результирующая электромагнитная сила от потока Φ_M , действующая на якорь, будет равна нулю.

В процессе срабатывания, когда зазор 3 уменьшается, поток ФУ возрастает, а поток ФМ уменьшается. Электромагнитная сила, пропорциональная квадрату потока, круто возрастает, что объясняет ускоренное быстроедействие при срабатывании.

Магнитодвижущая сила катушки управления существенно меньше, чем в обычном приводе с возвратной пружиной. Это объясняется относительно небольшим потоком ФМ, необходимым для создания достаточного контактного усилия, и отсутствием противодействующей возвратной пружины.

При отключении катушки управления поток ФУ исчезает. В результате часть потока ФМ начинает отклоняться в зазор 1. При этом поток в зазоре 2 становится больше потока в зазоре 3. Появляется результирующий электромагнитный момент от электромагнитных сил в зазорах 1 и 2, который возвращает якорь в начальное состояние. Чем больше угол поворота якоря, тем больше поток в зазорах 2 и 1, тем больше круто возрастающий электромагнитный момент. Это обеспечивает высокое быстроедействие при возврате.

Методика расчета магнитной системы при начальном положении якоря

Магнитная система сложная, содержащая три рабочих воздушных зазора и постоянный магнит. Для расчета магнитных потоков в рабочих зазорах приведем МС к системе с одним эквивалентным зазором ЭК. При этом магнитными сопротивлениями полюсов, сердечника и паразитных зазоров пренебрегаем. Тогда схемы замещения магнитной цепи примут вид (рис. 2).

Здесь $G\delta_1$, $G\delta_2$, $G\delta_3$ – магнитные проводимости зазоров 1, 2, 3; GSM – проводимость рассеяния ПМ; GSP – проводимость рассеяния полюсов, GSC – проводимость рассеяния системы; ΦSM , ΦSP , ΦSC – магнитные потоки рассеяния ПМ, полюсов и системы.

Основные положения методики расчета магнитных потоков магнитной цепи приведены в [1]. Основную трудность с наибольшей погрешностью дает расчет магнитных проводимостей рассеяния GSM ПМ и GSP полюсов. Уточним методику их расчета.

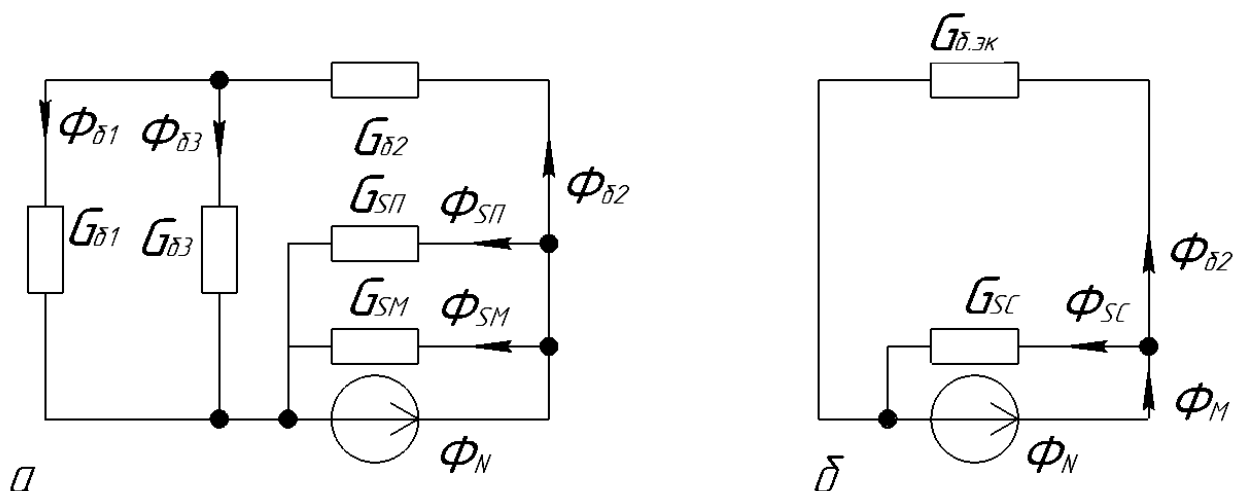


Рис. 2. Эквивалентные схемы замещения магнитной цепи с отображением ПМ источником магнитного потока Φ_N : а – исходная; б – приведенная к одному зазору

Расчет проводимостей рассеяния GSM ПМ, вмонтированного в МС, и проводимости рассеяния GСП полюсов

Магнитные поля рассеяния ПМ и полюсов сложные трехмерные. Расчет проводимостей этих полей проведем методом разбивки поля на магнитные трубки простой конфигурации (метод Ротерса) [2]. При этом проводимость каждой i -й трубки определяется по средней длине и среднему сечению:

$$G_i = 0.5 \mu_0 \mu_r \frac{S_i}{l_i} \quad (1)$$

Расчет проводимости GSM ПМ (рис. 3а)

Считаем, что магнитный поток рассеяния с нижней горизонтальной грани ПМ идет по трубкам 1 и 2. Трубка 1 имеет конфигурацию четверти полого цилиндра с наружным и внутренним радиусами R_H и R_B , Проводимость такой трубки определяется формулой [2]:

$$G_1 = 0.2 \cdot b_T \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_H - R_B}{0.5 \cdot R_B} \right) \quad (2)$$

где b_T – ширина трубки.

Поток трубки 2 подобен потоку с ребра на грань. Проводимость такой трубки равна проводимости четверти цилиндра и рассчитывается по формуле [2]:

$$G_2 = 0.52 \cdot 0.5 b_T \quad (3)$$

Результирующая проводимость рассеяния с нижней грани ПМ:

$$G_{SM} = G_1 + G_2 \quad (4)$$

Магнитное поле рассеяния с полюса 3 на полюс 2 сверху ПМ мощное. Оно, как показывает компьютерное моделирование, сильно сжимает трубку 3 потока рассеяния с верхней грани ПМ, что необходимо учитывать при выборе её среднего сечения $Scp.3$ и средней длины $lcp.3$. Проводимость данной трубки определяется формулой:

$$GS.3M=0Scp.3 lcp.3 . \quad (5)$$

Поток рассеяния с двух боковых вертикальных граней ПМ идет по трубкам 4. Суммарная проводимость трубок 4 определяется соотношением:

$$GS4=2 \cdot \mu_0 Scp.4 lcp.4 . \quad (6)$$

Таким образом, магнитная проводимость рассеяния ПМ равна:

$$G_{SM}=(GS1.M+GS3.M+GS4) \cdot KM , \quad (7)$$

где KM – коэффициент, учитывающий проводимость рассеяния с углов и горизонтальных ребер ПМ, примем его равным 1,2.

Расчет проводимости рассеяния $GS\Pi$ полюсов 2 и 3 (рис. 3б)

Трубка 1 с торцевой поверхности полюса 3 на полюс 2 представляет собой четверть полого цилиндра, проводимость которой определяется формулой (2).

Суммарная проводимость трубок 2 с полюса 3 на полюс 2:

$$GS.\Pi 2=0SCP.T2 lCP.T2 , \quad (8)$$

где $SCP.T2$ – суммарное среднее сечение трубок;

$lCP.T2$ – средняя длина трубок.

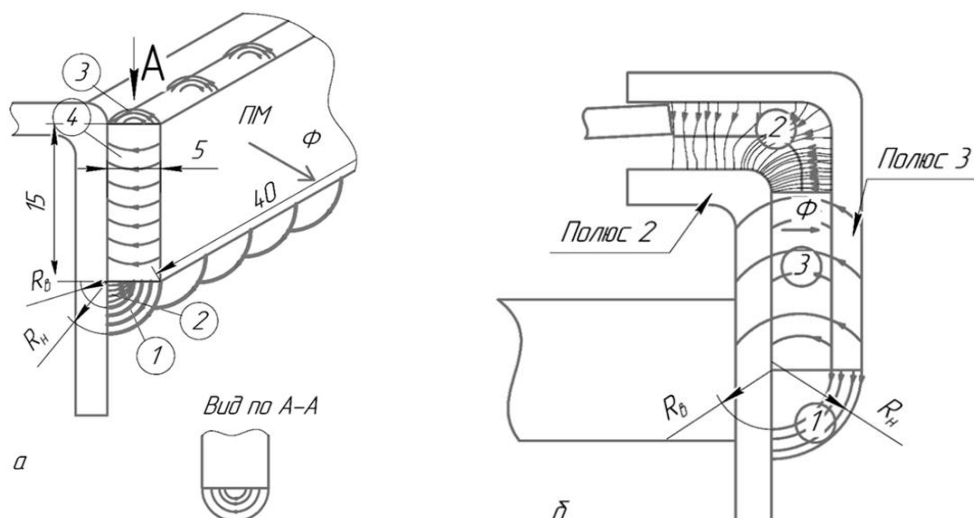


Рис. 3. Магнитные поля рассеяния: а – постоянного магнита; б – полюсов

Поток рассеяния между боковыми гранями полюсов идет по магнитным трубкам 3, имеющим конфигурацию половины полого цилиндра с внутренним и наружным радиусами R_B и R_H . Проводимость этих трубок равна [2]:

$$GS.ПЗ = 0,5 \cdot l \cdot \ln 1 + (R_H - R_B) R_B, \quad (9)$$

где l – длина цилиндра.

Таким образом, магнитная проводимость рассеяния GSP полюсов:

$$GS.П = GS.П1 + GS.П2 + 2GS.ПЗ \cdot КП, \quad (10)$$

где КП – уточняющий коэффициент, учитывающий неучтенную проводимость рассеяния полюсов, примем равным 1,2.

Проводимость рассеяния GSC системы:

$$GSC = GSM + GS.П. \quad (11)$$

Для того чтобы подтвердить правильность разработанной методики, был проведен расчет магнитных потоков МС с заданными размерами и постоянным магнитом КС37 и компьютерный расчет полевой задачи в магнитостатике. Картина магнитного поля МС представлена на рис. 4, а значения магнитных потоков МС – в табл. 1.

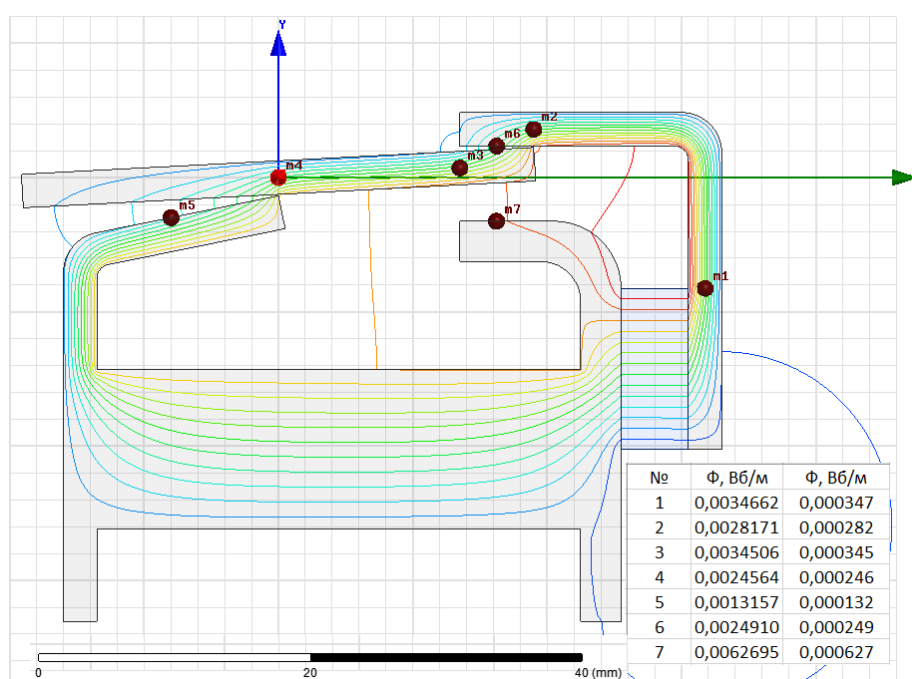


Рис. 4. Картина магнитного поля МС, полученная при помощи компьютерного моделирования

Значения магнитных потоков в магнитной системе

Магнитные потоки	$\Phi_{\delta 1}$	$\Phi_{\delta 2}$	$\Phi_{\delta 3}$	ФМ
Теоретический расчет, Вб	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$0,92 \cdot 10^{-4}$	$3,156 \cdot 10^{-4}$
Компьютерное моделирование, Вб	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$2,49 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,47 \cdot 10^{-4}$

Анализ картины магнитного поля позволил сделать следующие выводы: магнитный поток, а следовательно, индукция в данном сечении магнитопровода неодинаковы. Они существенно больше той поверхности магнитопровода, с которой идет максимальный поток рассеяния (см. рис. 4). Этим объясняется разная степень насыщения стали по сечению. Внутренние слои магнитопровода насыщены, а наружные нет. Это существенно затрудняет точность расчетов – точность расчетов удовлетворительная. Например, теоретический расчет дает поток в воздушном зазоре $2,14 \cdot 10^{-4}$ Вб, а компьютерное моделирование $2,49 \cdot 10^{-4}$ Вб, то есть разница составляет $0,35 \cdot 10^{-4}$ Вб (14%) – методика расчета требует дальнейшего её уточнения путем корректировки принятых коэффициентов, уточнения расчетов потока рассеяния, учета сопротивления стали.

Вывод. Разработанная методика расчета поляризованной магнитной системы с уравновешенным якорем дает удовлетворительную точность и требует дальнейшего совершенствования.

Библиографический список

1. Методика расчёта магнитных потоков поляризованной магнитной системы с балансированным якорем / В. А. Головенкин, А. А. Фоминых, В. В. Фадеев, А. М. Бушуев // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. : XXI Всерос. науч.-практ. конф., 12 апр. – 30 апр. 2021 г. : в 2 т. Т. 2. Химико-биологические, технические, компьютерные науки и науки о Земле. Электрон. текстовые дан. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 406–414.
2. Постоянные магниты : справ. / под ред. Ю. М. Пятика. М. : Энергия, 1971. 375 с.
3. Основы теории электрических аппаратов : учеб. пособие для электротехнических специальностей вузов / Б. К. Буль, Г. В. Буткевич, А. Г. Годжелло и др. М. : Высш. шк., 1970. 600 с.

Анализ проблемы эксплуатации автомобилей УАЗ на Крайнем Севере и пути их решения

А. Е. Ефремов^а, Е. Л. Иовлева^б

заведующий лабораторией «Детали машин»^а

доцент, кандидат технических наук^б

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: afanasi_2018@mail.ru^а, elizaveta-iovleva@yandex.ru^б

Аннотация. В 1985 г. Ульяновский автомобильный завод спроектировал и выпустил в серийное производство автомобиль УАЗ 3303. Этот автомобиль востребован и по сей день, особенно в Республике Саха (Якутия), где большая часть территории входит Крайний Север и Арктическую зону. Автомобиль УАЗ 3303 обладает грузоподъемностью более тонны и высокой проходимостью. Однако, несмотря на все достоинства этого автомобиля, он во время эксплуатации в условиях низких температур встречается с рядом проблем. Цель нашей статьи заключается в анализе проблем эксплуатации автомобиля УАЗ 3303 на Крайнем Севере. На сегодняшний день с помощью цифровых технологий можно решить задачи с проектированием любых конструкций из порошкового металла, в частности применение селективного лазерного сплавления.

Ключевые слова: автомобиль УАЗ-3303, разрыв рамы, прочность, аддитивные технологии.

Введение. УАЗ-3303, советский малотоннажный грузовой автомобиль с повышенной проходимостью, изготавливается на Ульяновском автомобильном заводе. Сегодня, он выпускается в модификации УАЗ-330365 и УАЗ-330945 с двигателем ЗМЗ-40911.10, который отвечает требованиям Евро-5 [1].

На рис. 1 [2] показан общий вид автомобиля УАЗ 3303. Длина УАЗ 3303 составляет 4501 мм, ширина – 1974 мм, высота – 2355 мм, расстояние между осями – 2550 мм [3]. Обладая такими параметрами, автомобиль УАЗ 3303 незаменим в хозяйстве на Крайнем Севере. Зимой его используют для перевозки дров и льда, летом – сена для коров, лошадей. Таким образом, автомобиль УАЗ 3303 решает жизненно важную функцию для жизни на Крайнем Севере.

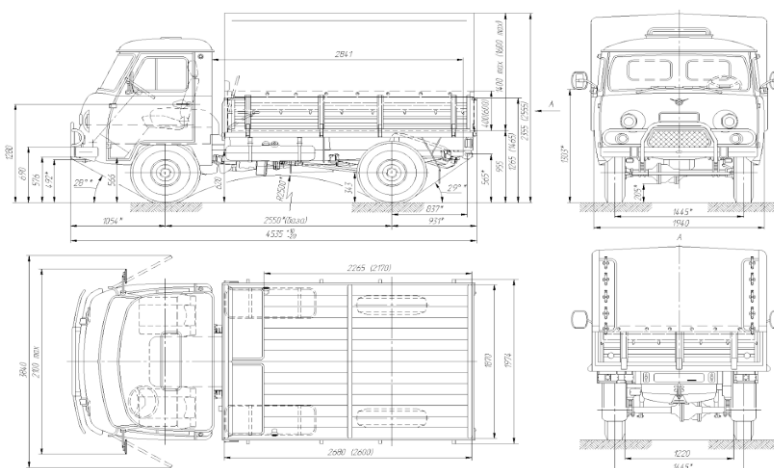


Рис. 1. Общий вид автомобиля УАЗ 3303

Материалы и методы. Из-за бездорожья и плохих дорог общего пользования на Крайнем Севере автомобиль УАЗ 3303 встречается с проблемами разрыва рамы между кабиной и бортом и разрыва рамы внизу опорных балок. Эти проблемы связаны со скручиванием рамы из-за перегруза.

На рис. 2 и 3 показаны разрывы рамы.



Рис. 2. Разрыв рамы между кабиной и бортом, вид 1



Рис. 2. Разрыв рамы между кабиной и бортом, вид 2

Целью нашего исследования является анализ проблемы эксплуатации автомобиля УАЗ 3303 на Крайнем Севере.

Для того чтобы достичь цель, были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать проблемы эксплуатации автомобиля УАЗ 3303 на Крайнем Севере.
2. Проанализировать существующие способы решения проблемы.
3. Определить методику решения проблемы.

Объектом исследования является рама автомобиля УАЗ 3303. Эта рама отличается от рамы автомобиля УАЗ-3741 укороченными задними концами лонжеронов, отсутствием заднего бампера и кронштейнов подножек, кронштейном крепления запасного колеса и кронштейнами крепления бортовой платформы.

Для того чтобы предотвратить скручивание под нагрузками, нужно дополнительно к раме автомобиля спроектировать подрамник под кузов автомобиля.

В нашей работе мы предлагаем изготовить подрамник под кузов при помощи аддитивных технологий. Рама УАЗ 3303 не заменяемая с другими рамами модельных рядов УАЗ, поэтому изготовление подрамника, который усилил бы раму УАЗ 3303, при помощи аддитивного производства во многом удешевило бы процесс. При использовании технологии лазерного сплавления (Selective Laser melting) образуются прочные объекты из порошкового металла любых размеров. Такой процесс проектирования и изготовления объекта исключает неточность конструкции и снижает себестоимость продукции [4].

Результаты и обсуждения. В данное время проблему с разрывами рамы решают при помощи сварного соединения профильной трубы на 50x50 стенкой 3 мм в раму. При этом не учитываются расчеты на изгиб и прочность рамы, тем самым рама может разорваться в другом месте.

Самый распространенный метод 3D-печати металлом – это селективное лазерное сплавление металлических порошков. С помощью этой технологии можно быстро изготавливать сложные по геометрии металлические изделия, которые по своим качествам превосходят литейное и прокатное производство [5].

Выводы. Автомобиль УАЗ 3303 является бюджетным автомобилем для среднего класса населения, он обладает высокой проходимостью. И это во многом предопределяет выбор жителей Крайнего Севера, которые в основном занимаются сельским хозяйством.

Из вышеизложенного приходим к выводам:

1. При эксплуатации автомобиля УАЗ 3303 из-за перегрузки происходит скручивание рамы автомобиля. Это скручивание можно предотвратить с помощью усиления кузова подрамником.

2. Существующие методы избегания проблемы скручивания не учитывают изгиб и расчет на прочность всей несущей конструкции автомобиля.

3. На сегодняшний день самым приоритетным способом проектирования и изготовления усиливающего подрамника является применение селективного лазерного сплавления.

Библиографический список

1. Макаров А. И. Автомобили УАЗ семейств 31512, 3741. М., 2003.
2. Платонов А. А., Киселёва Н. Н. Легковые автомобили-внедорожники на комбинированном ходу // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. С. 182–182.
3. Горелов С., Казак А. Компьютерное моделирование и изучение поведения под нагрузкой несущей конструкции автомобиля УАЗ // САПР и графика. 2004. № 1. С. 14.
4. Гончарова О. Н. и др. Аддитивные технологии-динамично развивающееся производство // Инженерный вестник Дона. 2016. Т. 43. № 4 (43). С. 123.
5. Баева Л. С., Маринин А. А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2014. Т. 17. № 1. С. 7–12.

Моделирование спектрального коэффициента поглощения смеси газов

И. А. Заграй^a, Н. А. Шмакова^b, Е. Ю. Новоселов^c

кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры инженерной физики^a
старший преподаватель кафедры систем автоматизации управления^b
студент группы УТб-2301-02-00^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}
E-mail: zagray@vyatsu.ru^a, usr09554@vyatsu.ru^b, stud126796@vyatsu.ru^c

Аннотация. Спектральный коэффициент поглощения смеси газов определяется составом, температурой и давлением смеси. По спектрам поглощения газовых смесей можно проводить анализ состава продуктов сгорания энергетических установок и состава сжигаемого топлива. Целью данной работы являлось создание информационной системы моделирования спектрального коэффициента поглощения смеси газов, включающей обработку исходных данных и представление их в удобном формате с выбором графического представления. Разработанное программное обеспечение позволило получать табличные или графические зависимости спектра поглощения заданной смеси от волнового числа или длины волны. Созданная система значительно упрощает процесс расчета спектрального коэффициента поглощения смеси газов и может использоваться в программах моделирования лучистого теплообмена гомогенных и гетерогенных продуктов сгорания энергетических установок.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, коэффициент поглощения, смесь газов, информационная система.

Введение. На основании спектров поглощения газовых смесей можно проводить качественный и количественный анализ состава продуктов сгорания энергетических установок и состава сжигаемого топлива [1, с. 99–109].

При сжигании твердых топлив (угля, торфа) в паровых котлах ТЭЦ в топочных газах содержатся конечные продукты реакции H_2O , CO_2 , SO_2 , N_2 , O_2 , а также продукты неполного сгорания NO_x , CO , SO_3 и др. [2–4]

На рис. 1 приведены коэффициенты поглощения некоторых молекул газов (при единичной концентрации) в спектральной области $\omega = 1000 \div 4000 \text{ см}^{-1}$.

Коэффициенты поглощения отдельных газовых компонентов зависят от состава молекулы, температуры и давления. На рис. 2–3 приведен пример спектрального коэффициента поглощения водяного пара (H_2O) при изменении температуры T и давления p . При наложении спектров нескольких газовых компонентов полосы могут перекрываться, образуя свой характерный спектр газовой смеси.

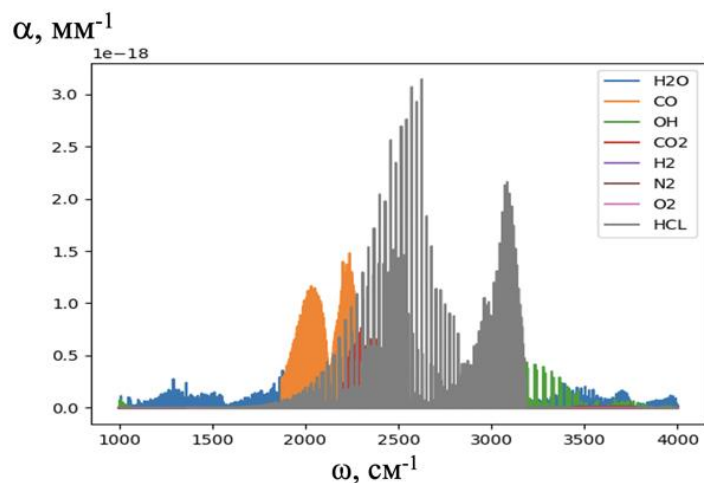


Рис. 1. Спектральные коэффициенты поглощения газов при $T = 296 \text{ K}$ и $p = 1 \text{ атм}$

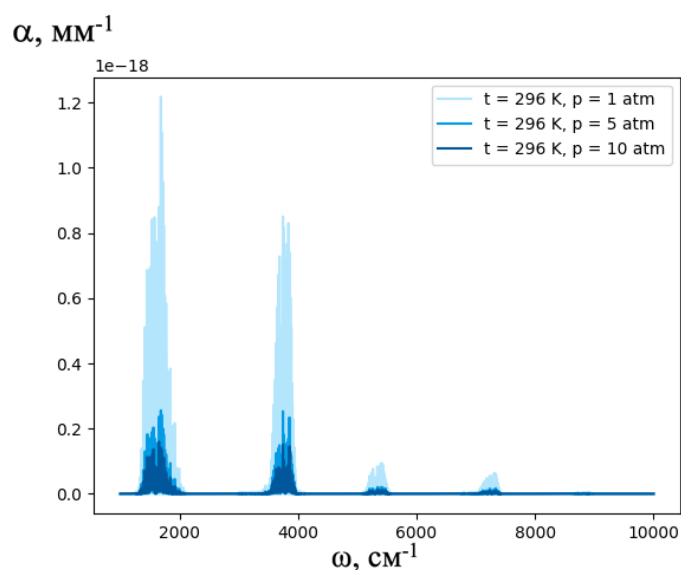


Рис. 2. Спектральные коэффициенты поглощения водяного пара (H₂O) при изменении давления, $T = 296 \text{ K}$

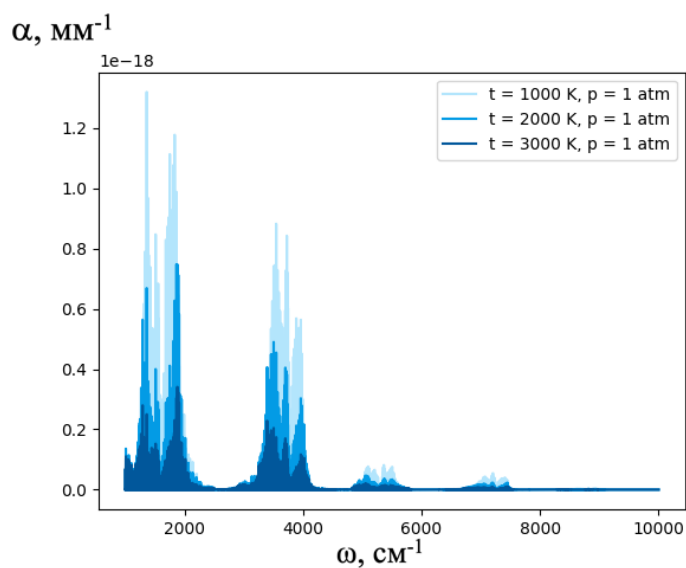


Рис. 3. Спектральные коэффициенты поглощения водяного пара (H₂O) при изменении температуры, $p = 1 \text{ атм}$

Сложность построения графиков зависимости коэффициента поглощения от волнового числа ω (или длины волны λ) состоит как в нахождении достоверных спектроскопических данных, так и в выполнении необходимых для построения вычислений.

Данные о газах, которые находятся в открытом доступе в сети Интернет, представляют собой либо архив файлов, либо ресурсов, которые позволяют делать поисковые запросы в базе данных [5]. На сегодняшний день основными источниками спектроскопических данных являются HITRAN [6], GEISA [7], NITEMP, CDSD, Schwenke-Partridge. Эти базы предоставляют доступ к данным, однако их обработка остается за конечным пользователем.

Так как информационные системы, использующие вычислительные модели для получения зависимости коэффициента поглощения от длины волны, практически отсутствуют в сети Интернет, то разработка таких систем является актуальной.

Ведущий подход. На сегодняшний день наиболее эффективным способом моделирования коэффициента поглощения является использование ЭВМ для ускорения процесса расчета [8], в частных случаях перенос вычислений на видеокарту – технология CUDA [9], а также применение нейронных сетей (как это было реализовано для IASI) [10].

Сегодня спектроскопические данные газов представляются в разнообразных видах. Большая часть этих данных представлена в виде интернет-ресурсов, позволяющих выполнять запросы необходимых данных из базы. Эти данные находят применение во многих отраслях науки, которые требуют вычисления спектрального коэффициента поглощения. Точная и полная информация о тонкой структуре спектров поглощения атмосферных газов (H_2O , CO_2 , N_2O , SO_2 , H_2S и др.) является принципиально важной для решения многих прикладных и фундаментальных задач. Системный анализ будет являться ведущим подходом к созданию описываемой информационной системы. Исходя из всего вышеперечисленного процесс разработки можно разделить на несколько этапов: постановка задач, проектирование информационной системы и, наконец, тестирование.

В начале работы устанавливаются требования к разрабатываемой системе, происходит постановка задач и определяется функциональность по данным задачам. Одновременно продумывается взаимодействие системы с пользователем и базами данных посредством интерфейсов.

На следующем этапе производится непосредственно проектирование информационной системы. Здесь разрабатывается архитектура программного обеспечения, а именно:

1) разбиение главных задач на более простые и представление их в виде отдельных блоков и интерфейсов, которые будут собраны в одну систему;

2) проработка логики взаимодействия интерфейсов внешних источников и внутренних блоков данного программного обеспечения.

На заключительном этапе проводится тестирование и последующая отладка информационной системы. При этом выявляются и исправляются потенциальные ошибки в работе программы, налаживается пользовательский интерфейс.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате работы была спроектирована и реализована информационная система, позволяющая моделировать коэффициент поглощения смеси газов. Для данной системы были выставлены следующие задачи (требования):

1) разработать простой пользовательский интерфейс;

2) обеспечить связь с базами данных HITRAN и GIESA для получения информации об отдельных газах;

3) разработать алгоритмы расчета необходимого коэффициента поглощения для каждого газа из смеси, а также суммарного коэффициента поглощения смеси;

4) обеспечить построение графика по имеющимся данным.

Также по выставленным ранее задачам была проработана архитектура разрабатываемой информационной системы, она представлена на рис. 4.

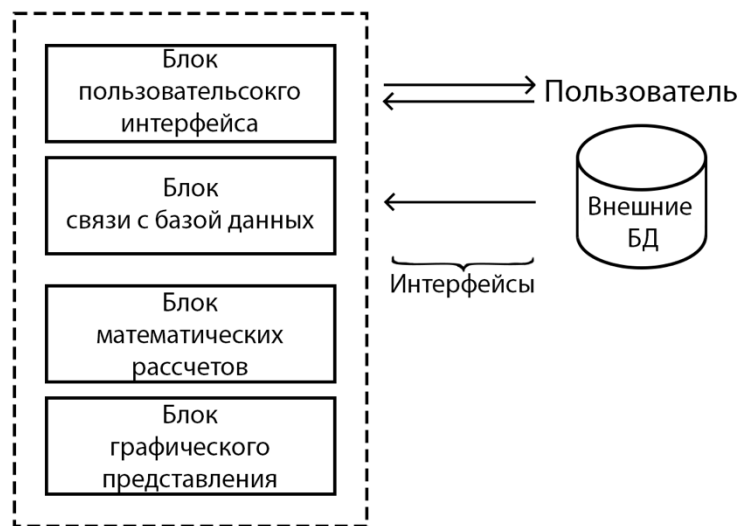


Рис. 4. Архитектура разрабатываемой информационной системы

Блоки математического расчета, графического представления и связи с базой данных являются главной частью программы.

Блок пользовательского интерфейса должен позволять пользователю в простой и понятной форме вводить необходимые начальные условия для вычисления коэффициента поглощения.

Блок математических расчетов, как понятно из названия, должен выполнять необходимые для построения графика вычисления.

В блоке графического представления согласно данным, полученным в блоке математических расчетов, должен строиться график.

Блок связи с БД должен представлять собой набор функций из API внешних источников, позволяющих выполнять запросы данных из источников и их сохранение на локальной машине пользователя.

Блок локальная БД пользователя подразумевает под собой определенный файл, локальную базу SQL или иной способ сохранения информации на машине пользователя.

Блок внешние БД подразумевает использование (без их дальнейшей разработки) открытых баз данных из сети Интернет с помощью готовых API или интернет-запросов.

Разработанная информационная система обеспечивает: получение данных из базы HITRAN с помощью специального NAPI, относительно неплохую ско-

рость вычисления, достоверное моделирование коэффициента поглощения смеси газов.

Проверка готовой информационной системы была произведена с помощью сравнения результата выполнения программы с эталонными значениями, взятыми с сайта спектроскопии атмосферных газов SPECTRA [11] (рис. 5, 6).

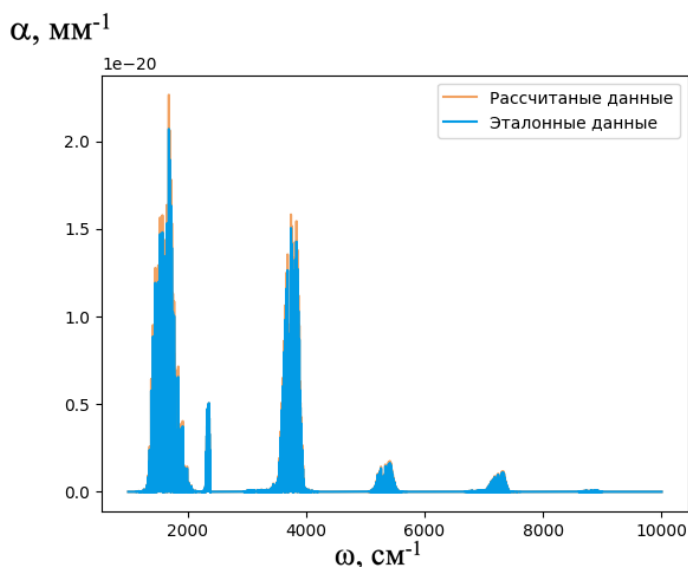


Рис. 5. Сравнение коэффициента поглощения для смеси H_2O (1.860%), CO_2 (0.033%), O_3 ($0.003 \cdot 10^{-3}\%$), N_2O ($0.032 \cdot 10^{-3}\%$), CO ($0.015 \cdot 10^{-3}\%$), CH_4 ($0.170 \cdot 10^{-3}\%$), O_2 (20.900%), N_2 (77.206%) при $T = 296$ К и $p = 1$ атм с данными для проверки

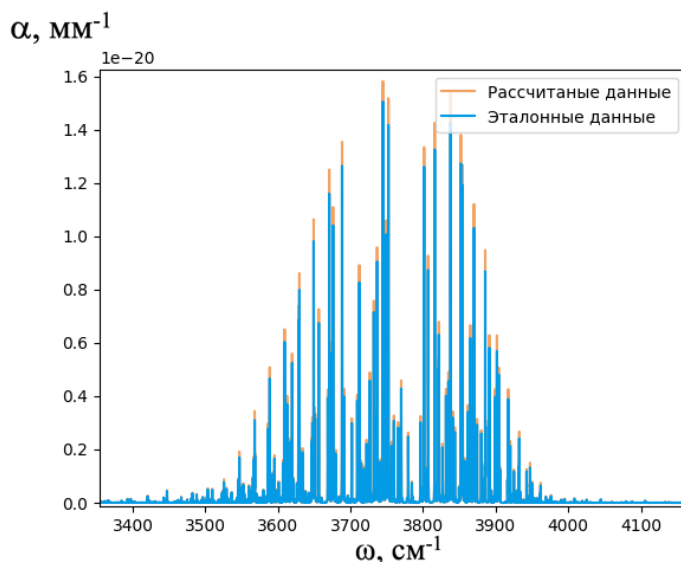


Рис. 6. Сравнение коэффициента поглощения для смеси H_2O (1.860%), CO_2 (0.033%), O_3 ($0.003 \cdot 10^{-3}\%$), N_2O ($0.032 \cdot 10^{-3}\%$), CO ($0.015 \cdot 10^{-3}\%$), CH_4 ($0.170 \cdot 10^{-3}\%$), O_2 (20.900%), N_2 (77.206%) при $T = 296$ К и $p = 1$ атм с данными для проверки в узкой полосе

Из рис. 5, 6 видно, что разработанная информационная система корректно выполняет вычисление и построение графиков. Разница в данных (среднеквадратичное отклонение составило $2,09 \cdot 10^{-21}$) обусловлена погрешностью вычисле-

ний очень маленьких значений (значения, представленные на графиках, имеют степени 10^{-19} и 10^{-20} соответственно).

Выводы. В результате работы была спроектирована и реализована информационная система моделирования спектрального коэффициента поглощения смеси газов. На основании проведенного анализа к системе были выдвинуты определенные требования, большая часть которых была реализована. Частично решена задача получения данных из внешних источников, так как используется только база HITRAN. Реализация связи с базой GEISA остается для дальнейшей разработки.

Полученная система упрощает процесс расчета спектрального коэффициента поглощения смеси газов и может использоваться в программах моделирования лучистого теплообмена гомогенных и гетерогенных продуктов сгорания энергетических установок.

Библиографический список

1. Москаленко Н. И., Паржин С. Н., Хамидуллина М. С. Спектрометрия газовых сред с применением двухлучевой установки на базе спектрофотометра ИКС-24 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 5–6. С. 99–109.
2. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Маратканова Е. И., Десятков И. А. Исследование теплового излучения топочных газов в паровом котле при сжигании твердых топлив // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26. № 2. С. 301–315.
3. Kuzmin V. A., Zagrai I. A. A comprehensive study of combustion products generated from pulverized peat combustion in the furnace of BKZ-210-140F steam boiler // Journal of Physics: Conference Series. Moscow : Institute of Physics Publishing, 2017. P. 012226. DOI: 10.1088/1742-6596/891/1/012226.
4. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Десятков И. А. Контроль образования оксидов азота в топке парового котла с целью защиты атмосферного воздуха от загрязнения // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 126–132. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-126-132.
5. Михайленко С. Н., Бабилов Ю. Л., Головкин В. Ф. Информационно-вычислительная система «Спектроскопия атмосферных газов». Структура и основные функции // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 09. С. 765–776.
6. База данных HITRAN. URL: <http://www.hitran.org> (дата обращения: 06.02.2022).
7. База данных GEISA. URL: <http://cds-espri.ipsl.upmc.fr> (дата обращения: 06.02.2022).
8. Fomin V. A., Udalova T. A., Zhitnitskii E. E. Spectral data base evolution during the last decade and line-by-line calculations, Abstracts of Int. ASA Workshop, Tomsk, 2002. Pp. 19–20.
9. Боресков А. В., Харламов А. А. Основы работы с технологией CUDA. М. : ДМК Пресс, 2010. 232 с.
10. Operational trace gas retrieval algorithm for the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer / S. Turquety, J. Hadji-Lazaro, C. Clerbaux et al. // J. Geophys. Res. 2004. Vol. 109. Article No. D21301. DOI: 10.1029/2004JD004821.
11. Спектроскопия атмосферных газов. URL: <https://spectra.iao.ru> (дата обращения: 06.02.2022).

Оценка способа решения задач мониторинга подстилающей поверхности с использованием беспилотного летательного аппарата

К. В. Иванов^a, А. В. Сидоренко^b, Н. С. Сенюшкин^c

студент 3 курса направления Двигатели летательных аппаратов^{a, b}

кандидат технических наук, доцент кафедры АТиТ^c

Уфимский государственный авиационный технический университет,

Уфа, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: kirill20011.kirill@mail.ru^a, sidorenko-nastua4142@mail.ru^b, aviastar-ufa@mail.ru^c

Аннотация. В данной статье оценивается способ решения задач мониторинга подстилающей поверхности с помощью беспилотного летательного аппарата. Сравняются различные виды беспилотников, их преимущества и недостатки, которые учитываются при проектировании БПЛА, наиболее эффективно справляющегося с задачами контроля протяженных объектов. Изложен порядок проектирования беспилотного летательного аппарата с вертикальным взлётом и посадкой – такая схема имеет явные преимущества перед другими БПЛА: позволяет взлететь беспилотнику с поверхностей малой площади, использовать его в труднодоступных местах, управлять им всего лишь одному человеку – оператору. Также в статье приводится анализ рынка беспилотников, а БПЛА предложенной конструкции сравнивается с уже известными на рынке летательными аппаратами с целью выявления его недостатков и преимуществ.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг, задачи БПЛА, требования к БПЛА, система управления, двигатель БПЛА.

Введение. В настоящее время для контроля лесных пожаров, ледовой обстановки, состояния окружающей среды широко используются дистанционные способы мониторинга подстилающей поверхности. Конечно, мониторинг человеком вручную является более качественным, однако менее мобилен, что подтверждает его экономическую нерентабельность.

К наиболее популярным дистанционным способам мониторинга относится контроль за объектом при помощи спутника и при помощи беспилотного летательного аппарата.

Однако мониторинг при помощи спутника имеет ряд недостатков: высокая стоимость спутниковой связи; возможен контроль только крупноплощадных объектов; отсутствие оперативной съемки в связи с привязкой спутника к определенной орбите; зависимость качества съемки со спутника от метеоусловий; не все спутники доступны для заказа фотосъемки.

Нетрудно догадаться, что для мониторинга предпочитают использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА, беспилотники). В зависимости от

конструкции использование БПЛА также может быть проблематично: у квадрокоптеров – низкая продолжительность времени полета, у беспилотников самолетного типа – необходимость в использовании территории большой площади для запуска с рогатки и т.д.

Поэтому для оценки мониторинга подстилающей поверхности с помощью беспилотного летательного аппарата поставлены следующие задачи:

1. Спроектировать БПЛА и подобрать к нему борт электроники.

2. Спрогнозировать конкурентоспособность продукта с уже имеющимися товарами в примерно равной ценовой категории.

Сформулируем требования к проектируемому аппарату с учетом обязательств, при которых полеты можно осуществлять без получения разрешения на использование воздушного пространства (ИВП) [1]:

1. Возможность долгого полета без смены аккумуляторов либо дозаправки топлива.

2. Наличие камеры кругового обзора и инфракрасной камеры для полетов вне прямой видимости.

3. Точная передача телеметрии в командный пункт (либо на пульт оператора).

4. Наличие опции полета в автоматическом режиме, по заданному полетному плану (маршруту по GPS) и переход в ручной режим при необходимости (на всем протяжении маршрута).

5. Взлет и посадка в труднодоступных местах, а для этого возможность вертикального взлета и посадки.

Максимальная взлетная масса не более 5 кг с учетом массы полезной нагрузки до 1 кг.

Методы исследования. Объектом исследования является способ мониторинга с помощью беспилотного летательного аппарата.

На этапе проектирования беспилотника и подбора к нему электроники используется метод сравнения существующих моделей БПЛА: выбор наиболее выгодной конструкции, схемы взлета и посадки, системы управления. Благода-

ря данному методу исследования удастся установить общие черты или различия с другим явлением или предметом, выявить закономерности.

После создания опытного образца проводится эксперимент для выявления недостатков спроектированного аппарата, измеряется максимальная тяга винтов, подъемная сила крыла, проверяется работоспособность электроники, модель испытывается в различных погодных условиях. Преимущество данного метода исследования заключается в том, что он позволяет изучать явление в экстремальных или изолированных от окружающей среды условиях, его можно проводить как с самим объектом, так и с его искусственно созданной моделью.

Результаты исследований, их обсуждение. После детального анализа существующих видов конструкций ЛА с учетом требований к проектируемому аппарату была выбрана схема с неподвижным крылом, но с некоторыми конструктивными особенностями: отказ от рулей высоты и направления в пользу разнотягового управления двумя двигателями, установка массивных килей для возможности взлета и посадки вертикально (рис. 1). Схема без хвостового оперения называется «летающее крыло» (рис. 2), данная схема более компактна по сравнению с классической и позволяет существенно сэкономить на массе беспилотника.

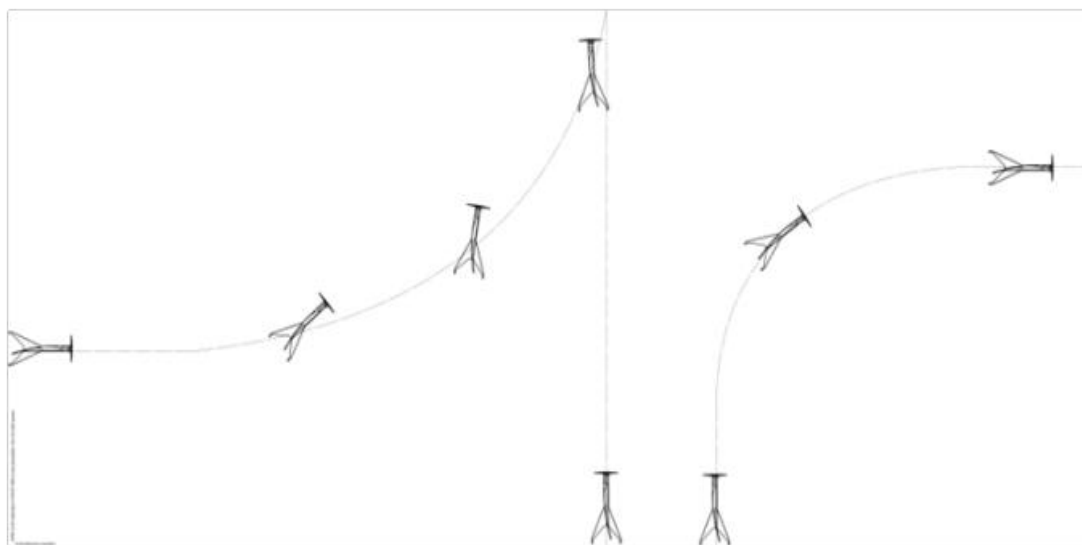


Рис. 1. Схема взлета и посадки

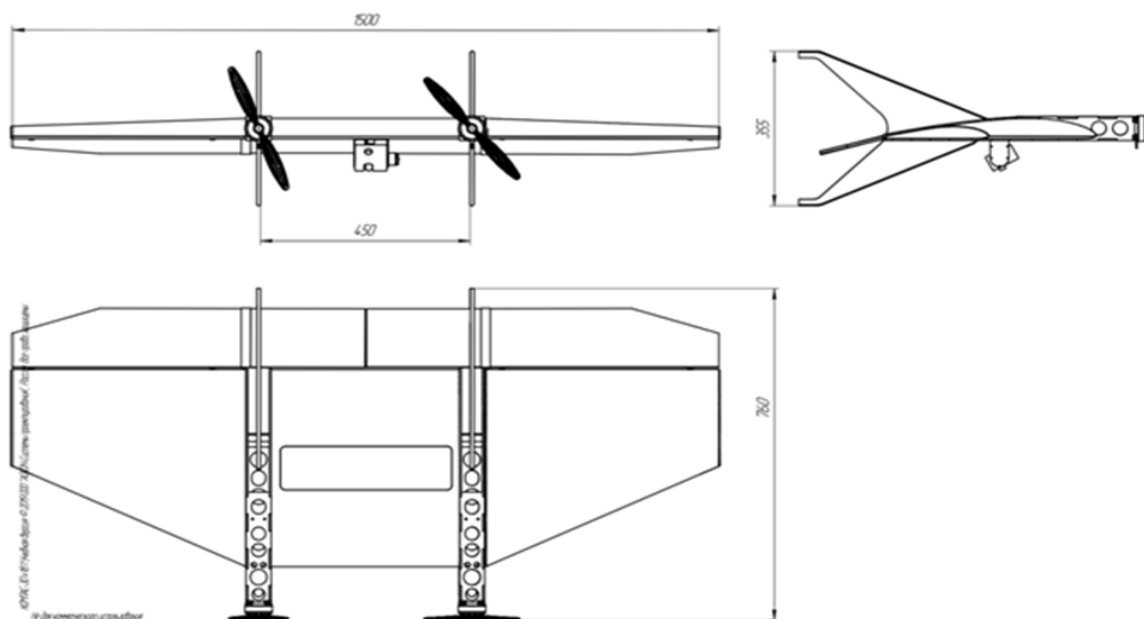


Рис. 2. Общий вид БПЛА

Для возможности вертикального взлета двигатели имеют разное направление вращения с целью компенсации реактивного момента. При наборе в вертикальном взлете (полет осуществляется по схеме дрона) необходимой скорости крыло отклоняет элевоны и переходит в горизонтальный полет. Для осуществления этого тяга винтомоторной группы должна превышать снаряженную массу крыла на 20–25%. Отсутствие рулей направления и высоты, а также заднего горизонтального оперения компенсирует электроника, которая корректирует полет БПЛА даже в режиме ручного управления (путем стабилизации и микширования каналов) с учетом инерционных датчиков (IMU): акселерометра и гироскопа.

Управление всей системой производится платой, основанной на чипе STM32 f765. При помощи двух сервомашинки SANWA Servo 5 kg осуществляется отклонение рулей управления для стабилизации в полете и изменения траектории полета, а микрокомпьютер Raspberry Pi отвечает за работу обеих камер (в качестве основной камеры используется Aceline DualScreen, а инфракрасной – Raspberry NoIR), за отправку картинки с них на устройство оператора либо за сохранение в памяти устройства.

Питание бортовой электроники идет от аккумулятора емкостью 10000 mAh на 14,8 В.

Винтомоторная группа состоит из двух бесколлекторных двигателей Power 25 870 Kv с винтами 14x7E с общей тягой до 5,5 кг.

На данный момент используются уже готовые решения в качестве полетного контроллера, это существенно упрощает работу по настройке всего БПЛА и сокращает время на отладку всех датчиков. Ресурсы, сэкономленные на создании собственного полетного контроллера и написании для него индивидуального программного обеспечения, используются на испытаниях и доведении крыла до максимально комфортного полета.

Для оценки способа решения задач мониторинга подстилающей поверхности с помощью БПЛА проанализируем рынок беспилотников.

Из исследований экспертов компании EY: эффект от использования дронов в России превышает \$1 млрд (использование дронов прямой видимости в EY оценивают в \$338 млн в год, а за пределами прямой видимости – в \$747 млн) [2], но фактически использование сейчас ограничено из-за проблем с инфраструктурой. В частности, это касается дронов, служащих для полетов за пределами прямой видимости (летающие крылья и конвертопланы) – 60% потенциала в развитии именно в данном типе дронов. Для их полета необходимо согласовать план полета, получить разрешения от администраций и организаций, над территорией которых пройдет полет, разрешение на использование воздушного пространства, после чего оно временно закрывается для других пользователей. На данный момент эта проблема активно решается.

Российский потенциал использования дронов составляет более \$1 млрд в год. На сегодняшний день доля России на мировом рынке равна 2%, большая часть выручки предсказуемо приходится на оборонные проекты. Основной объем продаж приходится на любительские дроны [2].

Точное количество пользователей дронов в РФ назвать сложно: примерно 30 тыс. человек. Многие потребители полюбили съемку с дронов. Раньше кадры ночного города можно было получить только с вертолета или снимая с крыши высотки, теперь всё стало проще и интересней.

По данным на 2018 г., к 2020 г. 32% дронов будут заняты в сельском хозяйстве. Другими крупными нанимателями будут выступать компании нефтегазового сектора и логистические сервисы [2].

Проанализируем конкурентоспособность нашего продукта. Для этого рассмотрим различные аналоги, приведенные в таблице.

БПЛА, аналоги

Название	Цена, руб.	Плюсы в сравнении с нашим БПЛА	Плюсы нашего БПЛА по сравнению с аналогами
Альбатрос М1	1 млн	Продолжительность полета; скорость полета; уникальное программное обеспечение, позволяющее выполнять специфичные операции (полуавтоматическая посадка с помощью парашюта); гарантия производителя на 100 полетов; дальность работы в пределах прямой видимости; дальность действия радиолинии	Максимальная масса и тип полезной нагрузки; нет необходимости использовать дополнительное оборудование для взлета – упрощение самого взлета и уменьшение количества людей, необходимых для осуществления взлёта; разборная конструкция – удобство в транспортировке и хранении;
Supercam S240-f	1,9 млн	Продолжительность полета существенно выше; скорость полета; диапазон рабочей высоты полета; дальность работы в пределах прямой видимости; дальность действия радиолинии; специальное программное обеспечение для аэросъемки, значительно упрощающее обработку данных; максимальная протяженность маршрута	быстрая подготовка к следующему полету – горячий старт занимает менее 5 минут; низкая стоимость
Геоскан Lite	0,6 млн	Диапазон рабочей высоты полета; полное управление при помощи смарт-устройств (ноутбук, смартфон), отсутствие отдельной аппаратуры управления; комплект поставки, включающий всё необходимое для работы устройства; гарантия на эксплуатацию 160 полетов	

Предложенный беспилотный летательный аппарат проигрывает аналогам в качестве съемки и в некоторых летных характеристиках, однако он является отличным, удобным и качественным продуктом по довольно низкой цене в сравнении с конкурентами.

Выводы. В ходе проделанной работы произведена оценка способа решения задач мониторинга подстилающей поверхности с помощью беспилотника:

разработанная конструкция БПЛА позволяет осуществлять контроль территории ограниченной площади, а также протяженных объектов; наличие как визуального наблюдения, так и наблюдения с помощью специальных технических средств для выявления изменений в ледовой обстановке, пожаров, очагов возгорания, химического заражения местности и так далее; система управления, основанная на видеокамере с анализом изображения с помощью технического зрения, позволяет, корректируя алгоритм полета, решать любые полетные задачи. При этом сам беспилотник остается недорогим и удобным. Данный аппарат был отмечен дипломом в научно-техническом конкурсе по актуальным проблемам энергетики, организованном ООО «Башкирская генерирующая компания» в 2020 г., за проект по мониторингу сетей теплоснабжения с помощью тепловизора. Уникальная система взлета и посадки позволяет совместить в одном аппарате достоинства вертолета, квадрокоптера и самолета, то есть вертикальный взлет и длительный полет, тем самым показывая уникальность данного аппарата на рынке.

Библиографический список

1. Воздушный кодекс Российской Федерации. URL: <https://vozkod.ru>.
2. Костин А. С., Богатов Н. В. Анализ рынка беспилотных летательных аппаратов в России и мире // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии : сб. докл. Первой Междунар. науч. конф. / ГУАП. СПб., 2020. 130 с.
3. Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов. URL: https://www.ey.com/ru_ru/news/2020/05/ey-uav-survey-18052020 (дата обращения: 18.05.2020).

Комбинированный метод получения комплектов мелкогабаритных профильных деталей

А. С. Клуонис^а, Д. Г. Сергеев^б, Е. В. Козлов^с

студент группы МСм-1801-02-00^а

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения^б
инженер-технолог^с

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

Инжиниринговый центр ВятГУ, Киров, Российская Федерация^с

E-mail: stud142556@vyatsu.ru^а, sergeev@vyatsu.ru^б, ev_kozlov@vyatsu.ru^с

Аннотация. В статье рассмотрены методы получения мелкогабаритных профильных деталей. Проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждого из способов. Предложен комбинированный метод изготовления комплектов мелкогабаритных профильных деталей, включающий первоначальную обработку на фрезерном станке с числовым программным управлением с последующим нарезанием на электроэрозионном оборудовании. Основным технико-экономическим результатом разработанного метода является сокращение времени, энергопотребления, экономия сырья и трудовых ресурсов. Кроме того, при предлагаемом комбинированном методе обработка деталей выполняется за один установ, что обеспечивает высокую точность взаимного расположения поверхностей. Разработанная технология использует преимущества каждого из методов. Данный способ актуален для авиационной, медицинской и электротехнической промышленности, где номенклатура деталей стремится к усложнению конструкции и уменьшению габаритных размеров.

Ключевые слова: комбинированный метод, электроэрозионная обработка, фрезерование, мелкогабаритные профильные детали.

Введение. С развитием производства комплектующие устройств становятся все более и более компактными. Это касается приборов медицинского назначения, электроники и авиастроения. При формообразовании малогабаритных деталей становится затруднительным выбор методов и технологий, отвечающих заданным требованиям изготовления. Поэтому задача поиска новых и совершенствования существующих способов получения малогабаритных деталей является актуальной [1].

Известные способы получения мелкогабаритных деталей имеют свои преимущества и недостатки.

Так, основной проблемой обработки мелкогабаритных профильных деталей на фрезерных станках с ЧПУ является сложность их геометрической формы, что обуславливает применение специализированной технологической оснастки или увеличение количества установов. Также проблемным является подвод инструмента к обрабатываемым поверхностям из-за ограничения рабочего пространства.

Электроэрозионная обработка позволяет изготавливать детали сложной геометрической формы за счет простого поступательного движения. При данном способе не возникает проблемы подачи электрода к обрабатываемым поверхностям. Вместе с тем данная технология применима только к токопроводящим материалам, что приводит к невозможности обработки диэлектриков. Также данный метод энергозатратен и не является высокопроизводительным, что обуславливает его высокую стоимость [2].

Сравнивая данные методы обработки, можно сделать вывод, что электроэрозионные станки представляют собой особую, узконаправленную, дорогую и чрезвычайно мощную машину, что в рамках массового производства накладывает высокую себестоимость выпускаемой продукции. При этом фрезерные станки универсальны, обработка на них малозатратна, что подтверждено исследованиями. Фрезерный станок оснащен рядом различных режущих инструментов, предназначенных для различных видов резания и обработки мелкогабаритных сложных форм с заданными техническими требованиями [3]. Электроэрозионные методы обработки имеют ограничения по обработке авиационных материалов, например магния, что снижает их применение в авиационной промышленности [4]. При фрезеровании нет ограничений по обработке различных материалов, что обусловлено выбором соответствующих режимов резания и инструментов.

Исходя из всего вышеперечисленного, целью данной работы является разработка комбинированного метода обработки, включающего в себя преимущества двух рассмотренных способов получения мелкогабаритных деталей.

Методы исследования. Процесс комбинированной обработки рассмотрен при анализе изготовления нескольких комплектов мелкогабаритных деталей, представленных на рис. 1. Длина и ширина наименьшей детали 1,5 мм при толщине в 1 мм.

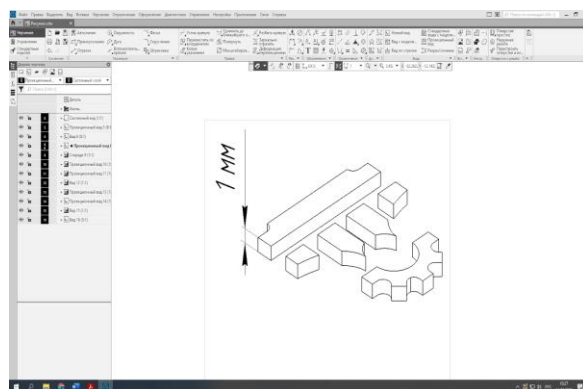


Рис. 1. Комплект мелкогабаритных профильных деталей

Результаты исследований, их обсуждение. После изучения геометрических и технических характеристик детали был предложен комбинированный метод совместного изготовления компонентов, который сводится к следующим операциям:

- обработка заготовки на фрезерном станке с ЧПУ, закрепленном в трехкулачковом поворотном патроне, концевой фрезой диаметром 1 мм на длину профиля равной сумме толщин трех комплектов. Полученный промежуточный результат представлен на рис. 2;

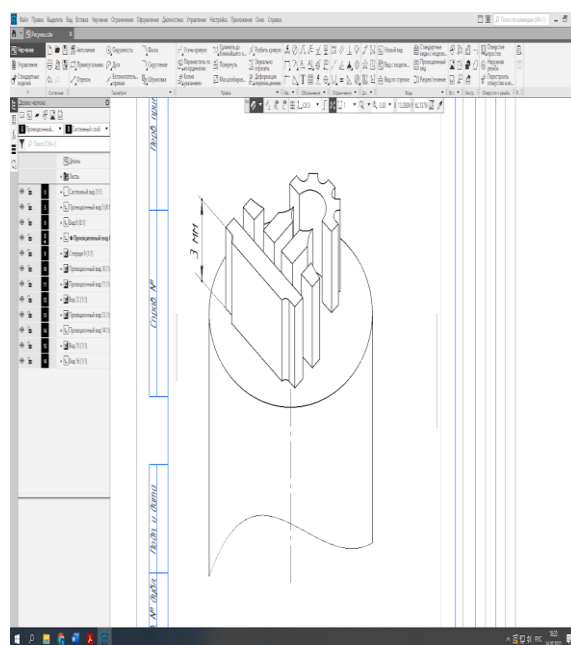


Рис. 2. Заготовка после фрезерной операции

- перемещение полуфабриката, закрепленного в технологической оснастке, с последующим нарезанием комплектов мелкогабаритных профильных деталей на электроэрозионном станке, результат представлен на рис. 3.

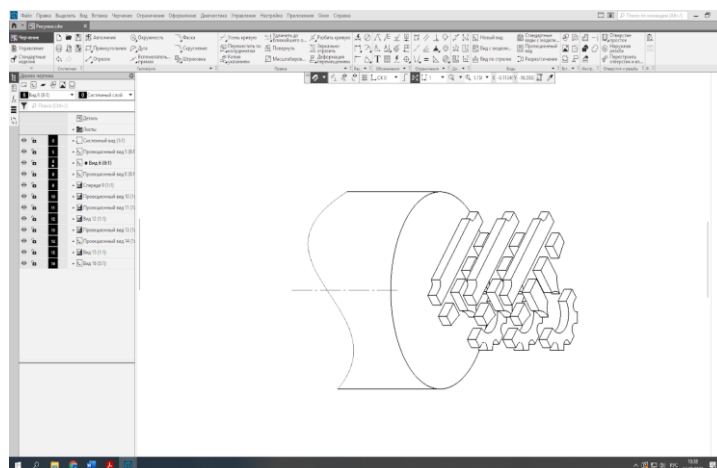


Рис. 3. Полученные комплекты мелкогабаритных деталей

Разработанный комбинированный способ изготовления мелкогабаритных профильных деталей позволяет использовать преимущества каждого из применяемых методов обработки, а именно: высокую скорость обработки фрезерования, точность и бесконтактность электроэрозионного метода.

Недостатком данного способа являются остаточные скругления на внутренних кромках мелкогабаритных деталей, равные радиусу применяемой фрезы.

Достижимым при этом технико-экономическим результатом является сокращение времени и энергопотребления изготовления, применение стандартной технологической оснастки, что в совокупности приводит к значительному понижению стоимости деталей.

Выводы. Предлагаемый комбинированный метод позволяет изготавливать несколько комплектов мелкогабаритных профильных деталей, используя преимущества каждого из включенных способов. Кроме того, данная технология позволяет обрабатывать профиль детали за один установ, что обеспечивает высокую точность взаимного расположения поверхностей.

Библиографический список

1. Шаткова Д. Е., Крутякова М. В. Проблемы обработки малогабаритных корпусных деталей // Точная наука. 2018. № 24. С. 56–59.
2. Артамонов Б. А., Волков Ю. С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. М., 1983. 208 с.
3. A study of micro-EDM and micro-ECM combined milling for 3D metallic microstructures / Zhaoqi Zenga, Yukui Wanga, Zhenlong Wang, Debin Shan, Xiaolong He. // Precision Engineering 36 (2012) 500–509.
4. Оглезнев Н. Д. Современное состояние и перспективы развития электроэрозионной обработки. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1–2. С. 490–494.

Выбор режимов лазерной прошивки отверстий малого диаметра

А. С. Клуонис^а, И. К. Шевнин^б, Е. А. Маринин^с

студент группы МСм-1801-02-00^а

студент группы МСм-1801-02-00^б

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении^с

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: stud142556@vyatsu.ru^а, stud142560@vyatsu.ru^б, marinin@vyatsu.ru^с

Аннотация. Мелкоразмерные отверстия находят большое применение во многих отраслях промышленности, таких как медицина, авиация и электроника. Одним из наиболее эффективных и перспективных методов получения отверстий малого диаметра является лазерная обработка. В работе представлено описание процесса лазерной прошивки отверстий, основные параметры, влияющие на конечную геометрию получаемых мелкоразмерных отверстий. Составлены условия проведения полного факторного эксперимента, и приведена матрица планирования эксперимента. Также в данной статье представлены результаты проведенного экспериментального исследования процесса лазерной прошивки отверстий малого диаметра в стальной пластине толщиной 0,7 мм; на основе полученных в ходе эксперимента данных построена математическая модель, показывающая связь параметров импульсивного лазерного излучения и разности диаметров входа и выхода отверстия.

Ключевые слова: микроотверстия, лазерная прошивка, параметры лазерной обработки.

Введение. В последнее время во многих отраслях промышленности (электронной, приборостроительной, медицинской, авиационной, аэрокосмической, инструментальной, автомобильной, электротехнической, оборонной и др.) существенно возросла потребность в высокопроизводительной обработке прецизионных отверстий диаметром до 1 мм.

Одним из наиболее распространенных способов получения микроотверстий является лазерная обработка [1].

Суть лазерной прошивки микроотверстий заключается в плавлении с последующим испарением в результате воздействия источника тепла, который представляет собой сфокусированный интенсивный когерентный световой луч.

При лазерной пробивке микроотверстий используются твердотельные импульсные лазеры, а обработка осуществляется за один или несколько импульсов. Первый способ применяется для получения отверстий в тонкостенных материалах, второй – для получения глубоких отверстий с большим отношением глубины к диаметру [2].

В ходе проведенных экспериментов установлено, что дно формируется за счет испарений, боковые стенки – за счет плавления и вытекания жидкости при избыточном давлении паров, поэтому диаметр входа больше диаметра выхода.

Основными параметрами пробивки отверстий одним импульсом лазерного излучения являются энергия импульса и его длительность. Качество отверстия зависит от правильного выбора рассмотренных параметров обработки [2].

Настоящая статья актуальна в связи с необходимостью изучения основ, разработки технологии лазерной пробивки отверстий и влияния технологических параметров.

Цель данной статьи – исследование влияния импульсного излучения на разность размеров входа и выхода отверстий в стали и установление математической зависимости между ними и режимами импульсного лазерного излучения.

Методы исследования. Объектом данной статьи является лазерная пробивка отверстий в стальной пластине толщиной 0,7 мм.

При решении поставленных в статье задач использовались следующие методы: механические испытания, метрология, методы математической статистики обработки экспериментальных данных и полный факторный эксперимент.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программы MS Excel на основании теоретических рекомендаций, приведенных в учебном пособии [3]. Был запланирован и проведен полный факторный эксперимент для изучения влияния двух основных факторов (времени действия импульса и величины тока накачки).

Результаты исследований, их обсуждение. Для поиска оптимальных режимов пробивки отверстий, влияющих на размеры входа и выхода, был проведен полный факторный эксперимент с учетом влияния двух основных факторов: времени действия импульса τ и величины тока накачки I . Измеренное значение y является разностью входа и выхода отверстия. Напряжение $U = 600$ В – свободный член x_0 . Постоянным параметром является диаметр сфокусированного лазерного излучения $d = 0,7$ мм.

Условия проведения эксперимента определялись на основе предварительного эксперимента и анализа текущего состояния исследуемой проблемы. Они представлены в нормированном масштабе в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения полного факторного эксперимента

Характеристика	$x_1 = \tau, \text{ мс}$	$x_2 = I, \text{ А}$
Нулевой уровень	7	150
Интервал варьирования	2	30
Верхний уровень	9	170
Нижний уровень	5	130

Полный факторный эксперимент представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расширенная матрица планирования эксперимента

№	Матрица планирования экспериментов			Рабочая матрица			Результаты параллельных экспериментов $y, \text{ мм}$				Средняя величина $y, \text{ мм}$
	x_0	x_1	x_2	U, В	$\tau, \text{ мс}$	I, А	1	2	3	4	
1	+	-	-	600	5	130	0,175	0,150	0,175	0,160	0,16
2	+	-	+	600	5	170	0,025	0,025	0,05	0,025	0,03
3	+	+	-	600	9	130	0,05	0	0,025	0,025	0,03
4	+	+	+	600	9	170	0,025	0,05	0,025	0,075	0,043

Также были рассчитаны энергия импульса E_u и плотность мощности W_p . Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета параметров

№	$E_u, \text{ Дж}$	$W_p, \text{ Вт/м}^2$
1	8,58	451,57
2	11,22	590,52
3	20,20	451,57
4	15,44	590,52

В общем виде математическая модель в виде множественной регрессии представлена следующим образом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2.$$

Во избежание систематических ошибок последовательность параллельных экспериментов определялась методом рандомизации. Для компенсации влияния случайных ошибок каждый эксперимент повторялся $n = 4$ раза.

Однородность дисперсии проверялась по критерию Кохрена. Для расчета коэффициентов уравнения регрессии использовался метод наименьших квадратов.

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии представлены в табл. 3. Значимость коэффициента регрессии отмечена знаком “+” в табл. 4.

Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_{12}	Коэффициент Стьюдента t_s для 4 повторений эксперимента с уверенностью в 99%
40,69	0,41	9,57	59,33	
t_{s0}	t_{s1}	t_{s2}	t_{s3}	
$t_{si} > t_s$				
872,93	8,88	205,23	1272,85	3,055
+	+	+	+	

Окончательная математическая модель представлена следующим образом:

$$y = 40,69 + 0,41x_1 + 9,57x_2 + 59,33x_1x_2$$

Анализ, выполненный по критерию Фишера, подтвердил адекватность математической модели.

Выводы. На основании полученной в ходе исследования математической модели установлено, что на разность входа и выхода пробиваемых отверстий в стали большее влияние оказывает величина тока накачки. Время импульса в выбранном диапазоне не оказывает существенного статистического влияния.

Библиографический список

1. Бойко А. Ф., Воронкова М. Н. Анализ методов получения микроотверстий. Часть 1 // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 9. С. 10–19.
2. Киселев М. Г., Дроздов А. В., Мрочек Ж. А. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов : учеб. пособие. М., 2014. 389 с.
3. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М. : Машиностроение, 1981. 184 с., ил.

Применение многопараметрической интерполяции для определения температуры продуктов сгорания при сжигании твердых видов топлива

В. А. Кузьмин^a, Н. А. Шмакова^b, Л. А. Южакова^c, О. А. Голованов^d

доктор технических наук, профессор кафедры инженерной физики^a

старший преподаватель кафедры систем автоматизации управления^b

студент группы УТб-2301^c

студент группы ИТб-2301^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: vl.kuzmin@mail.ru^a, shmakova.natalya@mail.ru^b, stud124688@vyatsu.ru^c,

stud126196@vyatsu.ru^d

Аннотация. При сжигании твердых видов топлива важным является корректное определение температуры продуктов сгорания. Правильное определение температуры увеличивает срок службы установки, повышает КПД и позволяет уменьшить шлакование топки. Проблема может быть решена изменением конструкции котла, но использование программных методов намного эффективнее и экономически целесообразней. В ходе работы было разработано программное обеспечение, которое позволяет определить излучательную способность продуктов сгорания путем многопараметрического анализа. В статье подробно описывается выбор методов многопараметрической интерполяции данных, а также применение его для реальных данных. В качестве входных данных в программе задаются экспериментальные значения излучающей способности в зависимости от массовой доли CO_2 и толщины излучающего слоя. Программа определяет интерполированное значение излучательной способности и строит график поверхности на исследуемом интервале.

Ключевые слова: интерполяция, многопараметрический анализ, температура, продукты сгорания.

При сжигании твердого топлива важно контролировать температуру продуктов сгорания для уменьшения шлакования топки и повышения КПД. Стремление к повышению КПД при помощи увеличения температуры продуктов сгорания в топке приводит к совершенно обратному эффекту [1]. Лучше всего это наблюдается при сжигании торфа и угля. В работе [2, с. 244] описываются негативные эффекты сжигания топлива при высокой температуре, такие как плавление летучей золы, состоящей из оксидов, которое ведет к снижению КПД котла. В работах [3, 4] авторы предлагают решить проблему изменением конструкции самого котла, но использование программы экономически целесообразней.

Температура зависит от множества параметров. Стоит отметить, что при разной высоте топки температура будет меняться. Поэтому для точного определения значения пирометром необходимо знать излучательную способность ϵ , так как значение излучательной способности выставляется на пирометре. Пи-

рометрический контроль способствует поддержанию оптимальной рабочей температуры.

Излучательная способность тоже зависит от множества факторов, поэтому для нахождения точного значения удобнее использовать многопараметрическую интерполяцию данных.

Методы исследования. Для многопараметрической интерполяции используются следующие методы:

1. Интерполяция ближайших соседей в N измерениях (NearestNDInterpolator) [5].

2. Кусочно-полиномиальная интерполяция VPoly [6].

3. Сплайн-интерполяция по двумерной сетке interp2d (самый простой метод с тремя массивами в качестве входных данных) [6].

4. Двумерное приближение сплайна для прямоугольной сетки RectBivariateSpline (если набор координат (x,y) образует равномерно распределенную сетку, то самым быстрым способом интерполяции значений из массива z является использование объекта `scipy.interpolate.RectBivariateSpline`) [6].

5. Гладкая двумерная сплайновая аппроксимация SmoothBivariateSpline [5].

Для нахождения наилучшего метода интерполяции было проведено сравнение с тестовой функцией (рис. 1), значения которой заранее известны и принимаются в качестве эталонных. Аналитическое выражение функции определяется формулой:

$$z = f_{x,y} = (x+5)^2 + (y+2)^2 - x \cdot y. \quad (1)$$

Для каждого из представленных методов производилась проверка значений интерполированной функции с эталонным значением, вычисленным аналитически. Для большей достоверности были выбраны значения между узлами интерполяции.

Эталонная функция $z = f(x,y)$

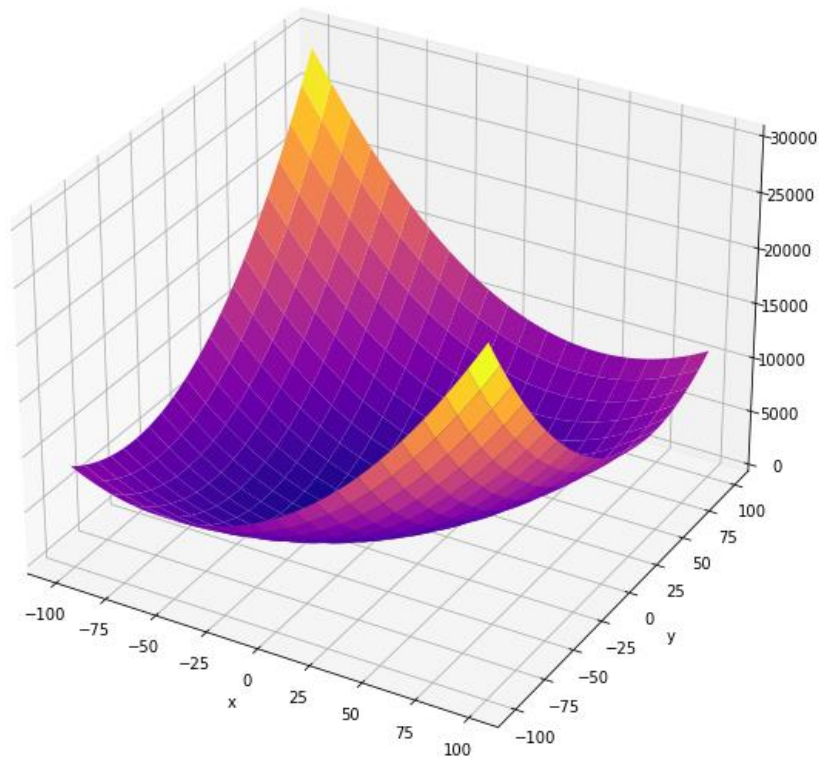


Рис. 1. Функция для сравнения методов с целью выбора наилучшего

Сравнение проводилось по среднеквадратическому отклонению от эталонной функции, вычисляемому по формуле:

$$= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{x,y} (f(x,y) - f_{interp})^2}, \quad (2)$$

где $f(x,y)$ – эталонное значение, а f_{interp} – значение интерполирующей функции.

Результаты сравнения методов по среднеквадратическому отклонению приведены в таблице. Как видно по результатам, все представленные методы получают интерполированное значение с высокой точностью, что позволяет использовать их для поставленной задачи. Для тестовой функции наилучшими являются методы NearestNDInterpolator и RectBivariateSpline, так как их среднеквадратическое отклонение равно нулю.

Методы и их среднеквадратические отклонения

Наименование метода	Среднеквадратическое отклонение
BPoly	$4,795 \cdot 10^{-10}$
NearestNDInterpolator	0
interp2d	$2,921 \cdot 10^{-14}$
RectBivariateSpline	0
SmoothBivariateSpline	$9,256 \cdot 10^{-14}$

Так как все исследованные методы показали хорошие результаты при работе с тестовой функцией, то решено было провести многопараметрическую интерполяцию методами NearestNDInterpolator и SmoothBivariateSpline.

Результаты исследований. В ходе работы была разработана программа, позволяющая определить значение излучающей способности в зависимости от толщины излучающего слоя L и массовой доли CO_2 z . Для разработки программы был выбран язык программирования Python, так как он наиболее точно проводит математические расчеты, а также для него написано большое количество библиотек, в том числе для интерполяции данных.

Исходные данные толщины излучающего слоя L и массовая доля CO_2 z берутся для построения узловых точек и затем производится параметрический анализ.

Программа производит интерполяцию экспериментальных значений [1], которые можно заносить напрямую в программу или импортировать из файла, что позволит использовать программу в системе для расчетов. Излучательная способность ϵ определяется в интервале $0,5-1$ с шагом $\Delta\epsilon = 0,01$. Программа проводит интерполяцию выбранным методом и выводит точное значение излучательной способности по заданным входным параметрам. Программа позволяет выводить графическое представление поверхности по выбранному методу.

В качестве примера приведены графические результаты методов NearestNDInterpolator и SmoothBivariateSpline для реальных экспериментальных данных при сжигании Кузнецкого угля при температуре 1273 K , результаты представлены на рис. 2, 3.

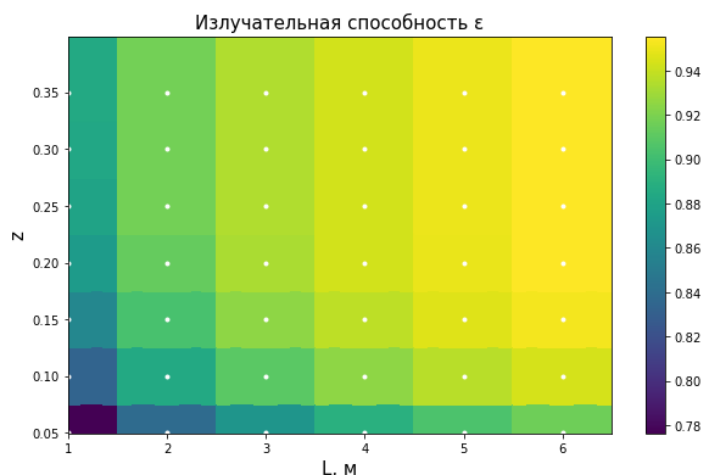


Рис. 2. Графическое представление с использованием NearestNDInterpolator при температуре 1273 K

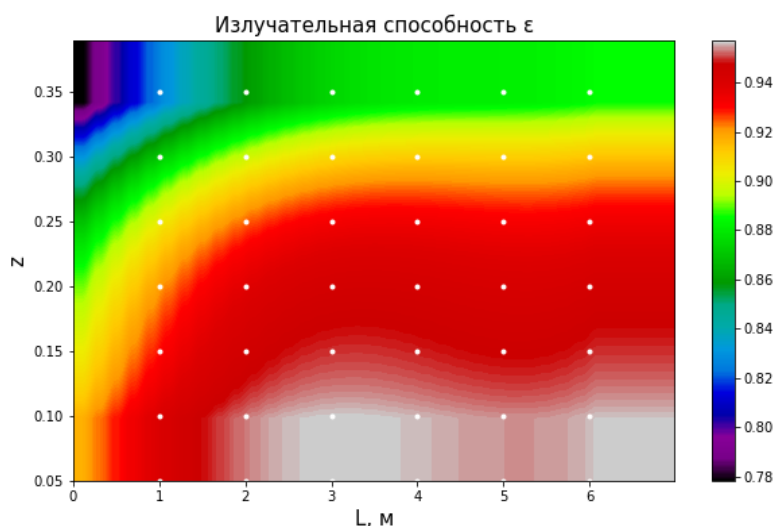


Рис. 2. Графическое представление с использованием SmoothBivariateSpline при температуре 1273 К

Выводы. В работе представлено сравнение методов многомерной интерполяции для эталонной функции. Разработано программное обеспечение, выполняющее многомерную интерполяцию экспериментальных данных выбранным методом. Показано применение программы для определения излучательной способности, выставляемой на пирометрах для точного определения температуры продуктов сгорания при сжигании твердых топлив. Корректное определение излучательной способности и температуры продуктов сгорания позволит уменьшить шлакование топки.

Библиографический список

1. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Десятков И. А. Исследование характеристик излучения и температуры топочных газов парового котла БКЗ-210-140Ф при факельном сжигании фрезерного торфа с подсветкой природным газом // Теплофизика и аэромеханика. 2021. Т. 28. № 2. С. 303–313.
2. Кузьмин В. А., Заграй И. А., Шамова Н. А. Разработка информационной системы определения оптимальных температурных режимов работы котлов при сжигании твердых топлив // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках : сб. тез. М., 2021. С. 244–245.
3. Волков Э. П., Архипов А. М., Прохоров В. Б., Чернов С. Л. Повышение экологической безопасности, надёжности и экономичности пылеугольных котлов // Проблемы региональной энергетики. 2017. 1 (33). С. 45–53.
4. Ткаченко Д. С., Осинцев К. В. Повышение эффективности сжигания экиба-стужского угля на котле П-57 ст.№8 Троицкой ГРЭС путем замены горелочных устройств // Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2018. Т. 6. № 1. С. 194–196.
5. Интерполяция – Руководство по SciPy v1.7.1. URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/interpolate.html> (дата обращения: 28.01.2022).
6. Хилл К. Научное программирование на Python / пер. с англ. А. В. Снастина. М. : ДМК Пресс, 2021. 646 с.: ил. (дата обращения: 28.01.2022).

Образовательный модуль «Технология 3D-проектирования бортовой кабельной сети»

А. П. Леонов^a, Н. А. Карпов^b, Д. Е. Хафизов^c, В. В. Казанцев^d

кандидат технических наук, доцент ИШЭ^a

аспирант группы А8-27^b

магистрант группы 5АМ18^c

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: leonov_ap@tpu.ru^a, nikolats.karpov@yandex.ru^b, vvk@tpu.ru, hde@tpu.ru^c

Аннотация. В разработанном образовательном модуле (ОМ) применены современные методы обучения. Студенты технических специальностей получают практические навыки на реальном программном продукте в контакте с промышленным партнером. Разработанный ОМ «Технология 3D-проектирования бортовой кабельной сети» содержит лекционные и практические занятия, а также виртуальные лабораторные работы. Учебно-методические материалы внедрены в образовательный процесс подготовки магистров.

Ключевые слова: образовательный модуль, бортовая кабельная сеть (БКС), 3D-проектирование, космический аппарат (КА).

Введение. АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» является основным российским разработчиком и производителем космических аппаратов связи, телевидения, ретрансляции, навигации и геодезии. Компания АО «ИСС» осуществляет важнейшие проекты в области космонавтики, включенные в государственные программы. 2/3 спутников России производит ИСС. В настоящий момент времени орбитальная группировка космических аппаратов производства ОАО «ИСС» включает около 100 спутников [1, с. 344]. В последние годы создана и отработана технология 3D-проектирования низкочастотной бортовой кабельной сети для космического аппарата, основанная на сквозном методе, который позволяет связать в единую технологическую цепочку все работы по БКС, начиная от процесса электрического проектирования и заканчивая выпуском готовой продукции. Данная технология позволяет снизить трудоемкость работ, сократить срок от разработки до выпуска готовой продукции с 12 месяцев до 4–6 месяцев, оптимизировать длину и снизить массу БКС [2, с. 118]. Многие годы в рамках научно-технического сотрудничества АО «ИСС» и ТПУ осуществляются научно-исследовательские работы (НИР) и целевая подготовка кадров. В результате этого сотрудничества накоплен богатый научно-практический опыт, который использован для разработки ОМ «Технология 3D-проектирования бортовой кабельной сети».

Методическая часть. Разработанный ОМ применяется при подготовке магистрантов по специальности 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в дисциплине «Современные материалы и технологии в электроэнергетике и электротехнике», а также для программы дополнительных платных образовательных услуг (ДПОУ) повышения квалификации и переподготовки по направлению «Кабельная техника».

Обучение проводится с использованием CAD system CATIA PLM Express V5-6R2014 (рис. 1) и технологии удаленного доступа к информационной базе АО «ИСС».

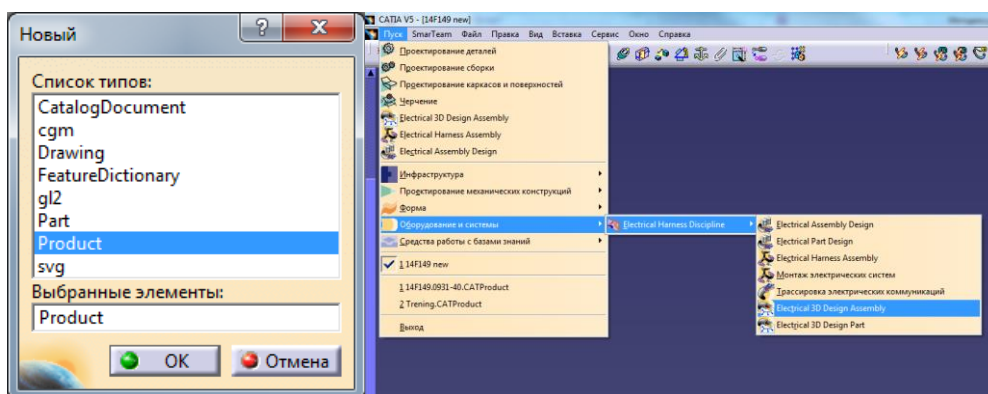


Рис. 1. Интерфейс CATIA V5

ОМ включает в себя лекционные занятия, на которых изучается нормативно-техническая документация, необходимая для разработки БКС, рассматривается назначение и роль БКС в КА, типы проводов, кабелей и электрорадиоизделий (ЭРИ) российского и зарубежного производства и их свойства, этапы и содержание работ по проектированию БКС и САПР CATIA.

Практические занятия проходят в виде проблемных семинаров, на которые студенты готовят доклады с презентациями с их последующим обсуждением в аудитории.

Виртуальные лабораторные работы разработаны на ОА «ИСС». Тематика охватывает практические аспекты проектирования БКС с использованием программных продуктов CATIA PLM Express V5, AutoCad/Nanocad:

- «Определение расположения кабельного жгута в CATIA» (рис. 2): изучаются особенности прокладки кабельного жгута и требования к ней с получением практических навыков создания 3D-моделей элемента БКС на панели КА.

- «Трассировка проводов по жгуту в САТИА» (рис. 3): получение практических навыков работы с модулем Electrical Wire Routing, определение длины и диаметров сегментов кабеля.
- Изучение и формирование конструкторской документации (КД).

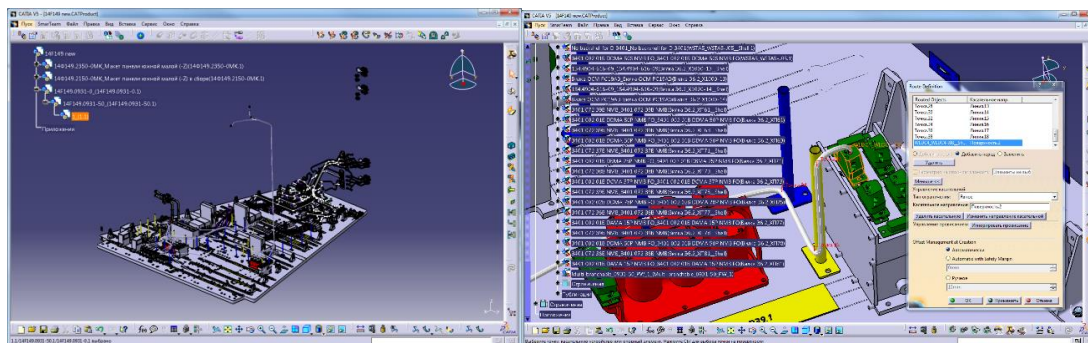


Рис. 2. Прокладка кабеля в САТИА V5

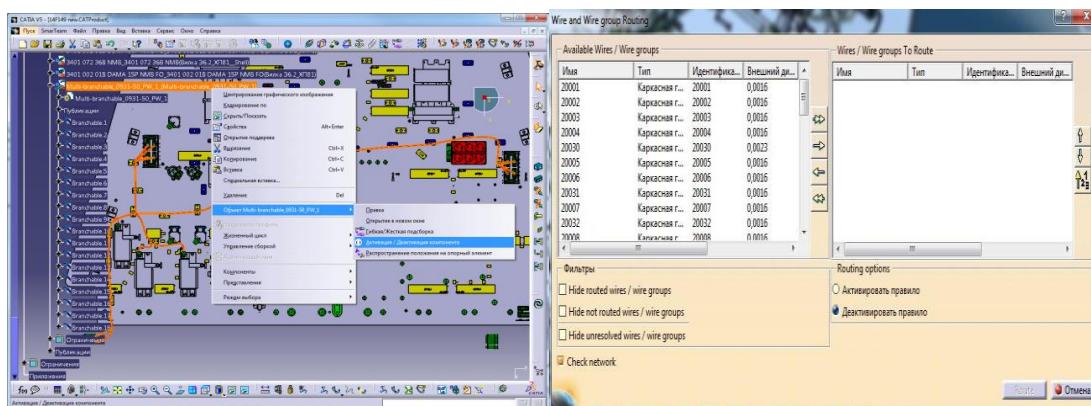


Рис. 3. Трассировка проводов в САТИА

Научно-педагогический задел для разработки данного модуля формировался в течение последних пяти лет в рамках курирования учебно-исследовательских и научно-исследовательских работ студентов Томского политехнического университета.

При реализации данного образовательного модуля используются современные эффективные технологии обучения, такие как проблемные лекции, технология «перевернутого класса», case-технологии.

Разработан фонд оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации.

Реализация разработанных учебно-методических материалов запланирована в учебном плане образовательной программы магистратуры приема 2022.

Библиографический список

1. Казакова Е. Р., Кузьмик Ю. Э. Актуальные возможности сотрудничества АО «ИСС» с иностранными заказчиками // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 2. № 12. С. 344–346.
2. Развитие новых технологий бортовой кабельной сети / С. В. Ефремов, С. Б. Сунцов, В. Н. Школьный, С. Г. Кочура // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2015. № 3. С. 118–120.

Сравнение ошибок расчета измерения дальности до цели по земле в загоризонтной радиолокации при различных методах определения параметров ионосферы

С. В. Литвинов

заведующий лабораторией.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация.

E-mail: litvinov_s@mirea.ru

Аннотация. В статье поднимается вопрос ошибок расчета измерения дальности до цели при загоризонтном обнаружении, вносимых различными методами измерения параметров ионосферы. Рассматривается пример расчета для конкретной трассы Калининград – Москва в конкретное время. Рассчитываются дальности по земле при определении параметров ионосферы по статистической модели по данным вертикального зондирования и по данным наклонного зондирования ионосферы. Делается вывод о необходимости комплексной оценки параметров ионосферы для более точного определения координат цели в загоризонтной радиолокации.

Ключевые слова: загоризонтное обнаружение, ионосфера, распространение радиоволн, геофизические условия, наклонное зондирование.

Введение. Для определения текущих параметров ионосферы в интересах РЛС ЗГО используются следующие основные методы: глобальная модель ионосферы, возвратно-наклонное зондирование средствами самой РЛС, вертикальное зондирование на вынесенных позициях, наклонное зондирование на трассах РЛС-ионозонд и ионозонд-ионозонд. Лучшим вариантом, очевидно, является комплексное использование всех доступных источников. Отдельно каждый из этих способов не обеспечит необходимой точности. Для демонстрации этого проведем расчет определения дальности по земле для известной радиотрассы Москва – Калининград.

Для задач построения ДЧХ существует множество моделей, различающихся используемыми приближениями и исходными данными. Несколько самых часто используемых рассмотрены в работе Ю. К. Свешникова и М. П. Зубкова [1]. При использовании модели плоской Земли и ионосферы ошибка в вычислениях возрастает при значениях минимального расстояния по Земле $D > 1000$ км. Поскольку расстояние между Калининградом и Москвой 1093 км, применение в данном случае для расчетов модели плоской Земли и плоской ионосферы неоправданно. Поэтому для расчетов будем использовать условия сферической Земли и сферической ионосферы с параболическим распределением электронов.

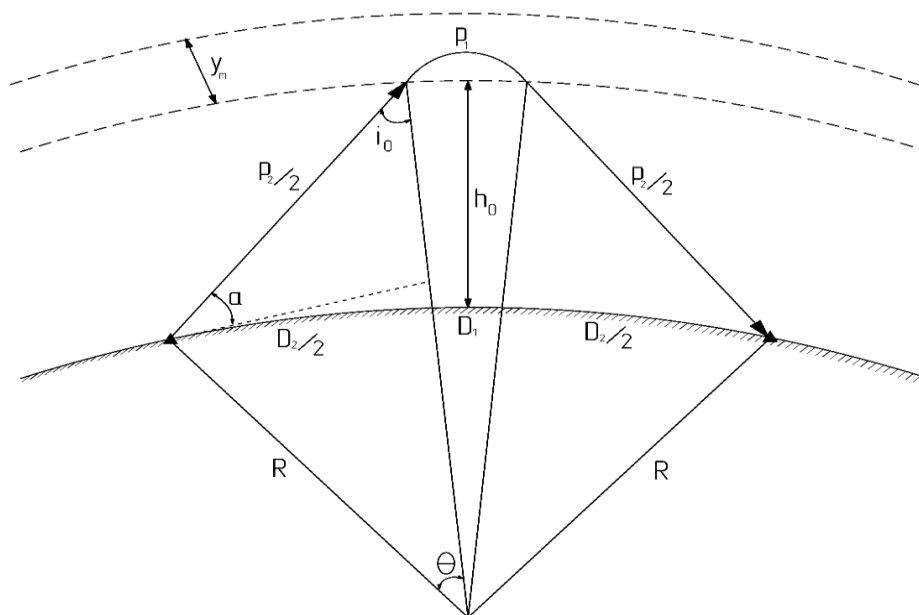


Рис. 1. Геометрические соотношения для модели сферической Земли и параболической ионосферы

Для оценки дальности до цели используем формулу:

$$D=D_1+D_2=RR+h_0 \sin i_0 * p_1 + 2 * R p_2 / 2 - \alpha - i_0, \quad (1)$$

где групповые пути и расстояния по Земле p_1, p_2, D_1 и D_2 ясны из рис. 1,

$i_0 = \arcsin \frac{R}{R+h_0} \cos \alpha$ – угол падения на ионосферу,

$\alpha = \arccos \frac{R}{R+h_0} \sin i_0$ – угол подъема луча,

R – радиус Земли ($R = 6700$ км),

$x = \frac{f}{f_{кр}}$, $f_{кр}$ – критическая частота, f – рабочая частота 10,5 МГц,

h_0 – высота нижней границы слоя,

h_m – высота максимума ионизации,

$y_m = h_m - h_0$ – полутолщина слоя.

Модель IRI

Для расчета погрешностей определения дальности до цели при оценке параметров ионосферы с помощью статистической модели подставим в формулу 1 значения, полученные при моделировании.

Для определения параметров воспользуемся программой «Расчет параметров ионосферы по IRI-2016», разработка М. В. Ладанова (Радан-М) [2]. В программе зададим координаты области отражения и интересующую нас дату (7.11.2017) и рассчитаем параметры с заданными характеристиками. Окно программы с рассчитанными параметрами представлено на рис. 2.

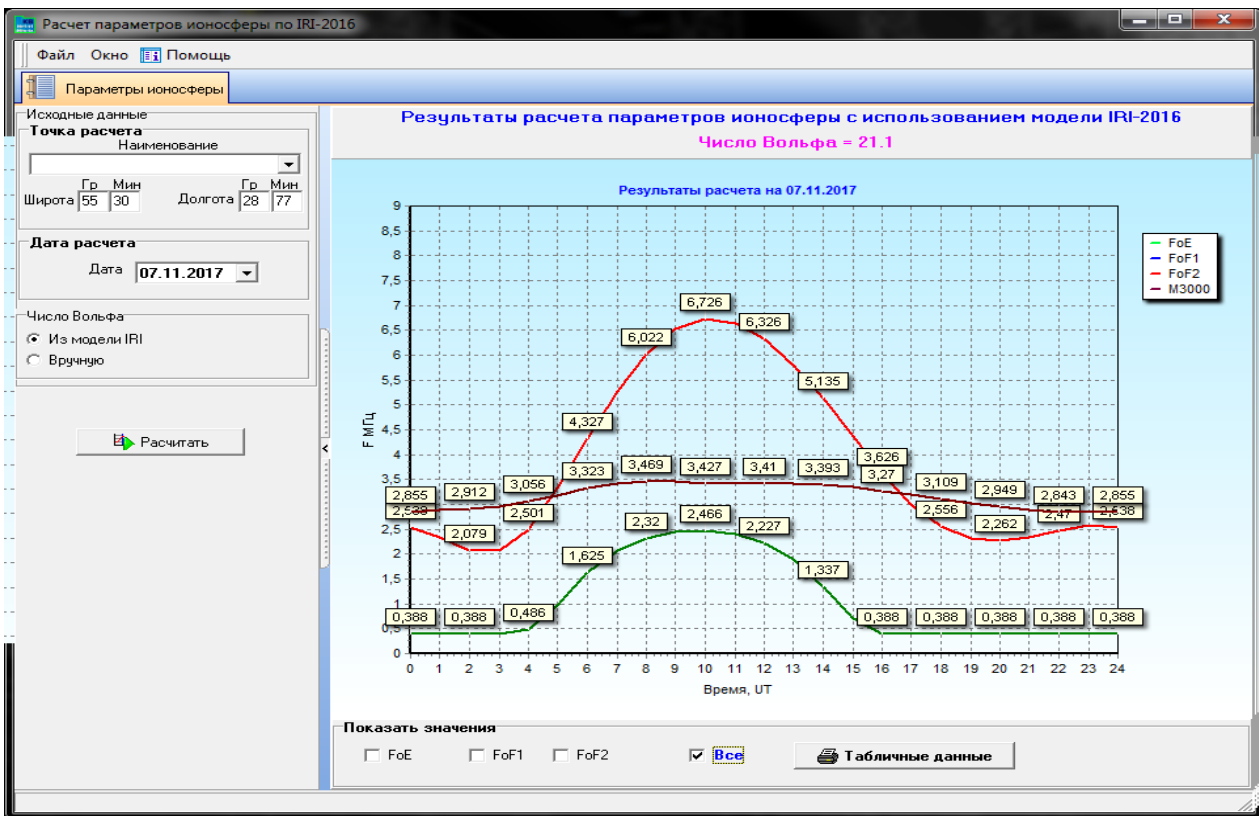


Рис. 2. Суточный ход ионосферы 7.11.2017, полученный в результате расчета программы «Расчет параметров ионосферы по IRI-2016»

В программе присутствует возможность вывести полученные данные в табличном виде для более удобной работы [3]. Вид табличных данных, выводимых программой, представлен на рис. 3.

Тогда подставляем в формулу известные значения:

$$u_m = V_0 = 83,8 \text{ км},$$

$$h_0 = V_0 * 2,5 = 83,8 * 2,5 = 209,5 \text{ км},$$

$$x = f_{кр} = 10,5 \text{ МГц} \quad 6,521 \text{ МГц} = 1,61,$$

$$D = RR + h_0 \sin i_0 * p_1 + 2 * R_2 - i_0 = 1062.851 \text{ км}.$$

Таким образом, рассчитанная дальность до цели при определении параметров ионосферы с помощью статистической модели IRI-2016 составила 1062.851 км.

**Результаты расчета параметров ионосферы
с использованием международной справочной модели ионосферы IRI-22002016**

Расчетная дата 07.11.2017

Местоположение расчетной точки

Широта 55 гр 55 мин Долгота 28 гр 77 мин

Результаты расчета

Солнечный зенитный угол/градус	133.5
Dip (Магнитное наклонение)/градус	70.4
Modip (Модифицированное магнитное наклонение)/градус	58.5
Число Вольфа	21.1

Время, UT	Критические частоты, МГц			V ₀	M3000
	FoE	FoF1	FoF2		
0	0,388		2,538	74.6	2,8548
1	0,388		2,328	73.7	2,8804
2	0,388		2,079	73.3	2,9119
3	0,388		2,070	72.8	2,9642
4	0,486		2,501	71.3	3,0556
5	0,967		3,330	69.2	3,1851
6	1,625		4,327	68.9	3,3230
7	2,073		5,268	72.2	3,4265
8	2,320		6,022	78.1	3,4688
9	2,441		6,521	83.8	3,4578
10	2,466		6,726	87.1	3,4270
11	2,399		6,646	86.7	3,4086
12	2,227		6,326	83.2	3,4099
13	1,901		5,809	78.2	3,4126
14	1,337		5,135	74.3	3,3932
15	0,704		4,372	73.7	3,3427
16	0,388		3,626	76.7	3,2700
17	0,388		2,998	81.0	3,1898
18	0,388		2,556	83.2	3,1092
19	0,388		2,318	82.7	3,0281
20	0,388		2,262	81.0	2,9485
21	0,388		2,335	79.2	2,8819
22	0,388		2,470	77.6	2,8432
23	0,388		2,573	76.0	2,8375
24	0,388		2,538	74.6	2,8548

Рис. 3. Табличный вид изменения параметров ионосферы 7.11.2017, полученный в результате расчета программы «Расчет параметров ионосферы по IRI-2016»

Вертикальное зондирование. Для расчета погрешностей определения дальности до цели при оценке параметров ионосферы с помощью вертикального зондирования подставим в формулу 1 значения, полученные при реальном зондировании ионосферы. Поскольку в точке отражения радиосигнала ионозонд от-

сутствует, возьмем данные вертикального зондирования ионозондов Парус-А, расположенных в г. Троицке и в г. Калининграде. Использование этих данных оправданно, поскольку считается, что ионосфера относительно неизменная на расстояниях примерно 1000 км вдоль круга широты и 500 км – вдоль меридиана. Ионограммы с расшифровкой параметров представлены на рис. 4 [4].

В представленных данных указаны интересующие нас величины, а именно критическая частота, высота нижней границы отражающего слоя и полутолщина ионосферы.

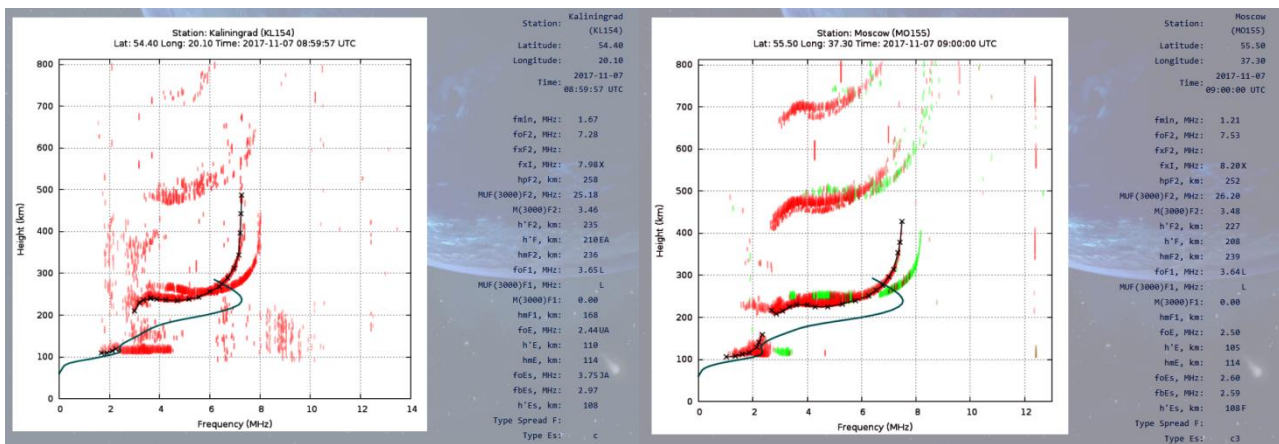


Рис. 4. Ионограмма вертикального зондирования ионосферы в г. Калининграде 07.11.2017 в 9.00 UT (слева) и в г. Москве 07.11.2017 в 9.00 UT (справа)

Подставим полученные данные (из рис. 4) в формулу:

Высота нижней границы отражающего слоя $h_0=208$ км.

Высота максимума ионизации $h_1=239$ км.

Полутолщина отражающего слоя $u_m=h_1-h_0=31$ км.

$f_{кр}=7,53$ МГц

$x=ff_{кр}=10,5$ МГц $7,53$ МГц $=1,394$,

$D=RR+h_0 \sin i_0 * p_1 + 2 * R_2 - i_0 = 1096.67$ км.

Таким образом, рассчитанная дальность до цели при определении параметров ионосферы с помощью вертикального зондирования составила 1096.67 км.

Наклонное зондирование. Для расчета погрешностей определения дальности до цели при оценке параметров ионосферы с помощью наклонного зондирования подставим в формулу (1) значения, полученные при реальном эксперименте по наклонному зондированию ионосферы. В ходе проведения экспе-

римента получены данные НЗ на трассе Москва – Калининград. Результаты представлены в виде ионограмм комплексного зондирования (рис. 6), из которых получаем интересующие параметры ионосферы [5].

Учитывая угол отражения от ионосферы $\varphi = 66,5^\circ$ (из расчета вертикального зондирования) и расстояние до точки отражения по лучу (600 км), получаем высоту нижней границы отражающего слоя:

$$h_0 = h_n \cdot \cos \varphi = 239 \text{ км},$$

где $h_n = 600$ км - высота наклонного зондирования (из рис. 5 слева).

Полутолщина отражающего слоя $u_m = h_0 \cdot 2,5 = 95,7$ км.

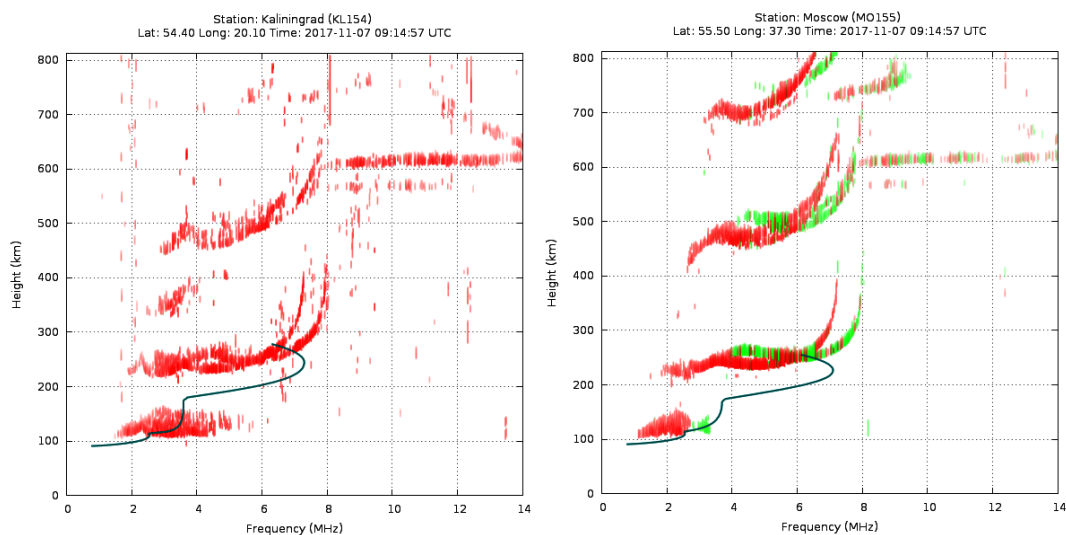


Рис. 5. НЗ на трассе Калининград – Москва 17.11.2017 в 09.15 UT

Рабочая частота $f = 10,5$ МГц.

Критическая частота НЗ $f_n = 15$ МГц.

Критическая частота $f_k = f_n \cdot \cos^2 \varphi = 5,96$,

где $k = 1,003$ – коэффициент Смита, учитывающий сферичность Земли.

$$x = f \cdot k \cdot p = 10,5 \text{ МГц} \cdot 6,96 \text{ МГц} = 1,761.$$

Подставим рассчитанные данные в формулу:

$$D = \sqrt{R^2 + h_0^2 \sin^2 \varphi + 2 \cdot R \cdot h_0 \sin^2 \varphi} = 1100,472.$$

Таким образом, рассчитанная дальность до цели при определении параметров ионосферы с помощью наклонного зондирования составила 1100,472 км.

Результаты расчета. Исходя из рассчитанных данных о дальности, полученных по трем методам оценки состояния и параметров ионосферы, можно

дать оценку погрешности каждому методу. Зная реальное расстояние от Москвы до Калининграда, которое составляет 1093 км, простой арифметикой получим ошибку, взяв разность реальной величины с величиной, получившейся в ходе подстановки в формулу параметров по каждому методу.

Так, для метода определения параметров по модели IRI-2016 рассчитанная дальность получилась 1062.85 км, соответственно, ошибка будет равна:

$$1093 - 1062.85 = 30,15 \text{ км.}$$

Для наклонного зондирования рассчитанная дальность равна 1100,47 км, следовательно, ошибка равна:

$$1093 - 1100,47 = 7,47 \text{ км.}$$

А для вертикального зондирования ошибка составила:

$$|1093 - 1096.67| = 3,67 \text{ км.}$$

Ошибка в ходе получения параметров ионосферы из вертикального зондирования имеет наименьшее отклонение от реального расстояния между этими двумя городами, а наибольшую ошибку параметров об ионосфере в реальном времени дает оценка по статистической модели [6].

Приведенные выше расчеты подтверждаются и построением зависимости дальности по земле для разных случаев от рабочей частоты. Зависимость строилась по вышеприведенным формулам и данным (рис. 6). Видно, что у вертикального зондирования наибольший период доверия, значительно меньше при наклонном зондировании и лишь приблизительно при статистическом моделировании.

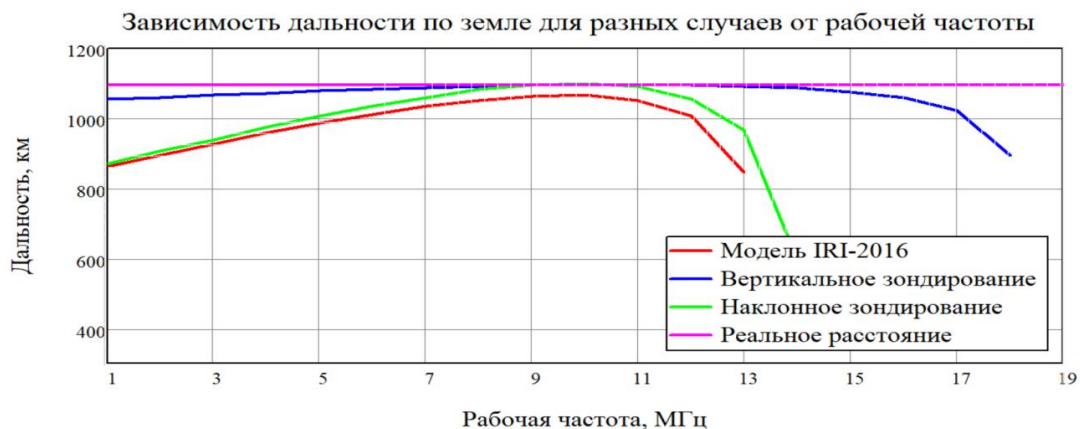


Рис. 6. Зависимость дальности по земле для разных случаев от рабочей частоты

Выводы. При расчете использовалась модель сферической Земли и параболическая модель ионосферы как самая достоверная. Расчеты показали, что метод определения параметров ионосферы по статистической модели в большинстве случаев дает наибольшую ошибку, лишь в некоторых случаях приближаясь к реальной дальности. Абсолютное отклонение в таких случаях достигало приемлемых величин в единицы километров, однако в остальном отклонения достигали десятков километров. В то же время метод наклонного зондирования несколько точнее, показывая отклонения, не превышающие 10–20 километров, лишь в единичных случаях достигая больших величин. Самую точную оценку параметров ионосферы показывает метод вертикального зондирования, который в большинстве случаев дает меньшие отклонения, чем другие методы. Таким образом, комплексное использование методов даст наиболее высокую точность.

Библиографический список

1. Сравнение моделей построения дистанционно-частотных характеристик по результатам вертикального и возвратно-наклонного зондирования ионосферы земли / Ю. К. Свешников, М. П. Зубков // *Техника радиосвязи*. 2012. № 17. С. 18–26.
2. Прогнозирование распространения радиоволн КВ-диапазона / С. В. Кизима, М. В. Ладанов // *Радиочастотный спектр*. 2012. № 2. С. 32–35.
3. Применение ионозондов как средство улучшения точностных характеристик ЗГ РЛС / В. А. Атряхин, С. В. Литвинов, Д. С. Мудрик, А. В. Ребриков // XV Молодежная научно-техническая конференция «Радиолокация и связь – перспективные технологии» (Москва, 7 декабря 2017 г.) : материалы конф. М. : Мир науки, 2017. С. 49–58.
4. Применение наклонного зондирования ионосферы для увеличения точностных характеристик ЗГ РЛС / Ю. М. Власов, И. А. Глинкин, С. В. Литвинов // *Вопросы радиоэлектроники*. 2018. № 3. С. 11–18.
5. Развитие исследования ионосферы Земли методом комплексного зондирования / С. В. Литвинов // XVII Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Радиолокация и связь – перспективные технологии» (Москва, 5 декабря 2019 г.) : материалы конф. М. : Мир науки, 2019. С. 34–39.
6. Система подстройки к геофизическим условиям радиолокационной станции загоризонтного обнаружения / С. В. Литвинов // *Общество. Наука. Инновации (НПК-2021)* : сб. ст. XXI Всерос. науч.-практ. конф., Киров, 12–30 апреля 2021 года. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 496–503.

Проведение испытаний компаунда «Виксинт-ПК68» на электрическую прочность

Е. А. Маринин^a, Е. А. Буркова^b, Л. А. Лысова^c, В. Л. Касьянов^d

кандидат технических наук, доцент кафедры ИТМ^a

студент группы МСМ-1801^{b, c, d}

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: usr06818@vyatsu.ru^a, stud142551@vyatsu.ru^b, stud145112@vyatsu.ru^c, stud142555@vyatsu.ru^d

Аннотация. В настоящее время важным моментом в машиностроительной отрасли является обеспечение стабильной работы электронных блоков, используемых в военной продукции в условиях агрессивной среды (повышенная влажность, повышенная тепло- и холодоустойчивость). В процессе серийного производства изделий военного назначения были зафиксированы выходы из строя высоковольтных блоков из-за разрушения электро-радиоэлементов (транзисторов, резисторов, и т. д.). К разрушению приводила совокупность различных факторов, в частности их нагрев в процессе работы, разрушение контактов вследствие коррозии, а также пробой между дорожек на печатных проводниках. В рамках анализа отказов были проработаны всевозможные методы защиты, предотвращающие данные проблемы. С целью увеличения теплопроводности, защиты от коррозии и электрической прочности в указанных блоках предлагается использовать компаунд «Виксинт-ПК68» вместо разработанных более 20 лет назад кремнийорганических компаундов типа КЛТ-30, эластосил 11-10, ГТ-О и т. д., которые хоть и обладают достаточно высоким диапазоном рабочих температур и высокими электроизоляционными свойствами, но при отверждении этих материалов выделяются коррозионно-активные продукты, а это, в свою очередь, может приводить к возникновению токов утечки, снижению рабочих характеристик приборов и к коррозии их металлических конструкций.

Ключевые слова: компаунд «Виксинт-ПК68», электрическая прочность, теплопроводность, коррозионная стойкость.

Введение. Компаунд «Виксинт ПК-68» представляет собой композицию вязкотекучей консистенции, состоящую из низкомолекулярного каучука СКТН (ТУ 2294-002-00152000-96) и катализатора № 68. Компаунд предназначен для герметизации и электроизоляции приборных устройств и радиотехнической техники, особенно содержащих тепловыделяющие элементы, длительно работающих в среде воздуха и в условиях повышенной влажности в интервале температур от минус 60 до плюс 300 °С. Прозрачность компаунда допускает легко производить дефектацию и ремонт блоков и схем, покрытых компаундом.

Компаунд «Виксинт ПК-68» не вызывает коррозии при температурах прогрева до 200 °С алюминиевых сплавов, латуни и серебряных покрытий, при температурах прогрева до 150 °С меди и оловянных покрытий ввиду низкого водопоглощения (не более 0,5%), а также низкого содержания ионных примесей натрия, калия и хлора.

Компаунд «Виксинт ПК-68» в зависимости от вязкости полимера выпускается трех марок:

марка А – на каучуке с вязкостью по ВЗ-I от 90 до 150 сек;

марка Б – на каучуке с вязкостью по ВЗ-I от 151 до 240 сек;

марка В – на каучуке с вязкостью по ВЗ-I от 241 до 600 сек.

Заливка сборок на производстве производится по рецептуре, указанной в ТУ: смешиваются два компонента в течение 3–5 минут («Виксинт ПК-68» каучук синтетический термостойкий низкомолекулярный СКТН марки А – 100 в.ч. катализатор № 68 3–7 в.ч.) затем в течение 1–2 минут вакуумируют при остаточном давлении от 28 до 6 (кПа) при температуре 15–35 °С для удаления пузырьков воздуха, образовавшихся при смешивании, заливка сборок осуществляется в металлические формы, смазанные составом (пчелиный воск 20%, нефрас 80%), для того чтобы залитая сборка не прилипла к форме, и сушат либо в нормальных климатических условиях 72 часа, либо в печи при температуре 60 °С в течение 5 часов.

Компаунд в вулканизированном состоянии должен соответствовать требованиям:

Условная прочность при растяжении не менее 0,25 МПа.

Относительное удлинение в момент разрыва, %, не менее 70.

Диэлектрическая проницаемость при частоте 106 Гц, не более 3,0.

Электрическая прочность при температуре (20+5) °С и относительной влажности воздуха (65+5) %, к В/мм не менее 15.

Методы исследования. Были проверены залитые образцы компаунда «Виксинт-ПК68» на электрическую прочность в зависимости от пропорции катализатора на 100 весовых частей (100/3, 100/5, 100/7), а также проведены испытания на электрическую прочность в зависимости от толщины образца.

Для проверки применялись электроды из меди диаметром 25 мм. Проверка выполнялась на испытательной установке типа АИМ-90, на которой обеспечивалась плавная подача переменного напряжения синусоидальной формы частотой 50 Гц с фиксацией величины пробивного напряжения в среде трансфор-

маторного масла. Установка обеспечивала подъем напряжения на электродах с помощью регулятора напряжения. В момент пробоя фиксировалось значение пробивного напряжения по прибору установки. Норма среднего значения прочности образца должна быть не менее 15 кВ/мм.

Для проверки изготавливались диски диаметром 100 мм в приспособлении, обеспечивающем параллельность поверхностей. Образцы не имели видимых пузырьков воздуха, трещин сколов, загрязнений. Поверхность была гладкой, без выбоин и царапин. Перед проверкой образцы были выдержаны при температуре 15–35 °С и относительной влажности воздуха 45–75% в течение 75 часов. Каучук и катализатор смешивали в определённой пропорции по пункту ТУ: 3–7 весовых частей катализатора на 100 частей каучука тщательно перемешивали шпателем в таре в течение 2–3 минут до получения однородной массы, затем массу выливали на гладкую пластину слоем 2 мм. Время, в течение которого терялась жизнеспособность компаунда, определяли следующим образом: компаунд по всей толщине слоя сдвигали металлическим шпателем и замечали при сдвиге образование резиноподобной плёнки на поверхности образца. После того как образцы были готовы, провели проверку электрической прочности и зафиксировали значение пробивного напряжения.

Жизнеспособность компаунда «Виксинт ПК-68» – 0,5–6,0 часов.

В следующем эксперименте образцы заливались толщиной 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм и также фиксировалось значение пробивного напряжения.

Результаты исследований, их обсуждение. По результатам эксперимента на электрическую прочность в зависимости от пропорции катализатора 100/3 100/5 100/7 (на 100 частей каучука – части катализатора) и толщины дисков 1,5 2 2,5 мм – значения пробивного напряжения (кВ) – имеем значения:

Результаты измерения

	1,5 мм	2 мм	2,5 мм
100/3	30; 29; 31	35; 35; 34	40; 41; 39
100/5	34; 33; 33	37; 36; 37	43; 42; 43
100/7	37; 37; 37	42; 42; 43	48; 48; 47



Заливка образцов на пробой

вакуумизация

сушка в печи

готовая сборка



Заливка образцов на пробой

вакуумизация

сушка в печи

готовая сборка

Рис. 1. Заливка образцов на пробой и вакуумизация



Заливка образцов на пробой

вакуумизация

сушка в печи

готовая сборка



Заливка образцов на пробой

вакуумизация

сушка в печи

готовая сборка

Рис. 2. Сушка в печи и готовая сборка

В рамках данного эксперимента была получена модель, которая позволяет оценить зависимость пробивного напряжения от толщины испытываемых образцов и от пропорции катализатора на 100 весовых частей (100/3, 100/5, 100/7).

Вывод. Применение компаунда «Виксинт ПК-68» вместо кремнийорганических компаундов типа КЛТ-30, эластосил 11-10, ГТ-О позволило обеспечить стабильную работу электронных блоков за счёт способности изделий выдерживать более высокие пробивные напряжения как в исходном состоянии, так и при воздействии высоких/низких температур и влажности, а также исключить разрушение ЭРЭ за счёт высокой теплопроводности выбранного компаунда и слабого коррозионного действия по отношению к меди, алюминию и серебру.

Библиографический список

1. Андрианов К. А. Кремнийорганические соединения. М., 1955. 505 с.
2. Эрлих И. М. Кремнийорганические компаунды для герметизации РЭА : материалы экспресс-семинара, 15 мая Ленингр. Дом. науч.-техн. пропаганды. Л. : ЛДНТП, 1991.
3. Кремнийорганические компаунды ускоренной вулканизации СИЭЛ = High-speed vulcanization organosilicon compounds СИЭЛ : каталог / Гос. НИИ химии и технологии элементоорган. соединений (ГНИИХТЭОС), Черкас. фил. НИИ техн.-экон. исслед.
3. ТУ 38.103508-81 Компаунды кремнийорганические типа «Виксинт» Срок действия с 01.01.1982 г., без ограничения срока действия. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293733/4293733427.pdf> (дата обращения: 03.01.2022 г.)
4. Краев И. Д., Попков О. В., Шульдешов Е. М. и др. Перспективы использования кремнийорганических при создании современных материалов и покрытий различных назначений // Электронный научный журнал «ТРУДЫ ВИАМ». 2017. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1188 (дата обращения: 05.01.2022).
6. Высокочистые кремнийорганические залиvoчные компаунды предназначенные для применения в микроэлектронике / О. В. Неёлова. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokochistye-kremniyorganicheskie-zalivochnye-kompaundy-prednaznachennye-dlya-primeneniya-v-mikroelektronike/viewer>.
7. Патент №2499313 – Гидрофобный кремнийорганический компаунд для электроизоляционных конструкций, патентообладатель Таран Владимир Николаевич, 2013 г. МПК H01B 17/00.

Сравнение типов систем накопления электрической энергии для улучшения показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения

В. С. Мелехина^a, А. Н. Воронин^b, А. Н. Ожегов^c

студент группы ЭиЭм-2801-01-20^a

студент группы ЭиЭм-2801-01-00^b

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: stud128784@vyatsu.ru^a, stud123951@vyatsu.ru^b, ojegov@vyatsu.ru^c

Аннотация. В статье рассматривается применение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) для повышения надежности систем электроснабжения и улучшения показателей качества электроэнергии (ПКЭ), таких как отклонение частоты, провалы и колебания напряжения. Незначительное количество внедрений в России СНЭЭ объясняется как высокой стоимостью, так и отсутствием рекомендаций по выбору их типа, поэтому данное исследование является актуальным. Целью статьи является сравнение типов СНЭЭ для улучшения качества электроэнергии, а именно провалы и колебания напряжения, отклонения частоты и повышения надежности. В качестве ведущего подхода использованы такие методы, как сравнение и анализ. В статье проанализировано влияние перечисленных ПКЭ на различные электроприемники и работу автоматики. Произведено сравнение различных видов накопителей электроэнергии, описаны их конструктивные особенности и принцип действия, а также выделены достоинства и недостатки. По результатам исследования предложено решение по выбору накопителя энергии для решаемой проблемы с опорой на особенности их применения. Сделан вывод о применении конкретных видов накопителей электроэнергии для улучшения ПКЭ и повышения надежности. Результаты данного исследования можно применить как в системах электроснабжения предприятий, городов, так и в сетях энергосистем.

Ключевые слова: накопители, аккумуляторная батарея, маховик, суперконденсатор.

Введение. На данный момент активно исследуются вопросы внедрения систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в систему электроснабжения [1–9].

В системе электроснабжения СЭС значительное место отводится распределённой генерации (РГ) электроэнергии, которая в ближайшие годы, в соответствии с прогнозами, будет только расти в связи с увеличением потребляемой мощности [2]. Увеличение мощности потребителей и подключение новых потребителей часто приводит к ухудшению показателей качества электроэнергии, таких как отклонение частоты, колебания и провалы напряжения; кроме того, увеличивается неравномерность графиков электрических нагрузок, а также снижается надёжность систем электроснабжения [1].

Решение вышеперечисленных проблем может быть осуществлено при помощи не только традиционных способов, но и современных методов –

СНЭЭ, что, в свою очередь, повышает надежность электроснабжения, качество электроэнергии и позволяет сократить ущербы от различного рода аварий и, как следствие, перерывов в подаче электроэнергии [3].

Работа СНЭЭ заключается в накоплении электроэнергии в часы избытка мощности в системе электроснабжения и отдачи в часы дефицита.

Хотя применение СНЭЭ в данном случае обоснованно, практика показывает, что использование данных установок на территории России не значительно [9]. Наряду с их высокой стоимостью одной из причин столь низкого применения данных установок является отсутствие методик и рекомендаций по выбору накопителей, поэтому в данной статье проводится сравнение типов СНЭЭ для улучшения качества электроэнергии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать влияние отклонения частоты, провалов и колебаний напряжения на работу различных электроприемников.

2. Провести анализ и сравнение видов СНЭЭ. Описать принцип их действия и применение, конструктивные особенности, привести достоинства и недостатки в сравнении друг с другом.

3. Определить типы накопителей, применение которых будет наиболее эффективно для поддержания частоты в энергосистемах, уменьшения провалов и колебаний напряжения, увеличения уровня надежности системы электроснабжения.

Ведущий метод для теоретического исследования заключается в сравнении систем накопления электрической энергии по их конструктивным особенностям, принципу работы, достоинствам и недостаткам.

Результаты исследований, их обсуждение. Покажем, как отклонение ПКЭ влияет на работу различных электроприемников.

Отклонение частоты регламентируется ГОСТ 32144-2013 и возникает при дефиците или избытке мощности генератора.

Провал напряжения – это внезапное понижение напряжения в СЭС с последующим восстановлением до номинального значения [1]. Данный показа-

тель качества электроэнергии может привести к некорректной работе автоматики, что часто ведет к нарушению или разрушению технологического процесса.

Причиной повреждения оборудования может быть выброс напряжения (колебания) – единичное быстрое увеличение напряжения с последующим восстановлением. Причинами могут быть процессы коммутации, повреждения электросетей, а также резкое изменение нагрузки.

Наряду с улучшением ПКЭ применение СНЭЭ позволяет повысить уровень надежности электроснабжения, поскольку они выступают дополнительным независимым источником питания.

Рассмотрим основные виды СНЭЭ.

1. Маховиковые СНЭЭ – накопитель, в котором энергия накапливается в виде кинетической энергии вращающегося маховика. Достоинства таких СНЭЭ: высокий КПД (90–95%), большой срок эксплуатации, а также высокая надежность и эффективность. Недостатком являются высокие постоянные потери [5].

2. Суперконденсаторы – это электрохимические устройства, функционирующие на постоянном напряжении. Запасание энергии в этот вид НЭ не требует химических реакций, данная особенность обеспечивает цикл «заряд-разряд» достаточно быстрым, при этом также повышается надёжность. Значительным отличием от других видов НЭ является: вибрационная и ударная стойкость, устойчивость к климатическим условиям и возможность работать при температурах от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$, высокий КПД – около 95%. Недостатками суперконденсаторов остаются низкая плотность энергии и высокая стоимость [7].

3. Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии (СПИНЭ) без потерь запасают электроэнергию и отдают с довольно большой скоростью. Количество циклов «заряд-разряд» может быть не ограничено, при этом реализуют самый технически сложный способ хранения энергии. СПИНЭ состоят из криогенной системы для охлаждения катушки. Принцип работы заключается в хранении энергии в магнитном поле и возвращении переменного тока в сеть с нужной частотой. К преимуществам СПИНЭ можно отнести: неограниченное время хранения энергии, высокую плотность запасаемой энергии, высокий КПД. Ключевым недостатком данного вида СНЭЭ является очень высокая стоимость [7].

4. Аккумуляторная батарея (АБ) – это тип электрической батареи, который может заряжаться и разряжаться в нагрузку. Принцип работы аккумуляторной батареи заключается в накоплении химической энергии и преобразовании ее в электрическую. Преимуществами таких батарей являются: низкая стоимость, высокая энергоемкость, быстрый ввод в работу, высокая надежность. К недостаткам можно отнести небольшое количество циклов «заряд-разряд» и время хранения энергии, низкий КПД (65–70%) [4].

Краткий обзор способов запасания энергии представлен в таблице.

Сравнение характеристик различных способов запасания энергии

Параметры	Аккумуляторная батарея	Суперконденсатор	Индуктивный накопитель	Маховиковые
Энергоемкость, Вт·ч/кг	150	15	200	300
Количество циклов	10^3	10^6	10^6	10^5
Жизненный цикл, лет	3–5	10	10	20+
Время заряда	ч	сек	мин	мин
Выходная мощность	средняя	высокая	высокая	высокая
Стоимость	низкая	высокая	очень высокая	высокая

Рассмотрев конструктивные особенности, достоинства и недостатки накопителей электроэнергии, можно сделать вывод о том, что применение каждого вида позволит выявить их на соответствие решаемых задач.

Маховики являются оптимальным вариантом для внедрения их в ВИЭ, а именно в солнечные электростанции и ветрогенераторы. В связи с высокой эффективностью и большим жизненным циклом могут повышать надежность ВИЭ [5].

Суперконденсаторы из-за высокой скорости заряда-разряда и высокого КПД разумно применять для поддержания частоты в энергосистемах, а также для устранения провалов напряжения.

СПИНЭ из-за наличия криогенной камеры и, следовательно, высокой стоимости не так популярны, как другие виды накопители электрической энергии.

Ввиду быстродействия АБ целесообразно применять для бесперебойного питания потребителей I категории и их особой группы.

Выводы:

1. Проанализировано влияние отклонения частоты, провалов и колебаний напряжения на работу различных электроприемников и автоматики.
2. Анализ и сравнение видов СНЭЭ показали, что они значительно различаются по конструкции, имеют различные достоинства и недостатки, поэтому каждый СНЭЭ имеет свою «нишу» для эффективного применения.
3. Установлено, что маховиковые СНЭЭ эффективно применять совместно с возобновляемыми источниками энергии, для поддержания частоты и устранения провалов напряжения – суперконденсаторы, а для повышения надежности систем электроснабжения рекомендуется применять АБ.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 16 с.
2. Ерцкина Д. А., Суслов Д. Н. К вопросу об интеллектуальных электрических сетях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. № 3. С. 36–38.
3. Куликов А. Л., Осокин В.Л., Папков Б. В. Проблемы и особенности распределённой электроэнергетики // Вестник НГИЭИ. 2018. № 11. С. 123–136.
4. Савина Н. В., Лисогурская Л. Н., Лисогурский И. А. Накопители электрической энергии как средство повышения надежности и экономичности функционирования электрической сети // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 2 (92). С. 63–70.
5. Соколов М. А., Томасов В. С. Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 4. С. 7–9.
6. Сокольников Т. В., Суслов К. В., Ломбарди П. Определение оптимальных параметров накопителя для интеграции возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах с активными потребителями // Вестник ИрГТУ. 2015. № 10. С. 206–211.
7. Сошинов А. Г., Угаров Г. Г. Накопители энергии в электроэнергетических системах : учеб. пособие / ВолгГТУ. Волгоград, 2007. 106 с.
8. Суслов К. В. Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения : дис. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 2018. 295 с.
9. Экспертно-аналитический доклад «Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития» фонда «Центр стратегических разработок». URL: https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/09/Condenses_System_Markets_Web-Fin.pdf (дата обращения: 10.12.2019).

Использование МГД-генератора в схеме с реактором БН со свинцовым теплоносителем для получения водорода

А. И. Минибаев^а, Е. С. Майоров^б

старший преподаватель кафедры АТЭС^а

студент группы Т-2-20^б

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: minibaev-a@list.ru^а, timetolegend@gmail.com^б

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность внедрения МГД-генератора в работу АЭС в целях повышения энергоэффективности предприятия и выработки водорода для последующего использования. В работе используются теоретические методы исследования, на основе которых сделан вывод о целесообразности внедрения установки, основными критериями которой выступают поучаемая мощность, объем получаемого водорода и экономическая выгода. Делая вывод, беря за основу поученные результаты, можно сказать, что внедрение установки имеет как энергетическую, так и экономическую целесообразность. Данные, полученные в данной работе, будут подспорьем в практической области применения МГД-генератора.

Ключевые слова: МГД-генератор, атомные электростанции (АЭС), водород.

Одной из основных задач энергетики на сегодняшний день является нахождение наиболее выгодного и результативного способа выработки электроэнергии. От мелких усовершенствований и до создания новых видов ТЭС лежит путь к повышению выработки электроэнергии.

В 1832 г. Майкл Фарадей доказал, что в движущемся проводнике, находящемся под действием магнитного поля, возникает электрический ток [1], что послужило толчком к созданию первого магнитогидродинамического генератора (МГД-генератор).

МГД-генератор – энергетическая установка, в которой энергия рабочего тела, движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию (рис. 1).

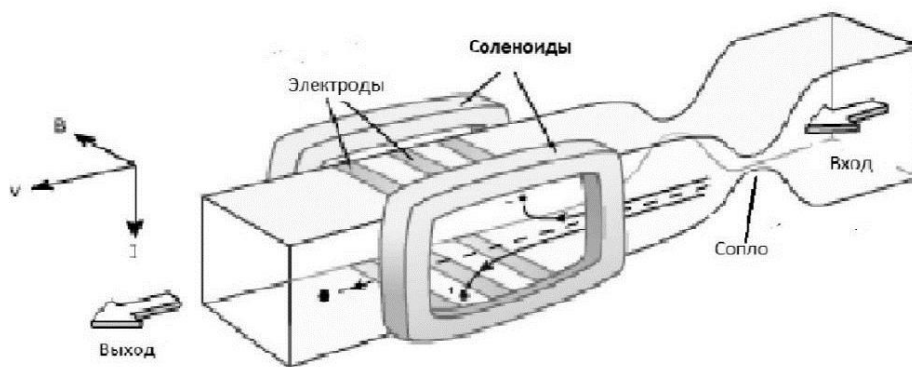


Рис. 1. Устройство МГД-генератора

Проходя через сопло, рабочее тело ускоряется и входит в зону действия магнитного поля, созданного двумя соленоидами, в результате чего между электродами будет возникать ЭДС. Сила тока в данной установке будет зависеть от величины силы Лоренца, которая, в свою очередь, зависит от магнитной индукции, скорости рабочего тела и количества ионизированных молекул, проходящих через сечение трубы за единицу времени.

$$F_{л} = B \cdot k \cdot W \cdot N \cdot e, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция, k – коэффициент ионизации, W – скорость рабочего тела, N – количество молекул, прошедшее через сечение за единицу времени, e – заряд электрона.

Рабочим телом является жидкий металл – свинец, используемый на АЭС типа БН в качестве теплоносителя, из чего мы можем сделать вывод о его скорости, которая будет составлять 3–5 м/с, к тому же свинец, который находится в установке, является облученным, из-за чего можно считать, что практически все молекулы являются заряженными, вследствие этого можно принять коэффициент ионизации k равным 0.9–1.

Количество ионов, прошедших через магнитное поле, будет зависеть от скорости течения, геометрических характеристик сечения и будет рассчитываться по формуле:

$$N = m M N_A, \quad (2)$$

где m – масса жидкости, прошедшая через сечение за единицу времени, M – молярная масса свинца, N_A – число Авогадро. Так как поток движется с некой постоянной скоростью, разумно вести расчет через массовый расход, в результате чего мы и получим количество ионов, прошедших через сечение с учетом скорости потока.

$$N = G M N_A, \quad (3)$$

где G – массовый расход, определяемый по формуле $G = \rho S W$, где ρ – плотность свинца при температуре 527 °С, S – площадь сечения трубы и W – скорость потока.

Установка состоит из двух основных частей: 1 – «врезанная» труба длиной 1 м и толщиной стенок 5 см, 2 – магниты, установленные на противополо-

ложных сторонах трубы. Чтобы магниты находились строго друг напротив друга, нами было выбрано квадратное сечение трубы со стороной 250 мм (рис. 2).

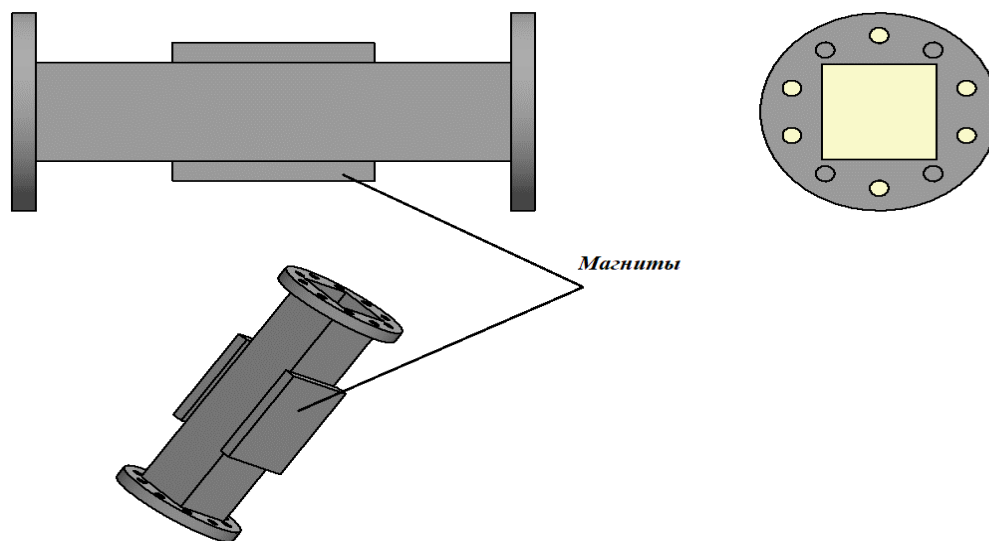


Рис. 2. Установка

Имея данные о геометрических характеристиках, можем приступить к расчету количества ионов, прошедших через сечение, и значения силы Лоренца. Подставляя значения в формулу (3), предварительно рассчитав значение объемного расхода, получим:

$$N=94,7*1025.$$

Магниты же, используемые в установке, могут принимать различные значения магнитной индукции. Их выбор будет влиять на экономическую составляющую внедрения, а именно на срок окупаемости.

Для расчета берутся неодимовые магниты (Nd₂Fe₁₄B) со значением магнитной индукции в 42 Тл. Значение же силы Лоренца, действующее на ионы в вакууме и рассчитываемое по формуле (1), будет равно:

$$F_l=43*0,9*5*94,7*1026*1.6*10^{-19}=2.93ГН.$$

В связи с тем что большое количество молекул будет сталкиваться под действием магнитного поля, некоторое количество энергии будет переходить из кинетической в тепловую, что повысит значение температуры, но уменьшит значение скорости проводника. Помимо этого плотность свинца крайне высока, из-за чего магнитного поля магнитов с индукцией в 42 Тл будет недостаточно для обеспечения достаточной подвижности всех ионов для их попадания на

электроды, поэтому для расчетов примем, что на электроды попадут ионы лишь с пограничных слоев, что составит 5–6% от их общего числа.

К тому же при расчете силы Лоренца большую роль играет среда, в которой находятся ионы. Свободный пробег электронов, находящихся в вакууме, примерно в 100 раз больше свободного пробега электронов, находящихся в свинце, что также приведет к уменьшению силы Лоренца.

Если принять во внимание вышеописанные поправки, значение силы Лоренца будет равно:

$$F_{л'} = F_{л} * 0.05 * 0.01 = 1,465 \text{ МГн.}$$

Тогда сила тока будет рассчитываться по формуле:

$$I = F_{л'} * V * d = 139 \text{ кА.} \quad (4)$$

Рассчитаем значение ЭДС, возникающее между электродами:

$$\varepsilon = V * W * d * \sin \alpha, \quad (5)$$

где d – расстояние между электродами.

Подставив значения, получим:

$$\varepsilon = 42 * 5 * 0.25 = 52.5 \text{ В.}$$

Для расчета мощности установки нужно рассчитать внутреннее сопротивление МГД-генератора, которое будет состоять из сопротивления свинца и сопротивления стенок нержавеющей стали.

Сопротивление свинца будет рассчитываться по формуле:

$$R = \rho l / S, \quad (6)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление при температуре 527С, l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника.

Подставив значения, получим:

$$R = 20800 * 10^{-8} * 0.250.25 * 1 = 20800 * 10^{-8} \text{ Ом.}$$

Сопротивление стенок нержавеющей стали рассчитаем по той же формуле и, соответственно, получим:

$$R_{ст} = 420 * 10^{-8} \text{ Ом.}$$

Получим значения мощности установки с учетом потерь на внутреннее сопротивление:

$$P=I\varepsilon-I^2R-I^2R_{ст}=3.2\text{МВт.}$$

Примем во внимание потери мощности на нагрев проводников в цепи, что в связи с их большой длиной будет составлять примерно 40%. Тогда мощность с учетом потерь на сопротивление проводника будет составлять:

$$P=3.2*0.6=1.92\text{МВт.}$$

Рассчитаем напряжение в цепи:

$$U=PI=13\text{В.}$$

Для расчетов возьмем электролизёр с потребляемой мощностью в 10кВт/час, производительностью водорода в 0.66 л/ч, концентрацией H₂ равной 99.5% и постоянным напряжением 24В. Из-за того что нашего значения не хватает для обеспечения работы электролизёра, включим в нашу цепь трансформатор, который будет увеличивать значение напряжения до требуемого. Требуется взять во внимание потери мощности в трансформаторе, что составит 5–6%.

Тогда мощность с учетом потерь в трансформаторе составит:

$$P=1.92*0.95=1.82\text{МВт.}$$

Основываясь на результате, можно сделать вывод об энергоэффективности внедрения установки. Не используя внешние источники энергии, установка генерирует мощность за счет движения заряженных ионов теплоносителя, которая идет на питание электролизера. Что же касается экономической эффективности, то для этого нужно рассчитать сроки окупаемости внедрения. Стоимость одного магнита оценивается в 24 000 р. [2], стоимость одного электролизёра без учета обслуживания оценивается в 56 000р., стоимость внедрения метровой нержавеющей трубы с квадратным сечением и толстыми стенками оценивается в 10 000р., стоимость трансформатора для больших мощностей – 3 млн р. Получаемая мощность дает возможность подключить 182 электролизёра при данных характеристиках, тогда общая стоимость внедрения составит 13,25 млн р. Стоимость одного литра составляет 60 р. Так, для полной окупаемости следует продать 220 833 л водорода, что с производительностью электролизёров займет 1838 ч, что составляет примерно 2,7 месяца.

В данной работе рассмотрели возможность внедрения МГД-генератора в работу АЭС с реактором на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем,

ответили на вопросы целесообразности внедрения, рассчитав, какое количество электролизёров может питать МГД-генератор и примерные сроки окупаемости установки.

Список литературы:

1. МГД-генератор. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитогидро динамический_генератор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитогидро_динамический_генератор) (дата обращения: 04.02.2022).

2. Минибаев А. И. Принципы получения ядерного топлива для АЭС // Материалы докл. XV аспирантско-магистерского семинара, посвящ. «Дню энергетика» / под общ. ред. д-ра физ.-мат наук, проф. А. В. Голенищева-Кутузова : в 2 т. Т. 1. Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 256 с.

3. Минибаев А. И., Власов С. М. Электростатический способ обогащения урана // Материалы докл. VII Междунар. молодежной науч. конф. «Гинчуринские чтения» / под общ. ред. канд. техн. наук Э. Ю. Абдуллазянова : в 4 т. Т. 2. Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 250 с.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01300, <https://rscf.ru/project/22-29-01300/>

Экспериментальное исследование лазерного термоупрочнения металлорежущего инструмента из инструментальной легированной стали

В. С. Невиницына^a, Д. В. Остальцева^b, А. С. Матюнина^c, Е. А. Маринин^d

студент группы МСб-1802-03-00^a

студент группы МСм-2801-02-00^{b, c}

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении^d
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: stud143859@vyatsu.ru^a, stud123756@vyatsu.ru^b,

stud123761@vyatsu.ru^c, marinin@vyatsu.ru^d

Аннотация. Один из критериев, который определяет, что производство является современным, – это внедрение наукоемких технологий. При помощи лазерных технологий можно добиться высокого качества обрабатываемых поверхностей, заданной производительности процессов, экологической чистоты и экономичного использования материальных ресурсов. Благодаря лазерным технологиям возможно нанесение покрытия или же преобразование свойств различных материалов: пластмасс, древесины, бумаги, металлов. С помощью изменения структурного состояния металла, фазового и химического состава в поверхностных слоях возможно добиться требуемых эксплуатационных свойств. При обработке поверхностей металлических деталей применение лазерного луча позволяет повысить твердость и прочность материала. Использование лазерных технологий позволяет исключить внутренние напряжения, что помогает исключить деформацию, вследствие чего геометрические размеры сохраняются. В статье рассмотрено лазерное упрочнение ленточной пилы по металлу из инструментальной легированной стали марки 9ХС.

Ключевые слова: лазерная обработка, лазерное упрочнение, поверхностная обработка, инструментальная легированная сталь 9ХС, ленточные пилы.

Введение. Увеличение прочности поверхности материалов в настоящее время сохраняет свою актуальность. Одна из инновационных технологий в современном производстве, а именно лазерная закалка, позволяет упрочнять поверхность металла без проникновения в глубинные слои изделия [1]. Данный вид закалки изменяет физические свойства только поверхностного слоя, что позволяет сохранять целостность изделия. Лазерная обработка металлорежущего инструмента позволяет увеличить прочность изделия [2, 4].

Одна из актуальных проблем в машиностроении – это разработка эффективных технологий обработки, при которых выполняются условия требуемых свойств рабочих поверхностей детали.

Целью данного исследования является изменение прочности поверхности ленточной пилы из инструментальной легированной стали 9ХС без изменения твердости внутреннего слоя материала.

Методы исследования. Требования к данному процессу обработки: получение слоя на поверхности ленточной пилы с заданными свойствами; локальность процесса упрочнения; без коробления; достигнуть повышения прочности [3, 4].

Для упрочнения изделий используется лазерная закалка импульсным излучением. При этом на детали образуются закаленные поверхностные участки, которые имеют форму полосы с шириной от 1 до 2,5 мм. Самая большая глубина упрочнения при закалке стали без оплавления не превышает 0,48 мм.

Объектом данной статьи является лазерное упрочнение ленточнопильной стали 9ХС с изначальной твердостью 543 HV_{0,1} на станке с твердотельным ND+3:YAG-кристаллическим лазером. При решении поставленных в статье задач использовались следующие методы: механические испытания, металлография, методы математической обработки экспериментальных данных [5]. Для нахождения оптимального режима лазерной закалки, влияющего на увеличение твердости поверхностного слоя, были выбраны следующие показатели термической обработки:

Таблица 1

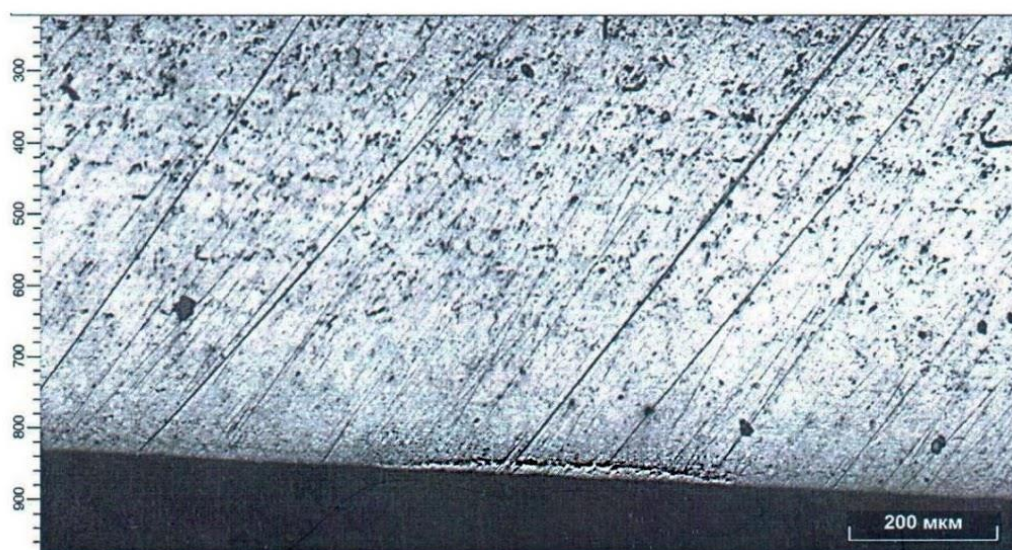
Режимы лазерной закалки серии опытов

Номер режима	Частота обработки, Гц	Энергия импульса, кДж	Ширина импульса, мс	Диаметр пятна, мм	Скорость обработки, мм/мин
1	2	15,84	8	2	120
2	4	21,12			
3	6	24,29			

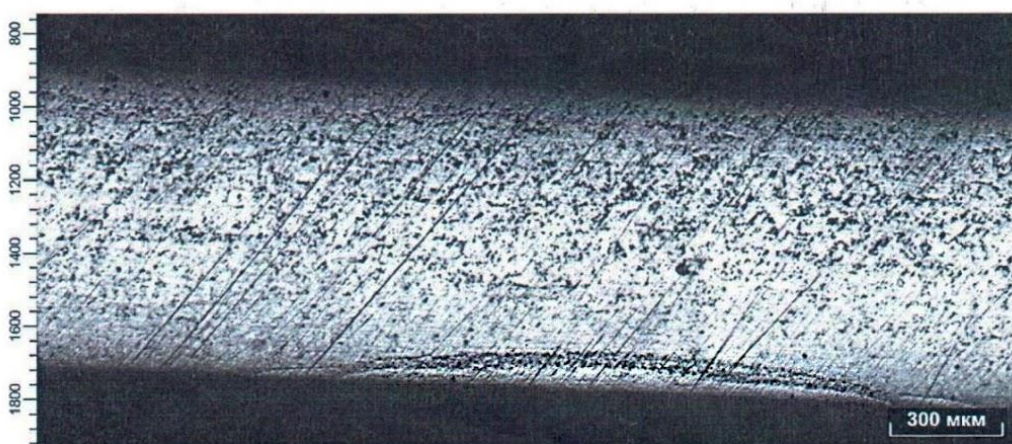
Результаты исследований, их обсуждение. После проведения экспериментов был сделан металлографический анализ в лаборатории. Полученные результаты представлены на рис. 1.

После режима 1 наблюдается малая глубина упрочненного слоя, равная 0,23 мм, при ширине дорожки 1 мм. Изменения в микроструктуре материала не видны. Анализируя полученный результат обработки режимом 2 с шириной дорожки 2 мм, наблюдаем заметную глубину упрочненного слоя, равную 0,31, с визуально заметным изменением микроструктуры. Результаты режима 3 являются наиболее заметными, если оценивать изменение зернистости стали, а так-

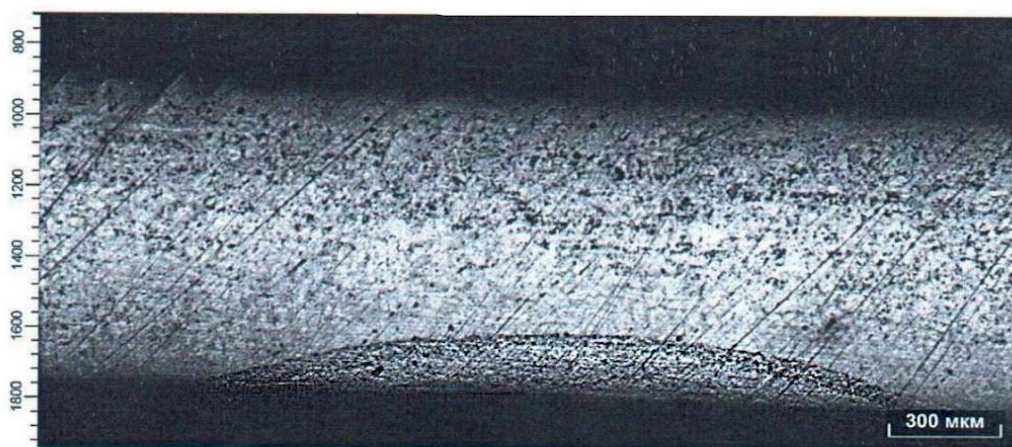
же глубину упрочненного слоя, равную 0,48, при ширине дорожки равной 2,1 мм. Структура упрочнённого слоя более мелкозернистая.



а



б



в

Рис. 1: а – структура после обработки режимом 1; б – структура после обработки режимом 2; в – структура после обработки режимом 3

Показатели твердости и глубины упрочнения после термической обработки предложенными режимами представлены в табл. 2. Для дальнейшего расчета прочности необходимо привести твердость по Бринеллю [3].

Таблица 2

Результаты металлографического анализа

№	Глубина упрочненного слоя, мм	Твердость поверхностного слоя, HV _{0,1}	Твердость поверхностного слоя, HB	Коэффициент перекрытия, %
1	0,23	777	738	50
2	0,31	826	785	75
3	0,48	680	646	85

Главной целью данного исследования было увеличение значения твердости поверхности. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что наибольшее значение твердости наблюдается при режиме 2.

Статистическая обработка экспериментальных результатов позволила определить зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности для металлов и сплавов. Эта зависимость описывается уравнением [6]:

$$\sigma = kHB,$$

где k – коэффициент, равный 0,34 для высокопрочных сталей;

HB – значение твердости по Бринеллю.

Рассчитаем прочность для изначального и максимального значений твердости поверхностного слоя:

$$\sigma_1 = 0,34 \cdot 516 \cdot 9,8 = 1\,719 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_2 = 0,34 \cdot 785 \cdot 9,8 = 2\,616 \text{ МПа.}$$

Чтобы оценить изменение прочности всей ленточной пилы, приведем данный показатель к среднему значению. Для случая, когда ленточная пила не подвергалась термической обработке, средний показатель прочности будет равен 168,3 МПа [7]. В случае термообработки режимом 2 следует учитывать глубину упрочнения, равную 0,31 мм с одной стороны. Следовательно, средняя прочность будет равна [8]:

$$\sigma_{ср2} = 2 \cdot 2\,616 + 1\,719 = 2\,317 \text{ МПа.}$$

Рассчитаем процентное изменение получившейся средней прочности от изначальной:

$$\% = 2\ 317 - 1\ 7191\ 719 \cdot 100\% = 35\%.$$

Проведем сравнительный анализ изначальной прочности стали 9ХС, подвергшейся термической закалке в печи, с прочностью, полученной в ходе эксперимента [9, 10]:

в гост=790 МПа.

ср2=2 317 МПа.

Исходя из получившихся значений, можно наблюдать увеличение прочности инструментальной легированной стали 9ХС более чем в 2 раза.

Выводы. На основе полученных данных был выведен наиболее эффективный режим обработки поверхности ленточной пилы из инструментальной легированной стали 9ХС для достижения наибольшей твердости поверхности. Оптимальные производственные факторы: частота обработки – 4 Гц, сила тока – 200 А, ширина импульса – 8 мс, размер сварного пятна – 2 мм, скорость обработки – 120 мм/мин. В ходе анализа экспериментальных данных было достигнуто значительное увеличение твердости поверхности – 52%, а также увеличение показателя средней прочности – 35%. Данные результаты показывают эффективность и оптимальность выбранного режима для эффективного упрочнения поверхности ленточной пилы без изменения твердости в глубинных слоях материала, что позволяет избежать увеличения хрупкости.

Библиографический список

1. Овчинников В. В. Технология термической обработки : учеб. М. : ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФА-М, 2016. 320 с.
2. Сергеев Д. Г., Юркин М. Н. Анализ факторов, влияющих на стойкость ленточных пил // Всероссийская ежегодная научно-техническая конференция «Общество, наука, инновации» (НТК-2012) : сб. материалов : Общеуниверситетская секция, БФ, ГФ, ФЭМ, ФАВТ, ФАМ, ФПМТ, ФСА, ХФ, ЭТФ / отв. ред. С. Г. Литвинец. Киров, 2012. С. 1280–1283.
3. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., испр. и доп. / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. ; под ред. А. С. Зубченко. М. : Машиностроение, 2003. 784 с.
4. Сергеев Д. Г. Изучение причин преждевременного выхода ленточных пил из строя // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сб. ст. 2-е изд., испр. и доп. / Вятский государственный университет. Киров, 2016. С. 1163–1167.
5. Сергеев Д. Г., Юркин М. Н. Анализ критериев практического выбора режимов резания при распиливании различных материалов // Общество, наука, инновации (НПК-2013) : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов. Киров, 2013. С. 1334–1335.
6. Ефименко Л. А., Прыгаев А. К. Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости : учеб. пособие. М. : РГУ нефти и газа, 2007. 18 с.

7. Sergeev D. G., Marinin E. A., Marinina N. I., Durseneva M. D. The choice of pulse laser radiation modes for hardening a metal cutting saw // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 971(3). P. 032024.
8. Marinin E., Sergeev D., Marinina N. The capability of pulsed laser radiation for cutting band saws hardening // MATEC Web of Conferences. 2017. 129. P. 01013.
9. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали : принят : 22.06.2000 ; действ. с 01.01.2002. М., 2000. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200013016> (дата обращения: 07.02.2022).
10. Sergeev D. G., Marinin E. A., Kokorin V. V., Anufriev D. S. The improvement of surface quality characteristics after mechanical treatment by pulse laser radiation // В сборнике: Materials Today: Proceedings. Сер. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020" 2021. Pp. 1613–1616.

Получение требуемой шероховатости в процессе токарной обработки

Р. Ю. Некрасов^a, А. А. Малыгин^b, И. М. Сандаков^c, М. А. Стародумов^d

кандидат технических наук, доцент, зав каф. ТМ^a

студент группы МСМ-1801^{b, c, d}

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация^a

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{b, c, d}

E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru^a, stud142549@vyatsu.ru^b, stud142553@vyatsu.ru^c,

stud142552@vyatsu.ru^d

Аннотация. Проблема получения заданной шероховатости обрабатываемой поверхности актуальна в наше время, поскольку в каждом конкретном случае использования системы Станок – Приспособление – Инструмент – Деталь существуют определенные параметры, влияющие на конечный результат – получение требуемой высоты микронеровностей. Например, при использовании двух разных марок станков одного класса они могут иметь различную жесткость, конструкцию, другие особенности. При этом на каждом станке нужно производить настройку технологических параметров для получения требуемой высоты микронеровностей. Для упрощения задачи подбора технологических параметров резания наладчики станков проводят эксперименты – пробные проходы, в результате которых получают данные для быстрой настройки оборудования в будущем.

Цели статьи – построение математической модели получения шероховатости поверхности для обработки на токарных станках.

Метод исследования – полный факторный эксперимент (ПФЭ).

В ходе проведения серий опытов были получены, обработаны, проверены результаты. Составлена математическая модель, а также проверена на адекватность.

Данная математическая модель позволяет увеличить производительность механической обработки, снизить экономические затраты на технологическую подготовку производства, а также исключить возможные ошибки при наладке оборудования.

Результаты работы применимы при механической обработке деталей из стали 45 методом продольного точения на токарных станках типа ОМА-1533.

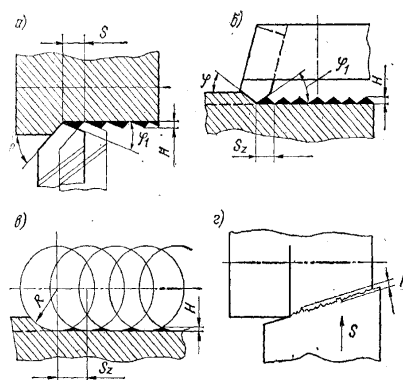
Ключевые слова: машиностроение, механическая обработка, точение, токарный станок, шероховатость, высота микронеровностей.

Введение. Формообразование в процессе резания новой (обработанной) поверхности зависит от следующих основных факторов: вид обработки, режимы резания, геометрия инструмента, свойства обрабатываемого материала, жесткость оборудования, состояние режущей кромки. Шероховатость (высота и шаг неровностей микропрофиля) поверхности зависит от способа резания, подачи, скорости резания, геометрии заточки инструмента, СОЖ, материала заготовки и других факторов.

В формировании микрогеометрии поверхности участвуют главная и вспомогательная режущие кромки с углами в плане ϕ и ϕ_1 . При перемещении резца на величину S за один оборот детали на образовавшейся поверхности остается гребешок высотой H :

$$H = S \sin \varphi \sin \varphi_1 / \sin(\varphi + \varphi_1). \quad (\text{формула 1})$$

Как видно из рисунка, чем меньше углы в плане и подача, тем меньше высота гребешков и лучше шероховатость поверхности.



Схемы получения шероховатостей

Таким образом, возможно получить величину H бесконечным числом сочетаний параметров S , φ , φ_1 . Чтобы упростить эту задачу, создается математическая модель, объектом которой является данный процесс точения. С ее помощью можно спрогнозировать поведение системы и требуемый результат. Данная модель позволит снизить время на подготовку производства.

Для получения требуемого результата нужно создать математическую модель данного процесса точения.

Методы исследования

В работе используется метод полного факторного эксперимента. Его сущность заключается в следующем:

1. составление матрицы планирования эксперимента;
2. определение порядка проведения ПФЭ;
3. проведение серии опытов;
4. расчет коэффициентов регрессионного уравнения;
5. проверка значимости коэффициентов регрессии;
6. проверка адекватности математической модели.

Результаты исследований, их обсуждение

В ходе работы была составлена матрица планирования (табл. 1), определен порядок проведения опытов, составлена табл. 2 с результатами проведения эксперимента.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

N	S (x ₁), мм/об	φ	φ_1	$\sin(\varphi)$ (x ₂)	$\sin(\varphi_1)$ (x ₃)	$\sin(\varphi + \varphi_1)$	H (y), мкм
1.	0.001	90°	10°	1	0.1736	0.9848	0.1763
2.	0.01	90°	10°	1	0.1736	0.9848	1.7632
3.	0.001	95°	10°	0,996	0.1736	0.9397	0.1791
4.	0.01	95°	10°	0,996	0.1736	0.9397	1.7909
	0.001	90°	55°	1	0.8192	0.5736	1.4281
6.	0.01	90°	55°	1	0.8192	0.5736	14.2814
7.	0.001	95°	55°	0,996	0.8192	0.5	1.6521
8.	0.01	95°	55°	0,996	0.8192	0.5	16.3207

Таблица 2

Результаты проведения экспериментов

N	S (x _i)	φ	φ_1	$\sin(\varphi)$ (x ₂)	$\sin(\varphi_1)$ (x ₃)	$\sin(\varphi + \varphi_1)$	H _т (y)	H _{пр} (y _и)
	0.001	90°	10°	1	0.1736	0.9848	0.1763	0,186 0,181 0,183
2.	0.01	90°	10°	1	0.1736	0.9848	1.7632	1,862 1,865 1,841
3.	0.001	95°	10°	0,996	0.1736	0.9397	0.1791	0,187 0,187 0,180
4.	0.01	95°	10°	0,996	0.1736	0.9397	1.7909	1,869 1,863 1,872
5.	0.001	90°	55°	1	0.8192	0.5736	1.4281	1,431 1,435 1,420
6.	0.01	90°	55°	1	0.8192	0.5736	14.2814	14,280 14,284 14,280
7.	0.001	95°	55°	0,996	0.8192	0.5	1.6521	1,654 1,639 1,644
8.	0.01	95°	55°	0,996	0.8192	0.5	16.3207	16,325 16,331 16,323

Произведен расчет коэффициентов регрессионного уравнения, все коэффициенты оказались значимыми. Математическая модель прошла проверку на адекватность.

Вид математической модели:

$$y=4,72175+0,42957613*x_1+4,71222501*x_2+3,53766*x_3+0,42871*x_1*x_1+ \\ +3,5304838*x_2*x_3+0,32181*x_1*x_3$$

Исходя из всех полученных данных, математическая модель составлена верно и соответствует исследуемому процессу точения.

Выводы. В результате исследования была построена математическая модель получения требуемой шероховатости поверхности для токарной обработки. Использование математической модели повышает производительность процесса токарной обработки, снижает экономические затраты на подготовку производства.

Библиографический список

1. Методология планирования эксперимента: методические указания к лабораторным работам / сост. Т. П. Абомелик. Ульяновск : УлГТУ, 2011. 38 с.
2. Планирование и организация эксперимента : практикум для бакалавров направления подготовки 221700.62 «Стандартизация и метрология» всех форм обучения / сост.: М. Ю. Черняк, М. С. Эльберг ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. 88 с.

Разработка информационной системы анализа посещения веб-сайтов

М. В. Нижегородова^a, Е. А. Осколков^b

кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления^a
студент группы ИТб-5301-02-20^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr21801@vyatsu.ru^a, stud100450@vyatsu.ru^b

Аннотация. Актуальность аналитики посещений продиктована постоянно растущей конкуренцией между компаниями и повышенным вниманием к анализу эффективности и оптимизации интернет-ресурсов, а также анализу эффективности каналов привлечения трафика целевой аудитории. Целью работы является анализ и выбор методов для решения задачи анализа посещений веб-сайтов.

В результате разработана информационная система с функциональными возможностями для проведения аналитики посещения веб-сайтов по следующим параметрам: количество посетителей сайта в режиме реального времени; статистика посещения каждой страницы; интенсивность посещения сайта в день (количественно-временная характеристика); статистика переходов с внешних ресурсов; статистика использования посетителями веб-браузеров, использования пользователями типов операционных систем, разрешений экрана, типов аппаратного обеспечения.

Разработанная информационная система может быть использована для оптимизации деятельности интернет-маркетинга, для развития веб-ресурсов в сети Интернет.

Ключевые слова: веб-аналитика, информационная система, анализ посещения веб-сайтов.

Введение. Для поддержания веб-ресурса в конкурентной среде необходимо постоянно оценивать эффективность его работы. Применение различных инструментов аналитики позволит организациям не только устранить ошибки на электронном ресурсе и увеличить количество посетителей, но и пережить трудные времена и выйти из них с высокой прибылью.

Для интернет-магазина или компании, предлагающей определённые услуги, аналитика посещаемости – важнейший инструмент. Она дает возможность отслеживать эффективность трафика в разрезе конечных заказов.

Актуальность аналитики посещений продиктована постоянно растущей конкуренцией между компаниями и повышенным вниманием к анализу эффективности и оптимизации интернет-проектов. В итоге уже совсем скоро веб-аналитика не только станет одним из основных способов развития электронного бизнеса, но и затронет все сегменты электронной коммерции.

Добиться необходимых результатов в бизнесе возможно только при умелом использовании маркетинговых коммуникаций, и в особенности интернет-рек-

ламы. Стоит заметить, что немногие организации владеют способностью эффективно пользоваться рекламой в своей маркетинговой деятельности. В связи с этим происходит неравномерное распределение маркетингового бюджета, что сказывается на продвижении продукции. Для оценки того или иного канала необходимо отслеживать производимые конверсии – целевое обращение клиента.

Объект исследования – посещение целевой аудиторией веб-сайта.

Задачи исследования заключаются в следующем:

- выделить основные аналитические данные, которые должны быть получены в результате работы информационной системы;
- применить методы, позволяющие собрать данные, сохранить и в последующем выполнить анализ;
- выполнить программную реализацию методов для решения задачи аналитики посещений веб-сайтов с возможностью отображения и визуализации аналитических данных.

Методы исследования. Анализ посещений веб-сайтов помогает решить ряд бизнес-задач, направленных на продвижение в сети Интернет веб-сайтов. Автоматизация сбора и последующего анализа необходима для эффективной работы аналитиков, занимающихся продвижением веб-сайтов в сети Интернет, администраторов веб-сайтов для оценки явных и скрытых проблем, а также для исследования эффективности применения тех или иных методов привлечения клиентов на веб-сайт [1].

Для повышения конверсии необходимо получать следующие аналитические данные:

1. Общая статистика:

- количество посетителей сайта в режиме реального времени;
- общее количество уникальных посетителей сайта;
- статистика посещения каждой страницы;
- общее количество просмотренных страниц;
- среднее количество страниц, просматриваемых пользователем;
- интенсивность посещения сайта в день (количественно-временная характеристика);

- статистика переходов с внешних ресурсов.

2. Общий анализ целевой аудитории:

- статистика использования веб-браузеров посетителями;
- статистика использования операционных систем посетителями сайтов;
- статистика использования аппаратных устройств посетителями сайтов;
- статистика использования разрешений экрана;
- статистика посетителей по их географическому местоположению.

3. Анализ целевой аудитории по отношению к страницам.

4. Анализ целевой аудитории по отношению к переходам с внешних ресурсов [1].

Пункты 3 и 4 предоставляют такие же статистические данные, что и в пункте 2, но по отношению к страницам и переходам с внешних ресурсов соответственно.

Использование представленных выше аналитических данных позволит увеличить конверсию:

- за счёт оптимизации веб-сайта с точки зрения использования программно-аппаратных платформ (мобильные/стационарные системы);
- оптимизации с точки зрения использования веб-сайта целевой аудиторией (лингвистические особенности, национальные особенности);
- выявления наиболее востребованной информации;
- выявления наиболее эффективных каналов привлечения трафика.

Методы для получения данных для аналитики посещений веб-сайтов можно разделить на две группы:

1. метод сбора данных путём опроса посетителей;
2. сбор технической информации.

Первый метод имеет один критический недостаток – отсутствие гарантии того, что 100% посетителей сайта предоставят нам необходимые данные. Второй метод данного недостатка лишён, а значит, стоит рассматривать его в качестве приоритетного метода для формирования аналитических данных.

Полный перечень технических данных, необходимых для формирования статистической информации, представлен в таблице.

Технические данные, необходимые для формирования аналитических отчетов

Данные	Показатель
HTTP-протокол: поле user-agent	Определение операционной системы
	Определение аппаратного устройства
	Определение браузера
HTTP-протокол: поле referrer	Определение URL, с которого был осуществлён переход на целевой сайт
HTTP-протокол: URI	Определение идентификатора страницы (ресурса)
IP-протокол: поле IP-адрес получателя	Определение географического местоположения посетителя
Javascript-code	Разрешение экрана, страница, извлечение вышеуказанной информации из HTTP-заголовков

Для визуализации полученных аналитических данных программно формируем графики и диаграммы, что позволяет наглядно продемонстрировать и оценить статистику посещений, а также предоставляет возможность сохранить текущий срез данных.

Для эффективного использования программно-аппаратных ресурсов архитектура разработанной информационной системы является сервисно-ориентированной. На рис. 1 представлена сервис-ориентированная архитектура информационной системы анализа посещений веб-сайтов.

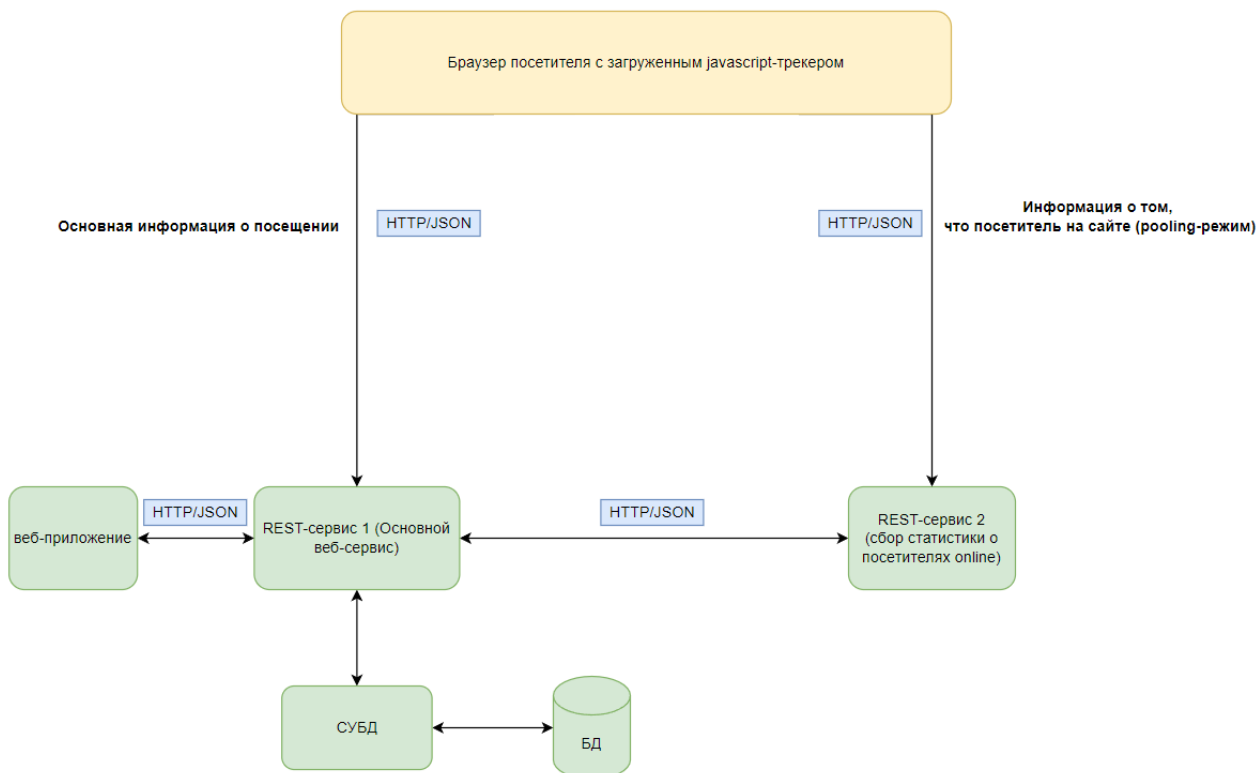


Рис. 1. Сервис-ориентированная (SOA) архитектура ИС

Сервис-ориентированная (*SOA*) архитектура помогает повысить отказоустойчивость системы, более равномерно распределить нагрузку на информационную систему, увеличивает простоту масштабирования.

Сбор данных и передача на сервер осуществляются с помощью специального *javascript*-трекера. Данный компонент осуществляет сбор части информации (анализ заголовков *HTTP*), передачу собранной информации на сервер, а также постоянное взаимодействие с сервером для сообщения о том, что посетитель всё ещё находится на сайте.

Для реализации информационной системы были выбраны следующие средства: язык программирования *Java*; фреймворк *Spring*; фреймворк *bootstrap5*, язык разметки *HTML5*, таблицы каскадных стилей *CSS3*; СУБД *MS SQL SERVER 2017*; сервер *Apache Tomcat*.

Данный набор технических средств позволил реализовать все функциональные возможности для сбора, хранения и анализа данных.

Результаты исследований, их обсуждение. Результатом реализации информационной системы стало работоспособное приложение, позволяющее предоставлять аналитическую информацию о посетителях и характеристиках используемых ими устройств. Информационная система позволяет хранить данные о посещении пользователями веб-ресурсов в реляционной базе данных, предоставляет её пользователям графический интерфейс, с помощью которого можно получить аналитическую информацию, представленную в виде графиков и диаграмм. На рис. 2–4 представлены графики и диаграммы, которые формируются в разработанной информационной системе для представления различной аналитической информации.

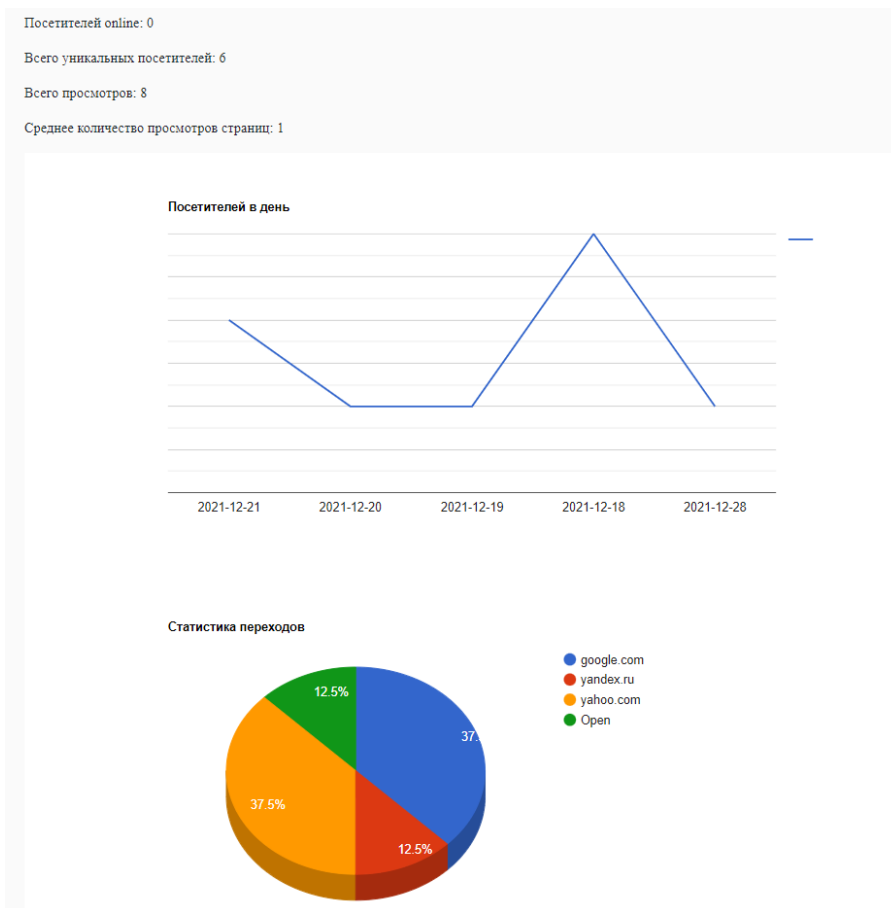


Рис. 2. Аналитическая информация о статистике переходов пользователей

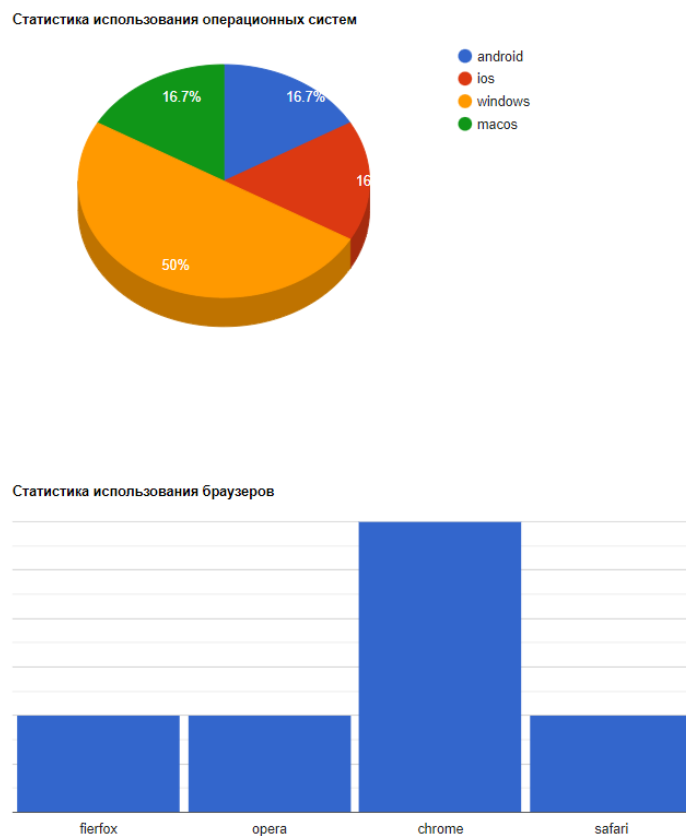


Рис. 3. Аналитическая информация со статистикой используемых браузеров

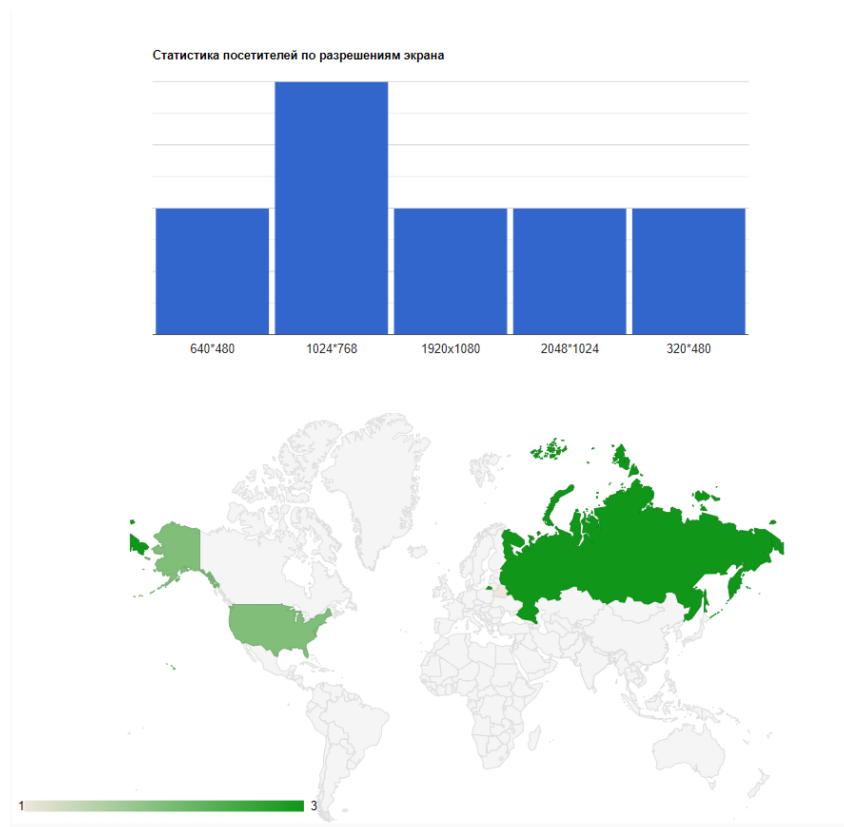


Рис. 4. Аналитическая информация со статистикой разрешений экранов

Выводы. В результате сформирован список основных аналитических данных, необходимых для повышения конверсии в интернет-маркетинге (общая статистика, общий анализ целевой аудитории, анализ целевой аудитории по отношению к страницам, анализ целевой аудитории по отношению к переходам с внешних). Реализована информационная система, которая позволяет в режиме реального времени получить аналитические данные о посещении определенных веб-ресурсов, данные о характеристиках используемых пользователями устройств, что поможет разработчикам веб-ресурсов повысить адаптивность веб-ресурсов к особенностям устройств пользователей. Разработанная информационная система может быть использована в сфере продвижения веб-ресурсов различного назначения.

Библиографический список

1. Айзенберг Б., Айзенберг Д. Добавьте в корзину. Ключевые принципы повышения конверсии веб-сайта. М. : МИФ, 2011. 370 с.
2. Голицына О. Л., Максимов Н. В., Попов И. И. Базы данных. М. : Форум, 2015. 400 с.
3. Разработка современных веб-приложений. Анализ предметных областей и технологий / Д. Эспозито. М. : Вильямс, 2017. 596 с.

Разработка способа распознавания эмоций путем анализа видеоизображения на основе сверточной нейронной сети и алгоритма Виолы-Джонса

М. В. Нижегородова^а, В. В. Тимошенко^б

кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления^а

студент группы ИТм-1301-01-00^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: usr21801@vyatsu.ru^а, stud142516@vyatsu.ru^б

Аннотация. В статье рассматривается разработка нового способа для распознавания эмоций в видеопотоке путем комбинации уже существующих методов и алгоритмов. Основной целью исследования является создание способа распознавания мимики лица с точностью не ниже 90%. Для решения данной задачи применялся системный подход и анализ. Системный подход позволил определить составляющие нового способа распознавания, а с помощью анализа удалось отобрать алгоритмы, сочетание которых повысило точность распознавания эмоций. Реализованный способ позволил достичь точности распознавания до 95% при соответствующих условиях. Данный способ будет применен при разработке системы распознавания эмоций по видеоизображению.

Областью применения реализованного способа являются различные маркетинговые исследования, банковская аналитика удовлетворенности посетителей, психологические исследования, собеседования при приеме на работу.

Ключевые слова: распознавание эмоций, мимика, сверточная нейронная сеть, алгоритм Виолы-Джонса.

Введение. Изучая труды американского психолога П. Экмана, в своей работе В. П. Трусков выделил шесть основных эмоций [1]: гнев, страх, печаль, отвращение, удивление, радость. Каждая из этих эмоций характеризуется набором параметров, отражающихся на мимике человека. Этот процесс является существенной составляющей процесса коммуникации между людьми.

Одну из предпосылок решения задачи автоматизации процесса распознавания эмоций в своей статье указала Е. Ю. Брель [2], описав явление алекситимии – неспособности человека выражать и понимать эмоциональные состояния. Это отклонение усложняет социальную жизнь человека.

Второй предпосылкой можно считать сложность формирования экспертной оценки мимического отражения эмоций. В статье [3] была описана проблема подбора экспертов и их профессиональной деформации. На экспертное мнение может влиять личная заинтересованность специалиста, уровень образования, его эмоциональное состояние в момент оценки эмоций человека. Предпосылками развития автоматизированных систем вообще зачастую является необходимость устранения человеческого фактора.

Системы распознавания эмоций особенно важны для анализа психологического и психического здоровья людей, так как они способны анализировать большое количество людей одновременно и выявлять нетипичное поведение. Именно поэтому они должны быть достаточно совершенными, чтобы быстро и корректно определять эмоциональное состояние человека.

Существующие программные решения [4–6] имеют ряд недостатков: отсутствие поддержки русского языка, высокая стоимость, зависимость от освещения в кадре, невозможность определения лица, если присутствует борода, усы или очки, а также необходимость в дорогостоящем оборудовании.

В качестве цели исследования рассматривается разработка способа распознавания эмоций, который может быть использован для реализации информационной системы распознавания эмоций и будет иметь точность распознавания не ниже 90%.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать алгоритм распознавания лиц в различном состоянии наклона головы;
- обучить нейросеть для распознавания эмоций;
- оценить результаты распознавания.

Ведущий подход. При разработке использовался системный подход, в результате применения которого был разработан способ распознавания эмоций, основанный на комплексном использовании алгоритма Виолы-Джонса и сверточной нейронной сети.

Для реализации алгоритма распознавания эмоций необходимо определить методы и алгоритмы, которые применимы для анализа видеоизображений и определения степени выраженности той или иной эмоции.

Среди алгоритмов для детектирования лица был выбран алгоритм Виолы-Джонса, так как он прост в программной реализации, позволяет достичь 90%-й точности распознавания и высоких показателей производительности. В статье [7] был описан данный алгоритм с интегральным представлением изображения.

Алгоритм обладает рядом особенностей:

- использование признаков Хаара;
- использование каскадов классификаторов;
- пометка исследуемой области как верной или ложной;
- применение интегрального представления изображения;
- применение композиционного метаалгоритма машинного обучения (бустинга).

Алгоритм Виолы-Джонса предназначен для детектирования лица, но не для распознавания эмоций, поэтому было принято решение применить сверточные нейронные сети для распознавания эмоций на лице, а также для повышения точности детектирования лица.

В статье [8] авторы доказали, что сверточные нейронные сети являются более устойчивыми к масштабируемости изображений, различным поворотам и смещениям. Вычисления в таких сетях происходят послойно.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований был разработан способ распознавания эмоций путем применения алгоритма Виолы-Джонса и в дополнение к этому алгоритму использовали сверточную нейронную сеть. Входные данные для нейронной сети представляли собой кадры изображений, полученных с помощью видеокамеры. Затем с помощью алгоритма Виолы-Джонса определялись опорные точки лица, далее с помощью нейронной сети получали результаты соответствия изображения определенному типу мимики.

Выходные данные – соответствие изображения типу мимики: нейтральное выражение лица, злость, грусть, удивление и радость.

Необходимым элементом корректной работы нейронной сети является функция активации, которая определяет выходное значение нейрона в зависимости от результата взвешенной суммы входов и порогового значения. В работе сети применен гиперболический тангенс.

Обучение происходило алгоритмом обратного распространения ошибки на базе изображений FER-2013. Время обучения составило 18 часов. Общая схема работы алгоритма:

- входными данными является база изображений лиц с эмоциями;
- распознаем область, в которой находится лицо;
- нейронная сеть определяет расположение опорных точек;
- на основе данных о расположении точек программа соотносит фотографию и конкретную эмоцию.

Производилось тестирование программы при изменении интенсивности освещения в изображениях для каждой эмоции отдельно. Изменялось среднее значение интенсивности пикселей изображений. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Точность распознавания эмоций при разном освещении

Интенсивность освещения, лк	Точность распознавания, %
50	95.01
300	95.33
500	95.32
800	95.11
1000	95.02

Точность распознавания составила порядка 95%. При снижении интенсивности освещения ниже 300 и увеличении выше 500 точность детектирования лица и эмоции снижается.

Было проведено тестирование программы на точность распознавания эмоций при наклоне изображения. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Точность распознавания эмоций при разном угле поворота

Угол поворота изображения, градус	Точность распознавания эмоций, %
-25	66.8
-15	92.9
-10	93.4
-5	94.2
0	95.3
5	94.2
10	93.4
15	92.9
-25	66.8



Изменение точности распознавания от угла поворота изображения

В результате проведенных экспериментов выяснилось, что при наклоне изображения на угол более 15 градусов точность распознавания уменьшается до 66%, что является приемлемым результатом для детектирования лица, но может затруднять правильное определение типа эмоции.

Таким образом, был разработан и реализован способ решения задачи, включающий в себя использование алгоритма Виолы-Джонса для детектирования лица в кадре и сверточной нейронной сети для распознавания эмоций.

Программная реализация способа позволит разработать систему распознавания лиц, которая дополнительно будет иметь пользовательский интерфейс, различные формы отчетности и базу данных.

Выводы. Для решения задачи распознавания эмоций по кадру видео-изображения был разработан способ, который предполагает использование алгоритма Виолы-Джонса для детектирования лица на изображениях и сверточной нейронной сети для повышения точности детектирования лица и распознавания эмоций.

Результаты тестирования разработанного алгоритма на базе лиц FER-2013 показали, что точность распознавания данного алгоритма при разной освещенности составила порядка 95%, также была оценена точность распознавания при обработке изображений под разными углами наклона. Когда угол наклона изображения более 15, градусов точность уменьшается до 66%.

Разработанный способ может быть применен для реализации программной системы обработки изображений лиц, полученных с видеокамеры, с целью идентификации эмоции человека. Распознавание эмоций по видеоизображению позволит оптимизировать предоставление маркетинговых услуг, повысить эффективность при оказании психологической и медицинской помощи, например, может быть использовано для диагностики депрессивных состояний у подростков.

Библиографический список

1. Трусов В. П. Выражение эмоций на лице (по материалам работ П. Экмана) // Вопросы психологии. 1982. № 5. С. 144–147.
2. Брель Е. Ю. Проблема изучения алекситимии в психологических исследованиях // Вестник КемГУ. Кемерово, 2012. № 3 (51). С. 173–176.
3. Левинзон В. С., Митин Р. К. Проблемы проведения экспертной оценки // Вестник научных конференций. Тамбов, 2019. № 1–2(41). С. 83–88.
4. Neurotechnology // VeriLook SDK. URL: <http://www.neurotechnology.com/> (дата обращения: 20.11.2021).
5. Системы технической безопасности и охраны «MTI» // FaceVACS–VideoScan. URL: <http://www.security.mti.ua/products/sist-emyvideonabludeniya/Soft-raspoznavanie-liz/Cognitec/152-facevacsvideoscan> (дата обращения: 21.11.2021).
6. NEC // Facial Recognition. URL: https://ru.nec.com/solutions/security/technologies/face_recognition.html (дата обращения: 19.11.2021).
7. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai, Hawaii, USA, 2001. Vol. 1. Pp. 511–518.
8. Макаренко А. А., Калайда В. Т. Методика локализации изображения лица для систем видеоконтроля на основе нейронной сети // Известия Томского политехнического университета. Томск, 2006. Т. 309. № 309. С. 113–118.

Разработка методов генерации тестов на основе результатов семантического анализа обучающего контента

М. В. Нижегородова^a, В. А. Чеглакова^b

кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления^a
студент группы ИТм-1301-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr21801@vyatsu.ru^a, stud142523@vyatsu.ru^b

Аннотация. В статье рассмотрены подходы для решения задачи автоматического формирования тестов. Для этого используется метод семантического анализа, который позволяет формировать вопросы теста и варианты ответов на основе текстов учебников и лекций. Реализация описанного способа подразумевает использование библиотеки *RuWordNet* и технологии *TextMining*. Разработан алгоритм обработки текста, который позволит осуществить автоматическую генерацию тестовых вопросов и ответов.

Программная реализация разработанного метода может быть использована преподавателями образовательных организаций, а также в любых компаниях, которые являются сторонами проведения обучения, подготовки новых сотрудников или переподготовки уже имеющихся кадров с использованием контрольных заданий в формате тестов.

Ключевые слова: генерация вопросов теста, формирование тестов, семантический анализ, информационная система, Text Mining.

Введение. Применение информационных систем меняет структуру образовательного учреждения и функции всех участников образовательного процесса, совершенствует способы получения и анализа информации о состоянии управляемого объекта. Как заметила в своей работе Л. В. Красовская [1, с. 68], информационные системы пока не нашли своего должного применения в образовательных организациях, но их потенциал растет, и он тесно связан с широкой линейкой развития человеческого индивида.

В настоящее время существует множество информационных систем, которые предназначены для того, чтобы составлять контрольные тесты. Это облегчает работу преподавателя, но не сокращает потраченное на это время, иногда даже увеличивая его из-за большого многообразия выбора интерактивных элементов.

Ввиду наличия такого рода проблемы имеется необходимость в создании системы, которая способна автоматически генерировать тестовые вопросы и варианты ответов для них. Этот вопрос поднимался автором Т. В. Батурой в статье [2, с. 48]. Однако данная задача не нашла своего применения в виде программной реализации. Для её решения стоит обратить внимание на технологию

Text Mining. Именно она является более подходящей для того, чтобы быть использованной при разработке информационной системы генерации тестов на основе результатов семантического анализа обучающего контента.

Создание информационной системы автоматического генерирования тестовых заданий на основе текстового материала электронного учебника позволит автоматизировать действия преподавателя по созданию тестовых заданий, освободит его время для подготовки к следующим занятиям, повышения квалификации, а также отдыха.

Ведущий подход. Для разработки информационной системы генерации тестов на основе семантического анализа обучающего контента для начала необходимо определить методы, с помощью которых будет анализироваться входящий текст, а затем – методы, с помощью которых составляются вопросы для тестов.

В качестве метода анализа исходного текста рассмотрен набор технологий *Text Mining*. В работе Е. С. Кутуковой [3, с. 34] говорится о том, что технология *Text Mining* представляет собой одну из разновидностей методов *Data Mining* и подразумевает процессы извлечения знаний и высококачественной информации из текстовых массивов.

К стадиям и задачам *Text Mining* можно отнести:

1. Поиск информации и выявление исходных данных.
2. Использование сугубо статистических методов анализа, а также процессов обработки естественного языка и средств лингвистического анализа.
3. Выявление смыслов – использование статистических и прочих техник для выявления поименованных признаков текста.
4. Выявление шаблонов.
5. Выявление перекрестных ссылок – обнаружение определений и прочих признаков, которые относятся к одним и тем же объектам.
6. Выявление взаимосвязей, фактов и событий – поиск связей между разными смыслами, заключенными в текстовой информации.
7. Смысловой анализ – распознавание субъективного (а не фактического) материала и выявление различных форм оценочной информации.

8. Количественный анализ текста – использование набора техник, которые заключаются в том, что человек либо компьютер извлекает семантические либо грамматические связи между отдельными словами, чтобы понять смысл стилистических шаблонов.

Выполнение описанных выше этапов позволит загруженный в информационную систему исходный текст учебника преобразовать в слова и словосочетания, которые далее можно использовать для генерации тестовых вопросов.

Вторым шагом в работе с генерацией тестов является формирование не только контрольных вопросов, но и вариантов ответов. Для данной задачи можно также использовать технологию *Text Mining*. В дополнение к этой технологии необходимо использовать тезаурус, который содержит набор синсетов (синонимов слов) – *RuWordNet* [4]. Данная библиотека позволяет оперировать данными в описанном тезаурусе. Предложенный метод анализа и автоматической обработки текстовой информации можно использовать в информационной системе генерации тестов, а именно для составления контрольных вопросов и вариантов ответов.

Описанные шаги можно представить в виде схемы, представленной на рис 1.

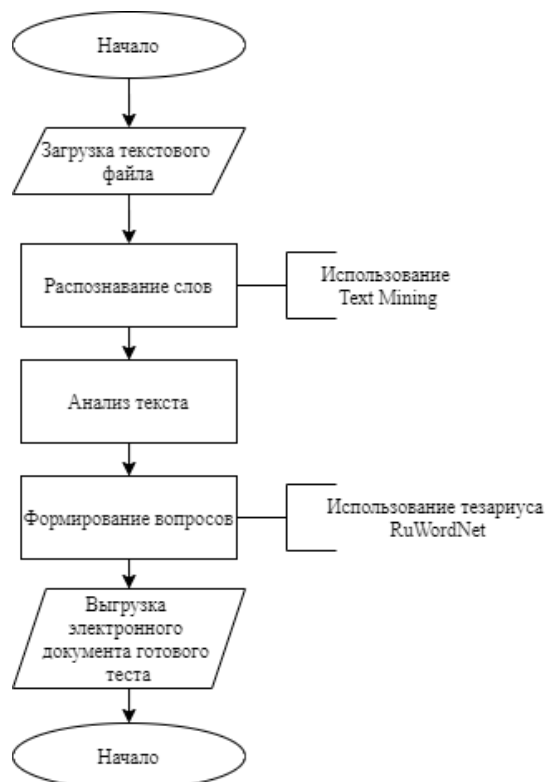


Рис. 1. Алгоритм автоматической генерации тестовых заданий

Представленная выше схема описывает алгоритм, реализованный в разрабатываемой информационной системе, которая позволит автоматизировать создание набора тестовых вопросов и вариантов ответов на них.

Результаты исследований. Для решения задачи автоматической генерации вопросов теста на основе текста учебного материала разработан алгоритм, предусматривающий использование методов *Text Mining* и внешней библиотеки *RuWordNet* для определения синонимов слов. У разрабатываемой информационной системы нет прямых аналогов, большинство подобных систем предлагают только функцию конструирования тестов, которые не сокращают время преподавателя на составление контрольных вопросов, а лишь делают его более удобным и интерактивным.

Информационная система позволит на основе загруженного файла с текстом, которым может быть лекция или учебник, после осуществления семантического анализа с помощью веб-сервиса сформировать готовый тест. Количество контрольных вопросов и вариантов ответов задается с помощью настроек, которые формируются перед началом генерации тестовых заданий. В итоге получается готовое контрольное задание, которое сформировано системой и не требует временных затрат со стороны преподавателя.

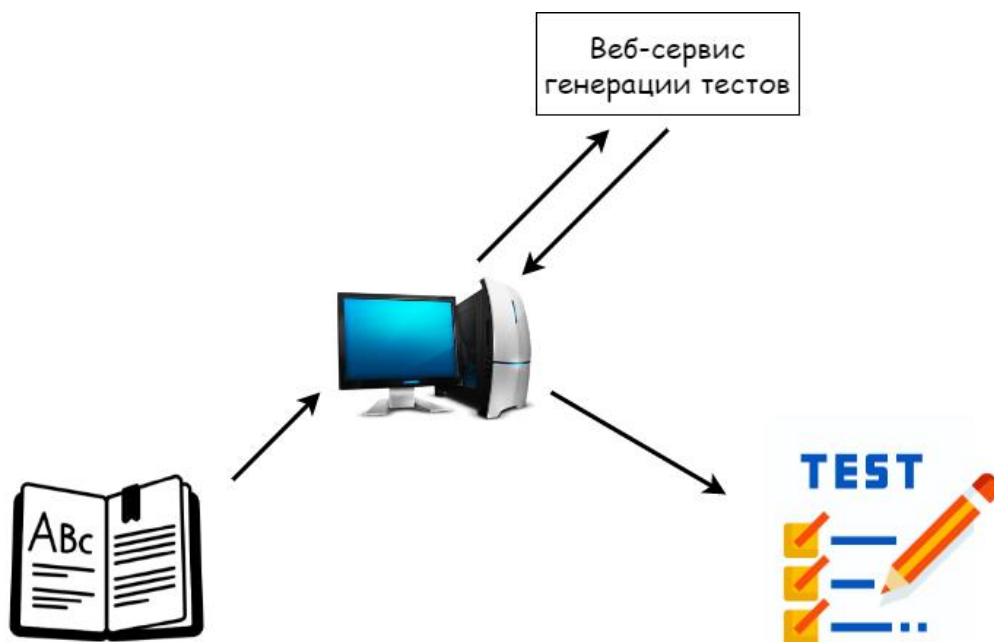


Рис. 2. Структурная схема процесса программной генерации тестовых заданий

Область применения разрабатываемого приложения довольно обширна. Основная её составляющая – образовательные организации. Но сюда также можно отнести предприятия, которые в качестве инструмента оценки знаний новых кадров или переподготовки уже имеющихся используют тестовый формат контрольных заданий. Это позволит сократить время сотрудника-наставника, которое он может использовать для занятия своими прямыми обязанностями.

Выводы. В статье рассмотрены способы и подходы к решению задачи автоматической генерации тестов. Также предложено алгоритмическое обеспечение информационной системы для автоматической генерации тестов на основе текстовой информации учебников. Прямых аналогов для информационной системы автоматической генерации тестов не найдено, а программы-конструкторы не сокращают время, потраченное преподавателем на составление теста. Информационная система автоматического генерирования тестовых заданий может применяться в образовательных и других организациях, которые используют тестирование.

Библиографический список

1. Красовская Л. В. Информационные технологии в системе образования. Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах : материалы XI Всерос. конф. по проблемам науки высш. школы. (18–19 мая 2006 г.), 2006. С. 68–76.
2. Батура Т. В. Семантический анализ и способы представления смысла текста в компьютерной лингвистике // Программные продукты и системы. Тверь : ЗАО НИИ ЦПС, 2016. № 4. С. 45–57.
3. Кутукова Е. С. Технология Text Mining // Сборник научных трудов SWORLD. 2013. Т. 30. № 4. С. 33–36.
4. Лукашевич Н. В., Лашевич Г., Герасимова А. А. Порождение тезауруса типа WordNet для русского языка // Труды конференции по искусственному интеллекту КИИ-2016. 2016. Т. 2. С. 89–97.

Разработка технологического решения внедрения системы мониторинга на производство фольгированного стеклотекстолита

М. В. Нижегородова^a, И. С. Черенёв^b

кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления^a

студент группы ИТм-1301-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: usr21801@vyatsu.ru^a, stud142515@vyatsu.ru^b

Аннотация. Объектом исследования является производство фольгированного стеклотекстолита. В статье рассматривается проблема традиционного метода мониторинга, применяемого на данном производстве. Актуальность мониторинга системы обусловлена ростом требований к стабильности производственных процессов в настоящее время. Основной целью данной статьи является разработка технологического решения для внедрения системы автоматизированного сбора данных с использованием новейших технологий Интернета вещей. В ходе исследования были выделены ключевые параметры производства фольгированного стеклотекстолита, которые необходимо мониторить, недостатки ручного режима сбора данных, применяемого в настоящий момент на производстве. Проанализированы возможные сетевые технологии Интернета вещей, которые можно использовать в качестве коммуникаций между устройствами в производственных цехах. Технология *LoRaWAN* выделена как один из наиболее универсальных, дешевых и простых в развертывании стандартов в контексте данного производства. Описанное в данной статье исследование может применяться при разработке систем мониторинга в этой или схожей отрасли.

Ключевые слова: производственный процесс система мониторинга, фольгированный стеклотекстолит, Интернет вещей, *LoRaWAN*.

Введение. В настоящее время на производстве фольгированного стеклотекстолита мониторинг производственного процесса осуществляется путем наблюдения инженером-технологом за работой устройств и фиксирования их параметров на бумажном носителе. За последние годы в мире наметилась тенденция роста требований к стабильности процессов, мониторингу как состояния производственного оборудования, так и всего производственного процесса.

Одна лишь организация производства не может в полной мере обеспечить достижение требуемых параметров, оптимальное ведение производственного процесса. Неточности в производственном процессе могут приводить к значительным потерям и способствуют ужесточению требований к качеству изделий, что ведет к необоснованным издержкам производства. В связи с этим мониторинг производственных процессов приобретает особую важность.

Целью исследования является мониторинг производственных процессов изготовления фольгированного стеклотекстолита и состояния цехового оборудования в реальном времени.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Проанализировать и определить ключевые параметры производства, которые необходимо мониторить.
2. Определить подходы к решению задачи развертывания системы мониторинга на производстве с применением технологий Интернета вещей.
3. Разработать технологическое решение сетевых коммуникаций в системе мониторинга производственного процесса изготовления фольгированного стеклотекстолита.

Ведущий подход. Объектом исследования является предприятие по производству фольгированного стеклотекстолита. Предмет исследования – система мониторинга процесса производства фольгированного стеклотекстолита, характеризуемого влиянием стабильности технических параметров на качество готовой продукции. В качестве методов исследования применены аналитический обзор технической информации, системный подход к рассмотрению и описанию объекта.

Результаты исследований. На рассмотренном производстве фольгированного стеклотекстолита объектом труда являются упругие слоистые пластики, изготовленные на основе стеклоткани и покрытые с одной или с двух сторон проводящей фольгой – листовым проводниковым материалом, предназначенным для образования проводящего рисунка платы. Они применяются для изготовления печатных плат любого назначения при производстве приборов бытовой техники, промышленного оборудования, вычислительной техники [1]. Технология производства состоит из нескольких последовательных этапов, изображенных на рис. 1.

Производственный цех включает в себя несколько параллельных производственных линий. Технологический процесс состоит по большей части из машинных операций и выполняется на станках и установках. Среди производственных этапов есть несколько требовательных к стабильности показателей в ходе выполнения процесса: это пропитывание стеклоткани лаком и прессование пакетов препрега с фольгой.

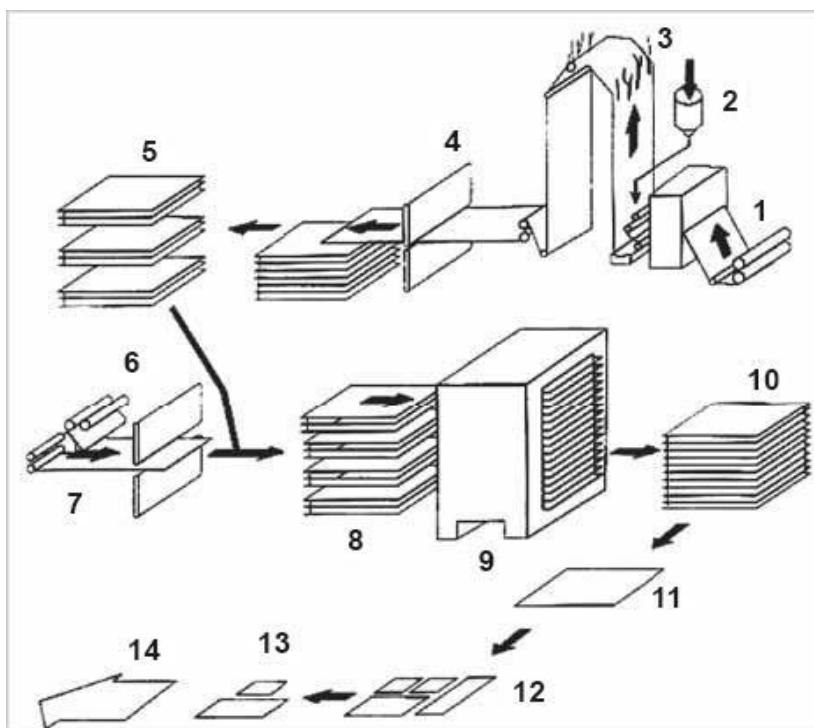


Рис. 1. Технология производства фольгированного стеклотекстолита

Рулоны стеклоткани загружаются в пропиточную машину. Там они пропускаются через ванночку с лаком (рис. 1(2)). После этого ткань сушится в специальной вертикальной печи. Существует несколько марок фольгированного стеклотекстолита со своими требованиями к температурным показателям в печи и ванночке с лаком в процессе производства [2].

Готовые листы препрега и фольги укладываются в пакеты и подаются в пресс (рис. 1(9)). Процесс прессования состоит из нескольких последовательных этапов повышения давления и температуры. Режим работы прессы (его параметры температуры и давления) также зависит от марки стеклотекстолита и должен быть строго соблюден.

Указанные параметры прямым образом влияют на качество готовой продукции, поэтому поддержание их корректности и стабильности в процессе производства становится первостепенной задачей. Процедурой обеспечения надежного функционирования системы организации и диагностирования состояния всех ее звеньев является мониторинг.

Система мониторинга производственного процесса предоставляет возможность непрерывного измерения и регистрации основных параметров, в том числе предаварийных и аварийных режимов станочного парка в процессе экс-

плуатации. Современные системы работают по принципу сбора данных различными устройствами, хранения и анализа данных с выдачей рекомендаций по оптимизации производственного процесса, визуализации этих данных [3].

На производстве фольгированного стеклотекстолита применяется традиционный способ измерения, заключающийся в отслеживании технологических параметров на каждом этапе производственной цепочки изготовления изделия, а также технических параметров производственного оборудования, которые влияют на параметры изделия, например скорость пропит-машины, температура в зонах, где происходит сушка пропитанной стеклоткани. Личное снятие замеров не позволяет получить полноценную картину целостности объекта, важную для раннего обнаружения критических ситуаций и принятия своевременных управленческих решений.

Внедрение системы мониторинга позволит повысить эффективность производства, исключить влияние человеческого фактора при интерпретации полученных данных. За счет получения оперативных и точных данных о состоянии процесса сократится количество брака, время простоя оборудования, повысится качество продукции, уменьшатся затраты как на ремонт, так и на ручной труд.

В рамках производства фольгированного стеклотекстолита существует несколько параметров, которые необходимо мониторить. К ним относятся: температура в двух зонах печи пропиточной машины, температура в ванночке с лаком, скорость вращения вала пропиточной машины, температура и давление прессования пакетов с фольгой и препрегом. Эти данные должны собираться с каждой производственной линии.

Для мониторинга необходимо организовать сбор и регистрацию данных в процессе выполнения всех видов операций. Современной технологией для построения таких систем является Интернет вещей, концепция которого представляет собой развертывание множества «умных» объектов, способных воспринимать окружающую среду, передавать и обрабатывать полученные данные, а затем отправлять обратную связь внешней среде [4].

Мониторинг производственного процесса можно осуществлять непосредственно с помощью устройства, оснащенного средствами для передачи данных, либо с дополнительно установленными устройствами контроля, которые подключаются к локальной сети и оснащаются всевозможными датчиками.

Для разработки технологического решения были рассмотрены различные технологии, с помощью которых можно осуществить передачу данных в условиях производственного цеха. Одной из таких технологий является *ZigBee* – технология, основанная на радиостандарте IEEE 802.15.4. Основная особенность технологии заключается в том, что она поддерживает самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Недостатком является ограниченная дальность действия, работа в нагруженном диапазоне 2,4 ГГц. [5]. Однако надежность передачи данных по технологии *ZigBee* в условиях цеха будет небольшой из-за большого количества электромагнитных помех.

Была рассмотрена возможность использования технологии *6LoWPAN*. Данная сетевая технология использует в сенсорных сетях распространенный протокол *IPv6*, применяет популярные стандарты, такие как *HTTP*, *UDP*, *TCP*, *COAP*, устанавливает между всеми узлами *IP*-адресацию. Архитектура *6LoWPAN* также поддерживает надежную и масштабируемую ячеистую сеть. Как и *ZigBee*, не требует лицензии РЧ-спектра. Кроме малого радиуса действия, к недостаткам относится отсутствие готовых решений на рынке, в связи с чем необходимо разрабатывать устройства для каждой конкретной задачи [6].

NB-IoT является одним из самых распространенных стандартов сотовой связи для подключения устройств Интернета вещей. Наибольшее применение эта технология нашла в концепции «умного города». Эта технология может быть развернута на базе сотовых сетей *LTE*. В *NB-IoT* канал связи более защищен из-за использования лицензируемого спектра частот. Устройства способны работать в большом радиусе и обладают низким энергопотреблением. Технология позволяет использовать готовую инфраструктуру мобильных операторов, однако развернута такая сеть очень точно на территориях крупных городов

[7]. В связи с этим в рамках условий производства могут возникнуть сложности в организации передачи данных.

В последнее время активно развиваются альтернативные беспроводные технологии с низким потреблением, работающие на частотах общего пользования, не требующие наличия развернутой сети сотового оператора – *LPWAN*. Данная группа стандартов, в силу ряда своих преимуществ, становится крайне востребованной при реализации концепции «умных городов», автоматизированных цифровых производств с использованием технологии Интернета вещей. Среди них наиболее перспективной технологией передачи данных, в частности в промышленном Интернете вещей, с большим радиусом действия и низким собственным потреблением мощности является *LoRaWAN*.

Ключевой особенностью *LoRaWAN* является ее открытая бизнес-модель, которая предусматривает создание локальных частных сетей. В некоторых условиях низкое энергопотребление может обеспечить несколько лет автономной работы устройства на одной батарее питания. На рынке существует большое количество готовых устройств под разные задачи. Технология может управлять скоростью передачи данных и назначать ее каждому прибору индивидуально, что позволяет увеличить как время автономной работы конечных устройств, так и общую пропускную способность сети [8].

Архитектура сети состоит из конечных устройств и шлюза, которые общаются между собой посредством линейной частотной модуляции. В технологии предусмотрено три класса устройств для различных задач применения, отличающихся режимами приема. Устройства класса «А» передают сообщения по указанному графику, остальное время они находятся в спящем режиме. Данный класс обладает минимальным потреблением энергии, однако возможности обратной связи сервера с устройством ограничены. Устройства класса «В» дополнительно выделяют окно приема, которое открывается по расписанию. Это окно позволяет начать передачу данных в заранее определенное время. Наибольшим окном приема обладают устройства класса «С». Такой режим работы позволяет использовать сети для решения ряда задач, требующих передачи боль-

шого объёма данных. Однако устройства данного класса потребляют больше всего энергии [8].

Таким образом, было принято решение использовать для сетевых коммуникаций внутри цеховых помещений именно технологию *LoRaWAN*, которая, по мнению специалистов, является одним из самых универсальных решений, позволяющих быстро и недорого развернуть сеть из множества датчиков, не требовательную к высокой скорости передачи.

Выводы. Исследована проблема применяемого в настоящий момент традиционного способа мониторинга на производстве фольгированного стеклотекстолита. Выделены ключевые параметры производственного процесса, требующие мониторинга. Проанализированы преимущества, которые сможет дать внедрение системы мониторинга, такие как снижение количества брака, исключение влияния человеческого фактора, сокращение внепланового обслуживания и сбоев. Выполнен анализ основных сетевых стандартов, используемых в Интернете вещей. Обоснован выбор технологического решения использования технологии *LoRaWAN* в промышленном производстве фольгированного стеклотекстолита. Результаты исследований могут применяться при разработке систем мониторинга в этой или схожей отрасли.

Библиографический список

1. Технологии производства стеклотекстолита. URL: <https://www.mosizolit.ru/tehnologii/> (дата обращения: 11.12.2021).
2. Фольгированный стеклотекстолит. URL: <http://elmica.ru/nasha-produkciya/sloistye-plastiki/folgirovannye-dielektriki/folgirovannye-dielektriki1.html> (дата обращения: 11.12.2021).
3. Фомина А. Э., Карлова Т. А. Система мониторинга как основа совершенствования качества производственных процессов // Инфокоммуникационные технологии. 2018. Т. 16. № 4. С. 437–441.
4. Васильев И. В., Концов А. В., Кудрявцев Д. Н. ПоТ: сети, перспективы, развитие // Novaum.ru. 2018. № 14. С. 17–20.
5. Протокол ZigBee для IoT. URL: <https://www.macrogroupp.ru/catalog/productline/18889> (дата обращения: 23.12.2021).
6. Раскрываем тайны 6LoWPAN. URL: <https://www.compel.ru/lib/74348> (дата обращения: 23.12.2021).
7. Технология NB-IoT в России: устройства, инфраструктура и внедрение. URL: <https://www.euromobile.ru/m2m-resheniya/tekhnologiya-nb-iot-v-rossii-ustroystva-infrastruktura-i-vnedrenie/> (дата обращения: 23.12.2021).
8. Performance Analysis of LoRaWAN in Industrial Scenarios / D. Margin, M. Capuzzo, A. Zanella, L. Vangelista // IEEE Internet of Things Journal. 2021. Vol. 17. № 9. Pp. 6241–6250.

Критерии состояния оборудования объектов электроэнергетики

А. В. Новиков^a, О. А. Новоселова^b, Е. Н. Хорошнина^c, А. М. Мухаметзянов^d

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрических станций^a
старший преподаватель кафедры электрических станций^{b, c}

студент группы ЭиЭм-2805-05-00^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: novikov@vyatsu.ru^a, novoselova@vyatsu.ru^b, en_horoshinina@vyatsu.ru^c,
stud123960@vyatsu.ru^d

Аннотация. В статье идёт речь о том, что в последние годы многие предприятия энергетического профиля перешли от нормативного планирования ремонтов высоковольтного оборудования к их проведению по необходимости в зависимости от технического состояния. Поскольку единого обобщающего документа, содержащего критерии оценки результатов диагностики, не существует, в работе приведены рекомендации, позволяющие дать максимально объективную оценку состояния оборудования и аргументировать принимаемые решения.

Ключевые слова: оборудование, срок службы, состояние, методы диагностики, дефект, анализ.

Основной документ, регламентирующий объём и нормы испытаний электрооборудования, существует, но был утверждён в 1998 г. и в значительной мере устарел [1], а ГОСТ-11677-85 на трансформаторы введён ещё раньше [2]. Кроме того, в нынешней экономической ситуации выполнение норм испытаний в полном объёме практически неосуществимо, так как связано с большими материальными затратами. Оценить объём необходимых вложений можно по численности силовых трансформаторов, стоящих на балансе энергетических предприятий. На кировских ТЭЦ блочного типа установлено девять трансформаторов на напряжение 110 кВ и два трансформатора на напряжение 220 кВ. Значительно больше трансформаторов эксплуатируется предприятиями электрических сетей. Количество подстанций (п/ст) разного напряжения показано на круговой диаграмме (рис. 1).

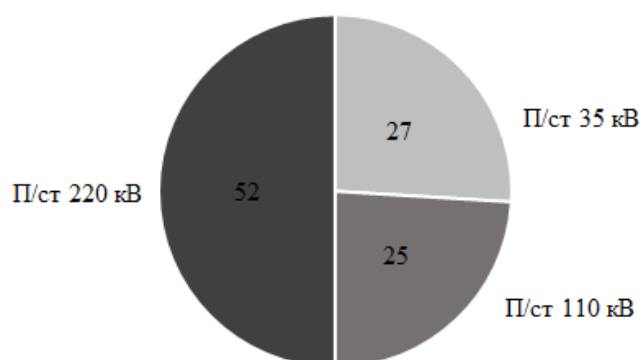


Рис. 1. Число подстанций на балансе предприятий «Кировэнерго»

Количество трансформаторов, установленных на подстанциях напряжением 35–220 кВ, показано на рис. 2.

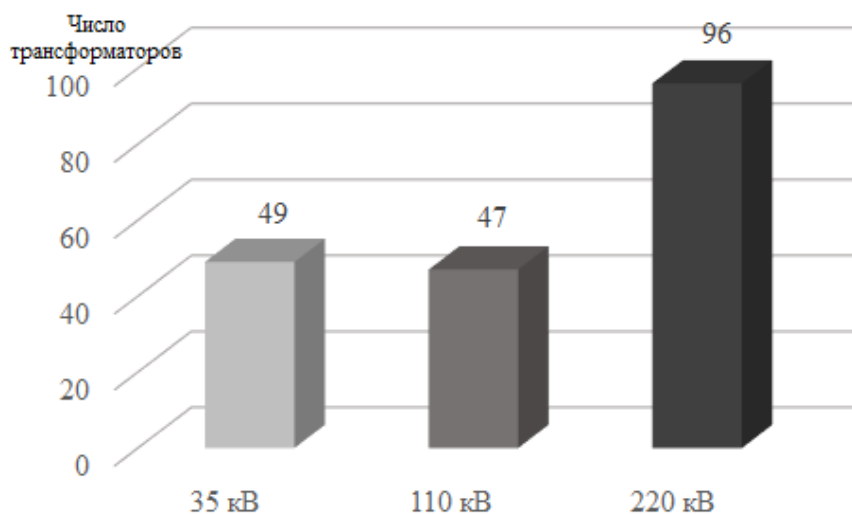


Рис. 2. Количество трансформаторов на подстанциях «Кировэнерго»

Большинство (56%) силовых трансформаторов напряжением 110 и 220 кВ работают с превышением гарантированного срока эксплуатации – 25 лет [4, 5]. Более 100 трансформаторов должны были уже пройти капремонт, а прошли только единицы. Основная причина состоит в том, что капитальный ремонт одного трансформатора в полном объеме требует несколько миллионов рублей. Кроме того, опыт многих стран показывает, что трансформаторы могут работать с превышением срока эксплуатации многие годы при надлежащем контроле за состоянием изоляции, элементов активной части, устройством РПН и других наиболее подверженных старению узлов.

За прошедшие двадцать лет появилось много новых методов диагностики высоковольтного оборудования, в том числе не разрушающих изоляцию [3]. На электростанциях и предприятиях электрических сетей применяют разработанные недавно приборы как отечественного, так и импортного производства. Полученные с их помощью результаты не могут заменить традиционные, например, высоковольтные испытания, но дают много ценной информации для размышления. В устаревших нормах, естественно, нет оценки опасности дефектов, выявленных новыми методами, и рекомендаций, позволяющих прогнозировать негативные последствия. А такие рекомендации были бы полезны при приня-

тии решений как о возможном продлении срока эксплуатации, так и для обоснования необходимости проведения внеплановых ремонтов (или отсрочки плановых), что в конечном итоге избавило бы энергетические компании от затрат, неизбежных при замене оборудования после аварий. Руководствуясь ими, можно было бы существенно снизить социальные и экономические риски, связанные с недоотпуском электроэнергии потребителям или поломкой дорогостоящего оборудования.

Самым простым и доступным методом обнаружения внешних дефектов оборудования является визуальный контроль – осмотр, осуществляемый дежурным электромонтёром путём регулярного обхода распределительного устройства, например, при сдаче рабочей смены. Он был и должен проводиться, но более эффективным в современных условиях является контроль, осуществляемый с помощью цифровых видеокамер, позволяющих производить видеосъёмку в режиме онлайн. На Кирово-Чепецкой ТЭЦ-3 на ОРУ 110 кВ такое оборудование успешно эксплуатируется уже более пяти лет и используется не только для диагностики состояния высоковольтного оборудования, но и для контроля срабатывания (включения и отключения) разъединителей с дистанционным приводом.

В настоящее время камеры вида IP, связанные с Интернетом, имеющие дальность действия до 20 метров, позволяют непрерывно контролировать состояние наиболее проблемного оборудования. Если на подстанции имеется труднодоступное для такого контроля оборудование, то его диагностику можно проводить вручную переносной камерой, например, один раз в неделю. Стоимость камер, предназначенных для работы в широком диапазоне температур, составляет примерно 15–20 тысяч рублей [6, 10].

Наряду с визуальным контролем применяются и другие виды диагностики, которые получили распространение в трёх важнейших направлениях:

1. Обнаружение отклонений от номинальных параметров оборудования и выявление вызвавших их причин.

2. Фиксация потенциально опасных изменений на ранней стадии развития дефектов, наблюдение за их развитием и долгосрочный прогноз состояния оборудования.

3. Определение места, вида и размеров повреждения.

Среди выявляемых дефектов можно выделить четыре вида:

1. заводские,
2. внешние,
3. внутренние,
4. вероятностные.

Период приработки характерен для функционирования не только электрических машин, трансформаторов, коммутационных аппаратов, но и другого оборудования. Причинами повреждений в этот период могут быть просчёты в изготовлении оборудования, скрытые заводские дефекты (из-за некачественной сборки, литья или сварки) и др.

Внешние повреждения связаны с разрушением изоляции из-за микротрещин, возникающих от воздействия влаги, колебания температур и других природных явлений.

Внутренние повреждения возникают из-за старения изоляции обмоток трансформатора, вибрации пластин магнитопровода, искрения контактов устройства РПН и иных причин.

Наибольший процент отказов у силовых трансформаторов фиксируется в первые пять лет эксплуатации по причине выявления заводских дефектов и дефектов монтажа, а также после 35 лет из-за старения оборудования (рис. 3).

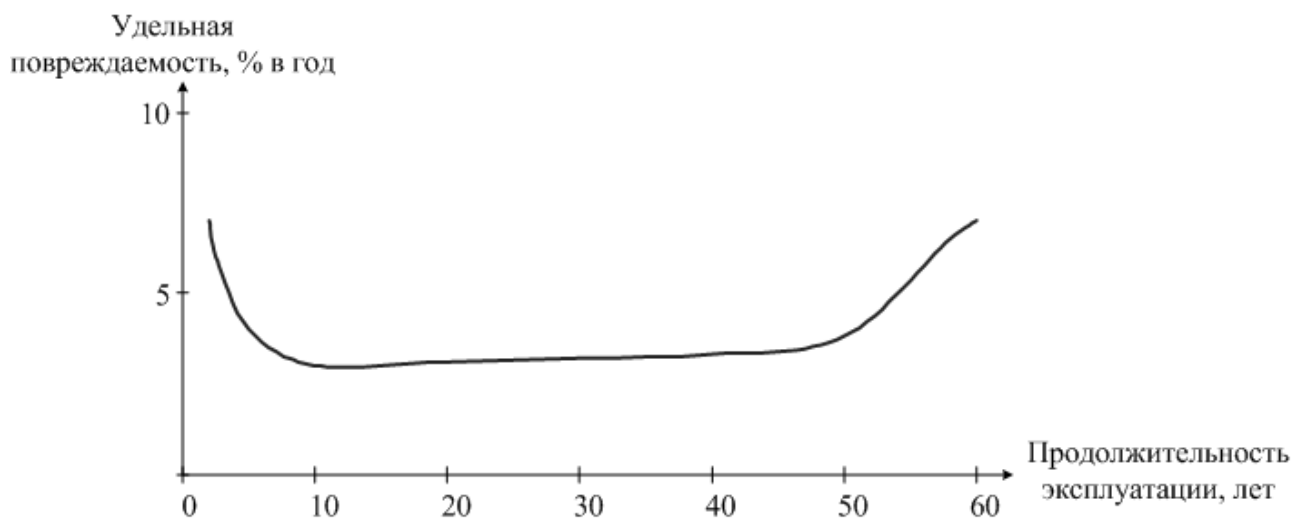


Рис. 3. Зависимость удельной повреждаемости трансформаторов от срока эксплуатации

При выявлении дефекта возможны следующие решения:

1. Заменить оборудование, его часть или элемент.
2. Выполнить ремонт и провести дополнительное обследование.
3. Оставить в эксплуатации, поставив на учащённый контроль.

Вероятностные методы основаны на определении вероятности отказов оборудования.

Более резкий рост повреждаемости характерен для трансформаторов блочных электростанций. По сравнению с сетевыми, блочные трансформаторы работают с более высоким коэффициентом заполнения графика нагрузки, что приводит к ускорению физико-химических процессов и быстрому старению изоляции. Сетевые трансформаторы работают с меньшими нагрузками, что позволяет продлить изоляционный ресурс и сместить второй всплеск повреждаемости примерно на пять лет (рис. 4) [6, 8, 9].

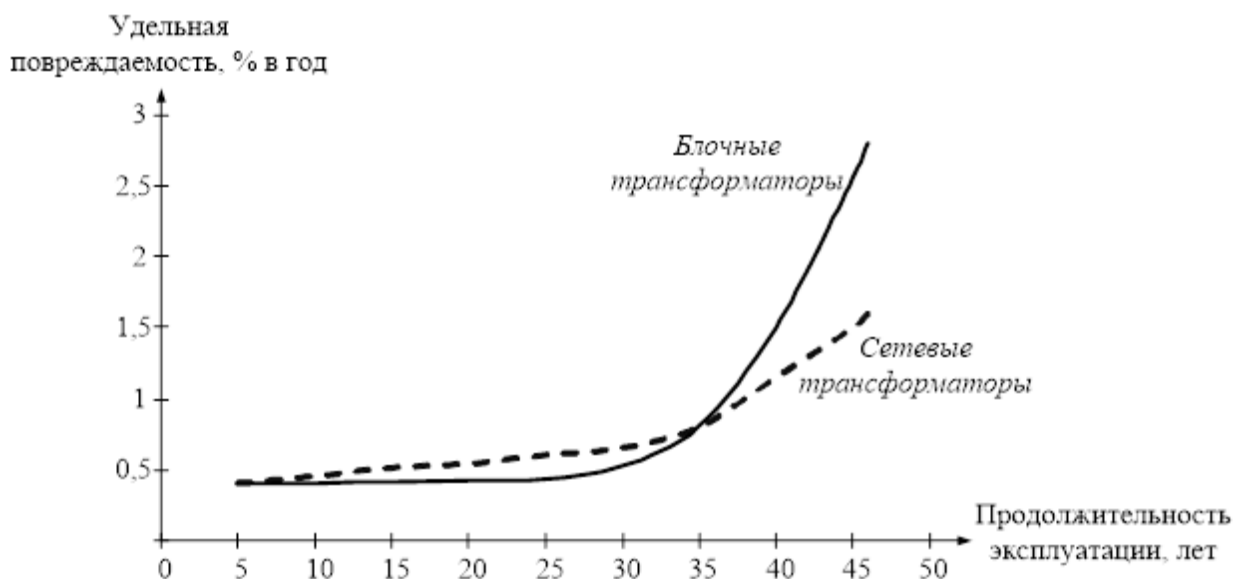


Рис. 4. Удельная повреждаемость сетевых и блочных трансформаторов

Оценка вероятности отказа оборудования важна для определения необходимого резерва. Расчёт вероятности выхода из строя единицы оборудования V производится по формуле [7]:

$$V = t_b + T,$$

где t_b – суммарная длительность ремонтов за пять лет,

T – время работы оборудования за пять лет.

Полученные результаты позволяют дать следующий прогноз:

- Вероятность V меньше 0,3 означает, что оборудование надёжно и выход его из строя маловероятен.
- Вероятность V от 0,3 до 0,7 – оборудование подверглось износу и требует дополнительных мер диагностики, но может эксплуатироваться под контролем.
- Вероятность V более 0,7 – оборудование находится в критическом состоянии и нуждается в неплановом ремонте.

Чем меньше вероятность суммарного выхода оборудования из строя, тем меньше могут быть запланированы затраты на создание резервного фонда.

При подготовке статьи были использованы данные о состоянии оборудования не только в Кировской, но и соседних областях.

Выводы:

1. Руководящие документы РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» в значительной степени устарели. Кроме того, изложенные в них требования в нынешней экономической ситуации в полном объёме практически не выполнимы.

2. За прошедшие двадцать лет появилось много новых методов диагностики высоковольтного оборудования. В устаревших нормах, естественно, нет оценки опасности дефектов, выявленных новыми методами, и рекомендаций, позволяющих прогнозировать негативные последствия.

3. Анализируя ситуацию в Кировской и соседних областях, авторы дают рекомендации о том, какие новые методы можно использовать для продления срока эксплуатации высоковольтного оборудования.

Библиографический список

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под общ. ред. Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. 6-е изд., с изм. и доп. М. : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. 256 с.
2. ГОСТ-11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия: принят 24.09.1985; действ. с 01.07.1986. М., 1986. URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-11677-85> (дата обращения: 10.01.2022).
3. Способы диагностики РПН трансформаторов // Электротехнический рынок. 2013. № 3 (51). С. 91–93.
4. Новиков А. В., Новоселова О. А., Хорошина Е. Н. О продлении срока эксплуатации высоковольтного оборудования // Advanced science : научный журнал. Киров, 2019. № 1 (12). С. 53–56.

5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / АО «Фирма ОРГРЭС» при участии ВТИ, ВНИИЭ, ЦКБ Энергоремонта, ЦДУ ЕЭС России под руков. д. т. н., проф., чл.-корр. РАН Дьякова А. Ф. 15-е изд., перераб. и доп. М. : СПО ОРГРЭС, 2003. 155 с.
6. Карандаева О. И. Характеристика повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2011. № 34. С. 15–20.
7. Хахимов А. В. Критерии выявления дефектов электрического оборудования в условиях Крайнего Севера // Энергия единой сети. 2021. № 3. С. 28–33.
8. Львов М. Ю., Львова М. М. К вопросу о длительной эксплуатации силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Энергетик. 2014. № 5. С. 27–30.
9. Баширов М. Г., Хисматуллин А. С., Галлямов Р. У. Интегральный критерий оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов // Энергетик. 2016. № 7. С. 24–26.
10. Львов М. Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27–31.

Три варианта цифровизации электрических подстанций 35–110 кВ

А. Н. Ожегов^а, С. Р. Останина^б

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения^а

студент группы ЭиЭб-4804-03-00

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: ojegov@vyatsu.ru^а, stud106134@vyatsu.ru^б

Аннотация. Одной из важных задач цифровизации энергетики является задача внедрения цифровых подстанций. В статье приведены достоинства цифровых подстанций, показано, что в ситуации крайне низких темпов внедрения новых цифровых подстанций в ПАО «Россети» хорошей возможностью является модернизация существующих подстанций до уровня цифровых, поэтому вопросы, исследованные в данной статье, являются актуальными. Цель данной статьи – выделение и анализ вариантов цифровизации для существующих подстанций с высшим напряжением 35–110 кВ. В статье применены такие методы исследования, как сравнение, описание и измерение, использованы анализ и сравнение. Объектом исследования являются подстанции энергосистемы и главные понизительные подстанции промышленных предприятий. Для достижения поставленной цели выделены три варианта модернизации подстанций 35–110 кВ, все варианты проанализированы с точки зрения достигаемых преимуществ и потраченных на модернизацию средств. Сделан вывод, что наиболее предпочтительным вариантом цифровизации подстанций 35–110 кВ по эффективности использования средств и получаемых достоинств является вариант 2 (с использованием протоколов GOOSE и MMS).

Ключевые слова: цифровая подстанция, электрическая подстанция, модернизация.

Введение. Информационные технологии оказывают существенное влияние на современный этап мирового экономического и социального развития. Цифровая трансформация без преувеличения является главным трендом во всех без исключения сферах человеческой деятельности. При этом энергетика как базовая отрасль промышленности была и остается пионером цифровизации [1].

Одной из важных задач цифровизации энергетики является задача внедрения цифровых подстанций. Цифровая подстанция – это подстанция электро-технической системы с высоким уровнем автоматизации, в которой процессы информационного объема между элементами подстанции, а также управление работой подстанции осуществляются в цифровом виде на основе стандартов МЭК 61850 [3].

К достоинствам цифровых подстанций следует отнести следующее [2]:

1. Использование самого современного первичного интеллектуального оборудования. Такие устройства обмениваются только цифровыми сигналами через общую коммуникационную сеть подстанции.

2. Переход от подстанций с постоянным обслуживающим персоналом к подстанциям, обслуживаемым выездными бригадами. Переход от обслуживания «по графику» на обслуживание «по состоянию» и соответствующего уменьшения необходимого объема работ по обслуживанию оборудования. Стремление к полной автоматизации процессов на подстанции и управления ими даже с использованием удаленных облачных технологий [4].

3. Повышение наблюдаемости и управляемости подстанции, что приводит к сокращению времени простоя оборудования. Сокращение количества кабельных связей, вследствие чего повышается надежность работы оборудования РЗА и ПА и становится возможной постоянная самодиагностика всех информационных связей.

4. Сокращение сроков строительства и затрат на монтаж и наладку оборудования за счет высокой степени заводской готовности поставляемого оборудования (при применении типовых решений).

Несмотря на все преимущества, темпы ввода новых цифровых подстанций в сетях ПАО «Россети» остаются крайне низкими. Так, в 2019 г. была введена только одна полностью цифровая подстанция, в 2025 г. планируется ввод 30 цифровых подстанций. Чаще вводятся в эксплуатацию подстанции с применением оборудования, соответствующего МЭК 61850 (т.е. частично цифровых подстанций), например, в 2019 г. было введено 223 таких подстанции. В сложившейся ситуации хорошей возможностью является модернизация существующих подстанций до уровня цифровых, поэтому вопросы, исследованные в данной статье, являются актуальными.

Однако такая модернизация связана с большими капиталовложениями, при этом важным обстоятельством является как окупаемость вложенных средств, так и техническая обоснованность выбора варианта модернизации. Большая работа по исследованию цифровых подстанций ведется в ФСК (линии 500 кВ и более), однако не обнаружено рекомендаций для модернизации подстанций напряжения 35–110 кВ до цифровых.

Целью данной статьи является выделение и анализ вариантов цифровизации для существующих подстанций с высшим напряжением 35–110 кВ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить варианты модернизации подстанций 35–110 кВ.

2. Проанализировать их с точки зрения достигаемых преимуществ и потраченных на модернизацию средств.

Ведущий подход. В статье применены такие методы исследования, как сравнение, описание и измерение, использованы анализ и сравнение. Объектом исследования являются подстанции энергосистемы и главные понизительные подстанции промышленных предприятий.

Результаты исследований и их обсуждение. Выделяется три архитектуры построения ЦПС:

1. Вариант 1. Обмен всей информацией между интеллектуальными устройствами осуществляется посредством контрольного кабеля дискретными и аналоговыми электрическими сигналами. Информационный обмен с верхним уровнем (SCADA) осуществляется по цифровому протоколу MMS.

2. Вариант 2. Взаимодействие между интеллектуальными устройствами выполняется при помощи объектно ориентированных сообщений (протокол GOOSE) согласно стандарту МЭК 61850-8-1; информационный обмен с верхним уровнем (SCADA) осуществляется по цифровому протоколу MMS. По контрольному кабелю передаются измерения тока и напряжения в виде электрических аналоговых сигналов.

3. Вариант 3. Взаимодействие между интеллектуальными устройствами выполняется при помощи объектно ориентированных сообщений (протокол GOOSE) согласно стандарту МЭК 61850-8-1; информация от измерительных устройств тока и напряжения передается в цифровом виде с использованием протокола передачи мгновенных значений (SV) согласно стандарту МЭК 61850-9-2; информационный обмен с верхним уровнем (SCADA) осуществляется по цифровому протоколу MMS.

В первом варианте проведенную модернизацию сложно назвать полноценной, поскольку цифровизация затронула только верхний уровень, повышается наблюдаемость подстанций, появляется возможность контролировать ра-

боту подстанции удаленно. Такая реконструкция практически не приводит к повышению надежности оборудования, остается необходимость присутствия на подстанции и оперативного персонала.

Во втором варианте не меняется основное энергетическое оборудование подстанции: выключатели, трансформаторы тока и напряжения, что значительно снижает затраты на модернизацию. Данный вариант характеризуется глубоким применением интеллектуальных устройств, в том числе устройств РЗА, повышением надежности данных систем, повышением наблюдаемости и управляемости. Для подстанций 35–110 кВ появляется возможность сокращения оперативного персонала вплоть до перехода на обслуживание «по состоянию».

Третий вариант представляет уже полноценную цифровую подстанцию, однако характеризуется значительными капитальными затратами, поэтому, несмотря на значительное количество достоинств, этот вариант следует признать неэффективным для подстанций 35–110 кВ.

Выводы. Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Выделены три варианта модернизации подстанций 35–110 кВ.
2. Наиболее предпочтительным вариантом цифровизации подстанций 35–110 кВ с точки зрения эффективности использования средств и достоинств является вариант 2 (с использованием протоколов GOOSE и MMS).

Библиографический список

1. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н. Д. Рогалева. М. : Издательство МЭИ, 2019. 300 с. URL: http://nts-ees.ru/sites/default/files/cifrovaya_energetika_blok.pdf.
2. СТО 56947007-29.240.10.299-2020 Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС Стандарт организации. Дата введения: 26.02.2020 ПАО «ФСК ЕЭС» 2020.
3. Создание новых электрических подстанций и реконструкция действующих с использованием цифровых технологий / Орлов А.М. Главный инженер Белэнергосетьпроект.
4. Оптимальные решения для цифровизации электрических сетей // Энергетика и промышленность России. 2018. № 22 (354). URL: <https://www.eprussia.ru/epr/354/3300554.htm> (дата обращения: 25.01.2022).
5. Разработка и внедрение ЦПС на вновь строящихся и реконструируемых объектах энергетики. Апрель 2018 / А. С. Шеметов. URL: <http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/04/4.-FSK.pdf> (дата обращения: 25.01.2022).

Исследование хлебопекарной печи тоннельного типа с целью её дальнейшей автоматизации

С. И. Охупкин^а, С. А. Мокрушин^б

кандидат технических наук, доцент кафедры ЭПиАПУ^а

кандидат технических наук, доцент кафедры АСУБП^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^а

Московский государственный университет пищевых производств,

Москва, Российская Федерация^б

E-mail: ohapkin@vyatsu.ru^а, mokrushin@mgupp.ru^б

Аннотация. В статье рассматривается процесс автоматизации хлебопекарной печи тоннельного типа. Основой создания системы автоматического управления является программируемый логический контроллер, на который возложены функции управления оборудованием, непрерывного слежения за ходом технологического процесса, поддержания на требуемом уровне некоторых технологических параметров (давление, разрежение), анализ аварийных ситуаций и в случае аварии прекращение подачи топлива к печи и останов оборудования. В статье рассматривается работа хлебопекарной печи в автоматическом режиме, её конструктивные особенности и требования к системе управления. Предлагается схема системы автоматического управления, учитывающая обозначенные особенности и требования. В виде блок-схемы представлен алгоритм работы программируемого логического контроллера, на базе которого и модулей ввода-вывода реализованы все основные функции управления установкой, а также контроль аварийных ситуаций.

Ключевые слова: автоматизация, система управления, программируемый логический контроллер, хлебопекарная печь, температура.

Введение. На крупных хлебопекарных предприятиях используется разнообразное хлебопекарное оборудование, в том числе хлебопекарные печи тоннельного типа.

Помимо строгого обеспечения технологических режимов, насущным требованием к работе печей является экономичность. Данные условия, как правило, обеспечиваются полной автоматизацией процесса [1].

Система управления должна реализовывать решение следующих задач:

- регулирование температуры в пекарной камере;
- контроль температуры на выходе топки;
- защита электрооборудования от перегрузок и коротких замыканий;
- блокировка сжигания топлива (газа) в случае исчезновения пламени на горелках, повышения или понижения давления в газовой магистрали и разряжения в топках; звуковая и световая сигнализация.

Поддержание давления газа и разрежения в топке вручную недопустимо, так как может вызвать аварийную ситуацию в случае недостаточно четкого

контроля со стороны оператора. Пуск электрооборудования и разогрев печи осуществлять вручную также не целесообразно.

Таким образом, на систему управления возлагаются следующие функции:

- управление розжигом печи и пуском;
- регулирование давления газа в газовой магистрали и разряжения в топках по заданному закону регулирования;
- анализ аварийных ситуаций и, в случае возникновения аварии, блокировка сжигания топлива и формирование аварийной сигнализации.

Указанные функции наиболее целесообразно выполнять на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) [8].

Методы исследования. На основании анализа предлагается сформировать состав и структуру системы управления печью.

Печь хлебопекарная тоннельного типа предназначена для выпечки хлебобулочных изделий (рис. 1). Печь состоит из пекарной камеры, металлических каналов (верхнего и нижнего) для обогрева камеры, двух топочных секций, ленточного пода, приводного и натяжного барабанов. Конструкцию можно условно поделить на восемь внутренних секций, образующих пекарную камеру и обогревающие каналы [3].

Топочные секции состоят из двух топок со смесительными камерами, рециркуляционных вентиляторов и инжекционных газовых горелок среднего давления. Все каналы-газоходы печи находятся под разрежением. Горячие газы, образующиеся в топках за счёт сжигания топлива, под влиянием тяги, создаваемой рециркуляционными вентиляторами, проходят по металлическим каналам и через их стенки передают тепло пекарной камере.

На выходе системы охлаждённые газы разделяются на два потока: один направляется в дымовую трубу и сбрасывается в атмосферу, другой под действием вентиляторов в смесительную камеру топки для охлаждения её стенок.

В каждом замкнутом контуре обогрева происходит непрерывная рециркуляция газов (до 8000 м³/час). Температура газов, поступающих в каналы-газоходы, достигает уровня 450–500 °С, выходящих из каналов – 250–280 °С.

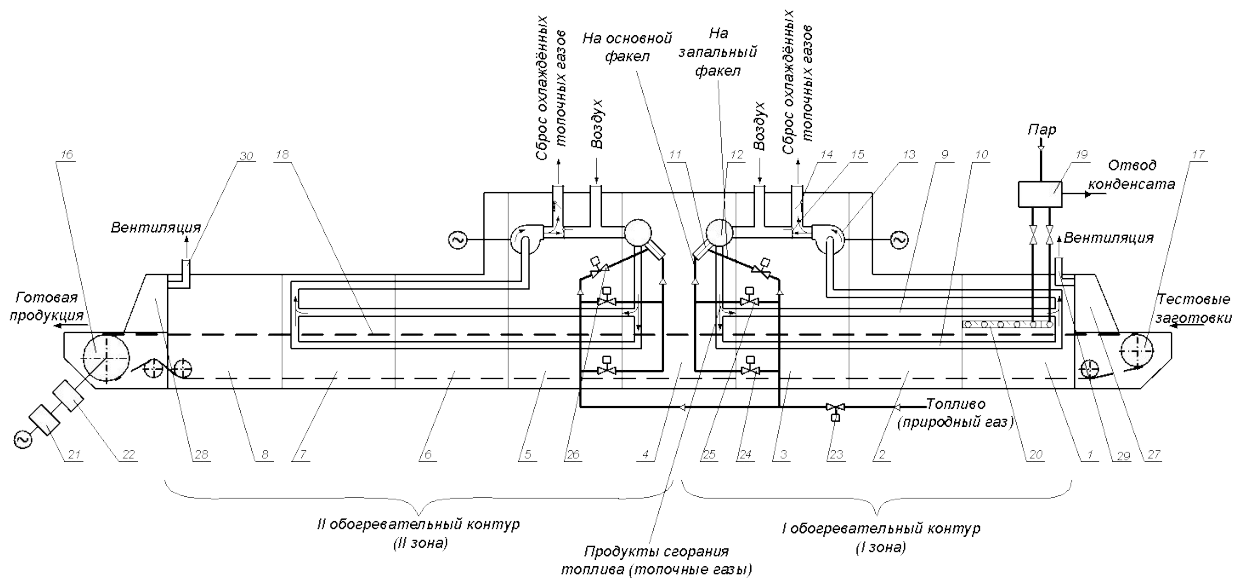


Рис. 1. Схема хлебопекарной печи тоннельного типа: 1–8 – внутренние корпуса; 9 – верхний обогревательный канал; 10 – нижний обогревательный канал; 11 – топка; 12 – смешивательная камера; 13 – рециркуляционный вентилятор; 14 – заслонка тяги; 15 – заслонка рециркуляции; 16 – приводной барабан; 17 – натяжной барабан; 18 – конвейер; 19 – влагоотделитель; 20 – перфорированные трубы; 21 – редуктор; 22 – вариатор; 23 – общий электромагнитный клапан (отсекатель); 24 – электромагнитный клапан «Малый огонь»; 25 – электромагнитный клапан «Большой огонь»; 26 – запальный электромагнитный клапан; 27, 28 – улавливатели; 29, 30 – вытяжные трубы

Пароснабжение осуществляется от тепловой сети. Печь оборудована системой вентиляции, которая предназначена для отвода тепловыделений и избытка пара из-под улавливателей. Улавливатели также предотвращают утечку паров упёка и пара из устьев печи в пекарный зал.

Регулирование скорости конвейера, реализуемое с помощью вариатора, позволяет формировать продолжительность выпечки в пределах от 12 до 72 мин. В печи формируются следующие режимы:

«Продувка». Режим необходим для ускоренной вентиляции (продувки воздухом) всей обогревающей системы печи.

«Рабочий режим». В рабочем положении заслонка рециркуляции должна быть полностью открыта. Разрежение в топке (тяги) регулируется с помощью заслонки тяги. Печь имеет два независимых контура обогрева: контур I (зона I) – зона выпечки и контур II (зона II) – зона допекания (см. рис. 1). Интенсивный обогрев в начальной фазе выпечки необходим лишь в некоторых случаях при «обжарке» без пара. При работе пароувлажнительного устройства газы направляются в канал до зоны пароувлажнения, так как оптимальная темпера-

тура в зоне пароувлажнения находится в пределах 120° – 140° . Общий электромагнитный клапан (отсекатель) (см. поз. 23, рис. 1) предназначен для отсечки подачи топлива в аварийных ситуациях. Регулирование температуры в пекарной камере производится путём регулирования расхода топлива с помощью электромагнитных клапанов «Большой огонь» и «Малый огонь» и двухпозиционных регуляторов температуры [5]. Безопасность сжигания топлива контролируется прибором контроля пламени [7].

Результаты исследований, их обсуждение. Анализ режимов позволяет выделить следующие основные элементы системы:

- программируемый логический контроллер с модулями ввода и вывода;
- микропроцессорные регуляторы-измерители температуры (РИТ);
- прибор контроля пламени.

Функциональная схема системы автоматического управления хлебопекарной печи тоннельного типа приведена на рис. 1. Программа, заложенная в ПЛК, формирует следующий порядок работы: включение вентилятора 1; включение вентилятора 2 (с выдержкой 40 с); продувка обогревающих каналов в течение пяти минут (заслонки разрежения открыты, заслонки рециркуляции закрыты); формирование разрежения в топке 60 Па (заслонки разрежения закрыты, заслонки рециркуляции открыты); запуск конвейера, контроль движения производится с помощью датчика движения конвейера. При отсутствии движения ПЛК производит останов печи.

Датчики-реле разрежения (ДРР) выполняют автономную функцию поддержания разрежения, при этом работа ДРР согласуется с алгоритмом, заложенным в ПЛК. ПЛК, в свою очередь, управляет клапаном, регулирующим давление в газовой магистрали. Датчики-реле давления (ДРД) подготавливают цепи регулирования и контроля температуры к работе. Розжиг и контроль безопасности розжига осуществляется прибором контроля пламени (ПКП) независимо от ПЛК. ПЛК при этом запускает процесс розжига и контролирует запуск. В случае исчезновения пламени на запальном факеле ПКП прекращает подачу топлива к запальным факелам и включает сигнализацию.

По завершении розжига ПЛК запускает процесс нагрева пекарной камеры до заданной температуры. Регулирование температуры в пекарной камере и контроль температуры на выходе топки осуществляются регуляторами-измерителями температуры (РИТ2 и РИТ3) независимо от ПЛК. При превышении температуры выше допустимого (600 °С) РИТ2 или РИТ3 снимает напряжение питания с электромагнитных клапанов МО и БО и подача газа в основной факел прекращается, включается световая сигнализация. После «возврата» температуры в заданный диапазон система управления запускает рабочий режим.

ПЛК в процессе работы опрашивает датчик движения сетки конвейера, регулирует разряжение в топках и давление в газовой магистрали.

Алгоритм основной программы работы ПЛК представлен на рис. 3.

Алгоритм отражает порядок разогрева и останова печи и реализуется с помощью программы, записанной в ПЛК. В случае аварийной ситуации предусмотрен аварийный останов печи в соответствии с требованиями к порядку окончания работы печи благодаря подпрограмме аварийного останова.

Отдельные элементы основной программы реализованы в виде подпрограмм: продувки обогревающих каналов, розжига основного факела, регулирования давления газа в газовой магистрали и разряжения (тяги) в топках.

Процесс регулирования температуры в пекарной камере и контроля температуры формируется автономно регуляторами-измерителями температуры. Работа прибора контроля пламени по розжигу запального факела также в алгоритме не отражена, однако в алгоритме учитывается время t_3 (рис. 3), в течение которого происходит розжиг запальных факелов.

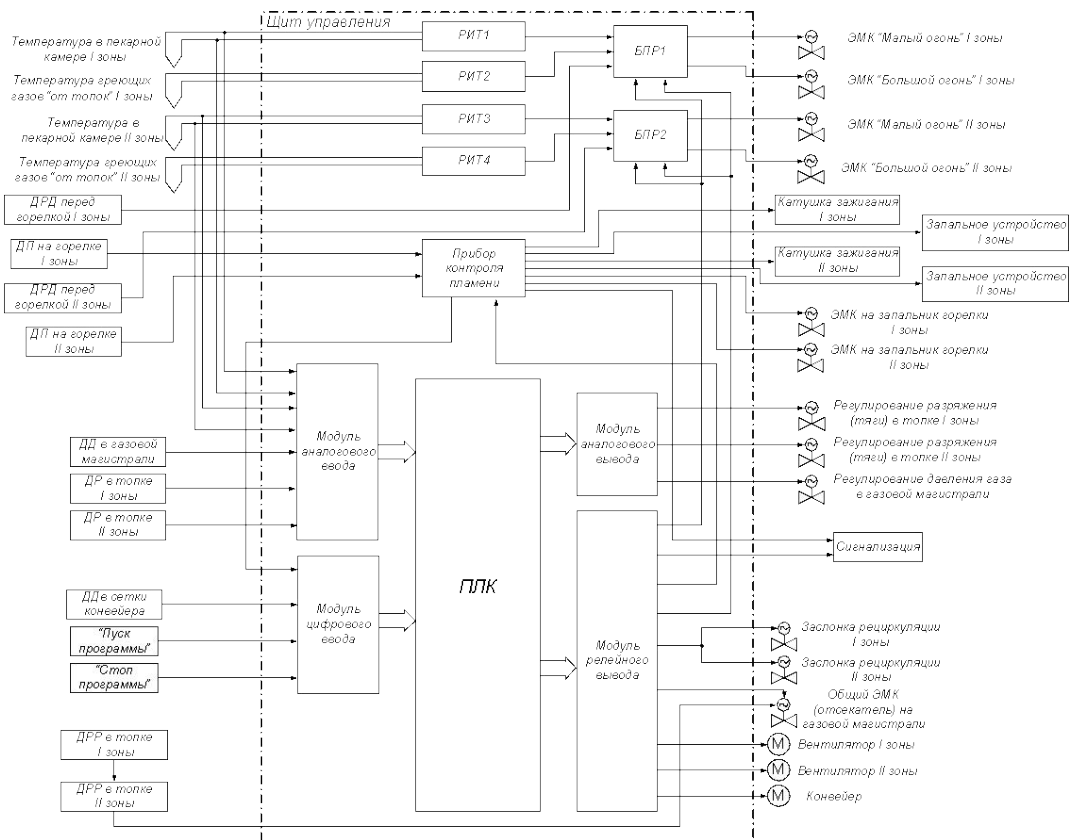
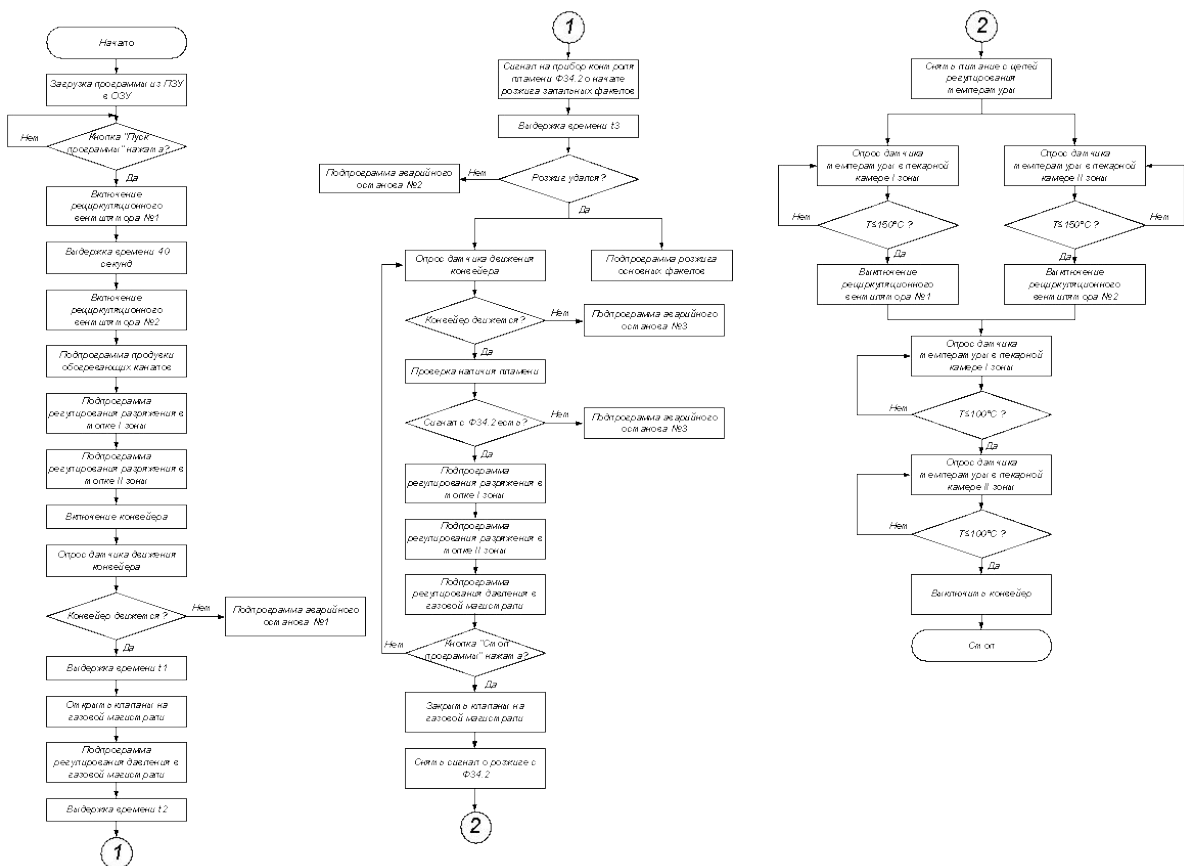


Рис. 2. Схема системы автоматического управления хлебопекарной печи тоннельного типа:
 СУ – система управления; РИТ – регулятор-измеритель температуры; БПР – блок промежуточных реле; ЭМК – электромагнитный клапан; ДРД – датчик-реле давления; ДП – датчик пламени; ДД – датчик давления; ДР – датчик разряжения; ПЛК – программируемый логический контроллер; ДДв – датчик движения; ДРР – датчик-реле разряжения



Выводы. Выше предложены состав и структура САУ хлебопекарной печи тоннельного типа, сформировано распределение функций между элементами САУ. Экономический эффект от автоматизации процесса управления хлебопекарной печи обуславливается следующими факторами:

- повышением качества продукции и уменьшением количества брака;
- снижением расхода сырья и различных видов энергии;
- повышением производительности труда и объёма выпуска продукции;
- улучшением условий труда обслуживающего персонала;
- снижением простоя оборудования.

Библиографический список

1. Автоматизация электротермических установок / А. Р. Терехин, Н. С. Галкин, Н. А. Забенкова, С. А. Мокрушин // Молодой ученый. 2020. № 34 (324). С. 32–35.
2. Будченко Н. С., Долгий Н. А. Сравнительный анализ одноконтурной и каскадной систем автоматического регулирования температуры масла в паромасляной печи // Известия КГТУ. 2017. № 46. С. 61–71.
3. Головань Ю. П., Ильинский Н. А., Ильинская Т. Н. Технологическое оборудование хлебопекарных предприятий. М. : Агропромиздат, 1988. 382 с.
4. Коломейко Ф. В. Система автоматизированного мониторинга объектов и условий рыбопромыслового лова // Известия КГТУ. 2008. № 13. С. 122–126.
5. Охапкин С. И., Мокрушин С. А., Журавлёв А. В. Особенности имитационного моделирования системы автоматического управления теплоэнергетическим объектом // Общество, наука, инновации (НПК-2014): Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов: общеуниверситетская секция, БФ, ГФ, ФЭМ, ФАВТ, ФАМ, ФПМТ, ФСА, ХФ, ЭТФ / Вятский государственный университет. Киров, 2014. С. 1136–1137.
6. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной копильно-сушильной установке / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, М. А. Ершов, А. В. Кайченев, А. В. Власов // Рыбное хозяйство. 2013. № 6. С. 111–115.
7. Сигал М. Н., Володарский А. В., Коломенский Б. М. Поточно-механизированные и автоматизированные линии в хлебопекарной промышленности. Киев : Урожай, 1988. 176 с.
8. Создание двухконтурной системы регулирования температуры в электрической печи на базе программируемого логического контроллера / А. Р. Терехин, Н. С. Галкин, Н. А. Забенкова, С. А. Мокрушин // Молодой ученый. 2020. № 34 (324). С. 35–41.
9. Стратегия инновационного развития пищевой промышленности России / Р. Т. Сатканов, Ю. В. Боголюбская, К. Л. Стоякова, Р. Р. Ибраев, А. В. Гончаров, Е. М. Бесфамильная, Ю. И. Савина // Естественные и технические науки. 2015. № 11 (89). С. 443–447.
10. Мокрушин С. А., Охапкин С. И., Афанасьев С. Г. Модель системы управления тепловыми процессами // Общество, наука, инновации (НПК-2013): Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов. Киров, 2013. С. 1168–1172.

Анализ физико-химических свойств новых смесевых топлив для автотракторных дизелей

С. А. Плотников^а, Г. Э. Заболотских^б

доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения^а
аспирант группы ЭиТа-1802-04-00^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}
E-mail: PlotnikovSA@bk.ru^а, zabolotskikh88@yandex.ru^б

Аннотация. В связи с удорожанием классического минерального дизельного топлива, а также с ужесточением стандартов Евро к выбросам продуктов сгорания вредных веществ встает задача поиска таких топливных смесей, которые будут обладать схожими физико-химическими свойствами и при этом станут более экономически привлекательными для потребителя, чем классическое ДТ. Для этих целей уже долгое время в качестве добавки применяется рапс, тогда как родственная ему и менее прихотливая сурепица пока не заслужила достойного внимания. Целью статьи является поиск оптимальной схожести физико-химических свойств смесей дизельного топлива (ДТ), сурепного (СурМ) и рапсового масел (РМ) разной концентрации с чистым ДТ, а также наблюдение за тенденцией изменения свойств при изменении состава смесей. Сравнение проводилось согласно результатам физико-химического эксперимента таких параметров, как плотность, кинематическая вязкость, а также время стабильности смесей. Основными результатами исследования можно считать выявление таких смесей, которые обладают подобными физико-химическими параметрами в сравнении с минеральным ДТ при равных температурных условиях, а также установление закономерностей изменения этих параметров от изменения состава смесей. В ходе проведения экспериментального исследования было отмечено, что плотность и кинематическая вязкость смесевых топлив возрастают с увеличением концентрации растительных добавок, тогда как время стабильности соответственно снижается. Положительную тенденцию относительно увеличения времени стабильности состояния смесевоего топлива в ходе добавления присадки С-5А можно наблюдать только с 30% от общего содержания СурМ и этанола (ЭТ) в топливе. Результаты данного исследования могут быть применены при дальнейшем изучении воздействия рассматриваемых смесей в ходе стендовых испытаний.

Ключевые слова: рапсовое масло, сурепное масло, этанол, дизельное топливо, смесевое топливо, кинематическая вязкость, плотность, время стабильности.

Введение. В связи с постоянным увеличением количества автомобильной и автотракторной техники перед нами встает задача поиска новых видов топлив, альтернативных имеющимся. Это связано с тем, что классические минеральные топлива производятся из невозобновляемого ресурса, а именно нефти, количество которой с каждым годом сокращается, а значит, увеличивается и стоимость ее добычи, но спрос на топливо только растет, что приводит к стремительному удорожанию последнего. Кроме того, вредные выбросы техники должны соответствовать современным экологическим стандартам, а использование биотоплива, как известно, имеет меньшую токсичность в сравнении с минеральными топливами [4, 6].

В статье рассматриваются смесевые топлива на основе ДТ, содержащие в своем составе композиции растительных масел (РМ и СурМ), а также смеси ЭТ и СурМ разной концентрации. Рапс уже долгое время применяется в Европе при производстве биодизельного топлива, тогда как сурепица пока не удостоилась этого внимания [3]. В нашем исследовании акцент ставится на использование именно СурМ в качестве альтернативы к РМ, поскольку сурепица является родственной рапсу культурой и при этом менее прихотлива, кроме того, она обладает схожими с ним физико-химическими свойствами [1].

Целью статьи является поиск подобных физико-химических свойств смесевых топлив в сравнении с чистым минеральным дизельным топливом при равной температуре, а также наблюдение за тенденцией изменения свойств при изменении состава смесей.

Методы исследования. Исследования проходили в научной лаборатории ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, г. Киров. В качестве исследуемых объектов рассматривались смесь ДТ с композицией РМ и СурМ, а также смесь ДТ с СурМ и ЭТ. В первом случае масла добавлялись к ДТ в равных количествах и их суммарная концентрация в смеси изменялась от 10 до 60% (с увеличением на 10% общего содержания масел в каждой следующей пробе). Во втором случае к ДТ добавляли СурМ и ЭТ в равных пропорциях. Их суммарная массовая доля варьировалась от 10 до 50% от общего количества смесевоего топлива. Кроме этого в каждый образец добавлялось от 0,5 до 1% присадки С-5А. Для каждой пробы измерялась плотность, кинематическая вязкость, а также время стабильности смесевых топлив. Все опыты проводились при температуре окружающей среды приблизительно равной 20 °С. Для измерений применялось следующее оборудование: вискозиметр ВПЖ-2, пикнометр ПЖ2-10-КШ7/16, секундомер.

Результаты исследований, их обсуждение. На основе полученных данных были построены графики зависимости исследуемых параметров от изменения концентрации добавок в топливах (см. таблицу).

Результаты лабораторных исследований

ДТ, %	СурМ, %	РМ, %	ν , сСт	ρ , г/см ³	ДТ, %	СурМ, %	ЭТ, %	ν , сСт			ρ , г/см ³			τ , мин		
								б/п	0,5% С-5А	1,0% С-5А	б/п	0,5% С-5А	1,0% С-5А	б/п	0,5% С-5А	1,0% С-5А
90	5	5	3,92	0,83	90	5	5	3,25	3,32	3,25	0,82	0,82	0,82	>75	78	66
80	10	10	5,18	0,83	80	10	10	3,84	3,86	3,72	0,81	0,82	0,82	>75	60	52
70	15	15	7,00	0,84	70	15	15	4,64	4,56	4,44	0,82	0,82	0,83	40	40	33
60	20	20	9,46	0,85	60	20	20	5,6	5,85	5,66	0,82	0,83	0,83	7	16	18
50	25	25	13	0,86	50	25	25	7,13	7,16	7,47	0,83	0,83	0,83	4,7	11	15
40	30	30	18,2	0,87												

Из данной таблицы можно проследить прямую зависимость изменения плотности и кинематической вязкости относительно изменения состава смесевых топлив (см. рис. 1, 2).

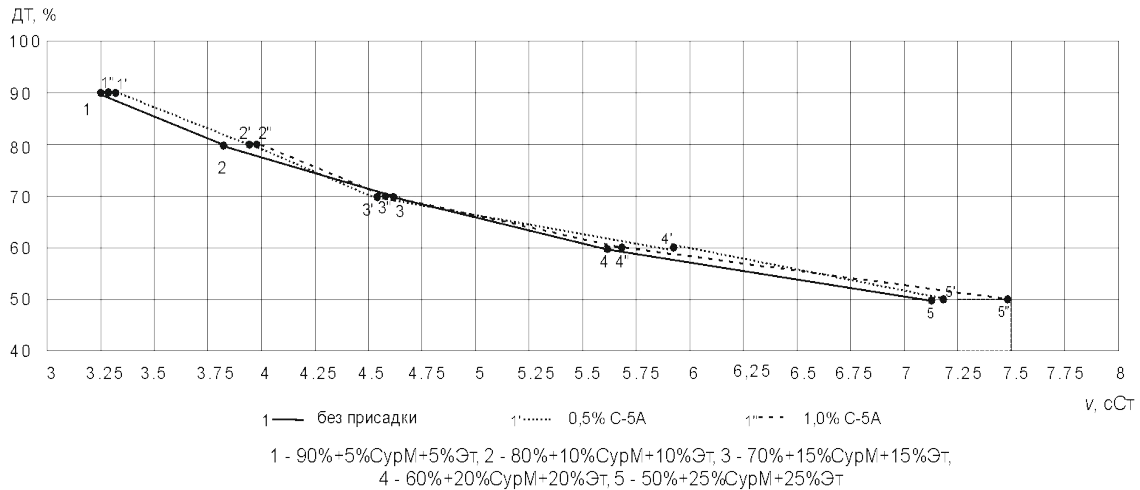


Рис. 1. Изменение кинематической вязкости ДТ, СурМ и ЭТ в зависимости от концентрации компонентов

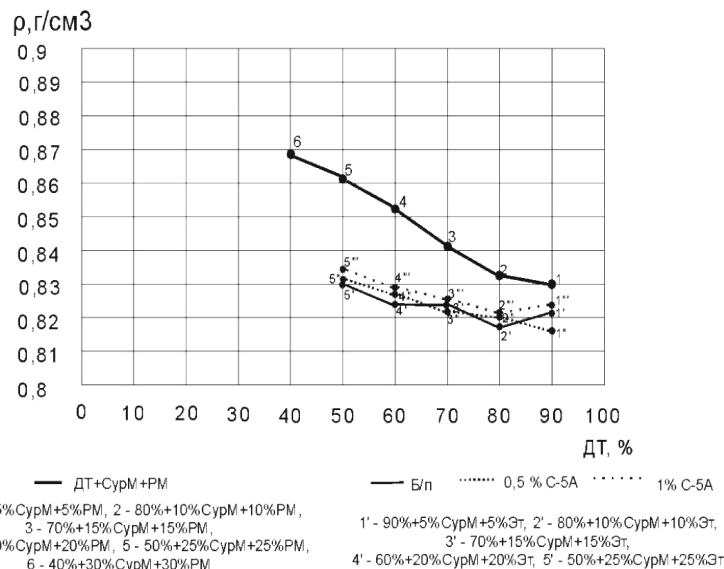


Рис. 2. Изменение плотности смесевых топлив в зависимости от концентрации компонентов

Видно, что при увеличении концентрации СурМ и ЭТ в топливе возрастает плотность и кинематическая вязкость последнего. Внесение присадки С-5А также ведет к незначительному увеличению исследуемых параметров (см. рис. 1, 2).

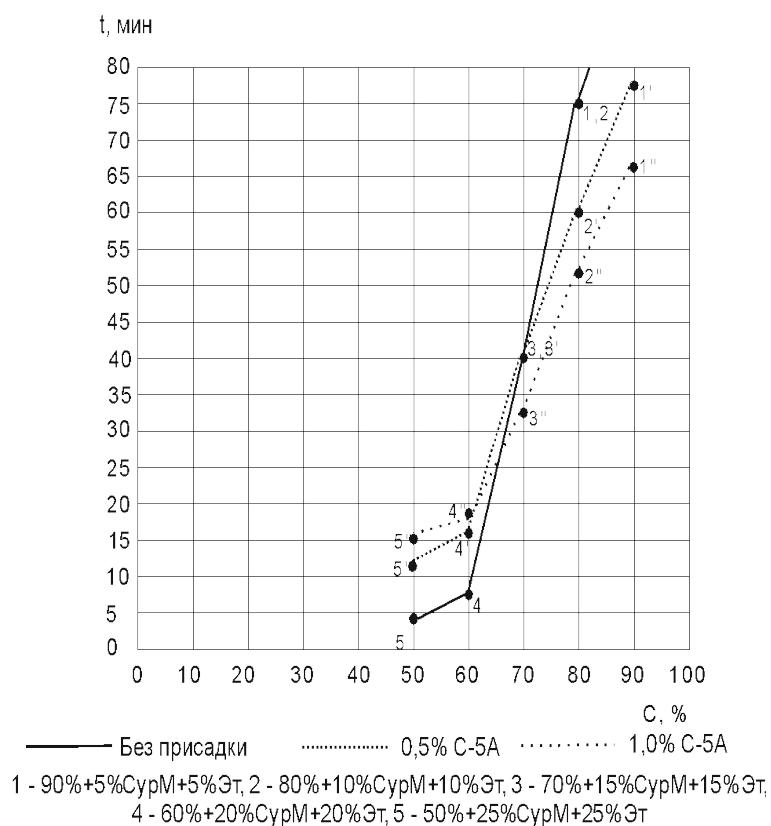


Рис. 3. Изменение времени стабильности смесевых топлив в зависимости от концентрации компонентов и наличия присадки

Относительно концентрации СурМ и ЭТ в смесевом топливе ко времени стабильности можно увидеть, напротив, обратную зависимость. При увеличении плотности смесевых топлив было отмечено снижение времени стабильности. Добавление присадки от 0,5 до 1% увеличивает время стабильности в среднем на 5 минут в каждой пробе (см. рис. 3).

В составе смесевоего топлива использовалось летнее ДТ. Согласно ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия», летнее ДТ должно обладать при $T=20^{\circ}\text{C}$ плотностью $0,86 \text{ г/см}^3$ и кинематической вязкостью 4–6 сСт. Из представленных выше графиков было установлено влияние концентрации СурМ и ЭТ в смесевом топливе на изменение этих параметров. Соответственно, нами были выявлены несколько таких проб, плотность и кинематическая вязкость которых была бы равна заявленным требованиям (см. таблицу). Для композиции РМ и СурМ в ДТ выявлены две подходящие смеси:

90%ДТ+5%СурМ+5%РМ и 50%ДТ+25%СурМ+25%РМ. Оптимальными смесями, содержащими в своем составе ДТ, СурМ и ЭТ, являются 70%ДТ+15%СурМ+15%ЭТ и 60%ДТ+20%СурМ+20%ЭТ с приблизительным временем стабильности 40 и 15 минут соответственно. Таким образом, более привлекательной является смесь 70%ДТ+15%СурМ+15%ЭТ.

Выводы. Результаты исследования показывают прямую зависимость относительно концентрации добавок в ДТ от плотности и кинематической вязкости. Напротив, обратная зависимость наблюдается относительно содержания добавок в смесевом топливе и времени стабильности.

Также были определены смеси, соответствующие по исследуемым параметрам требованиям ГОСТ 305-2013, а именно 90%ДТ+5%СурМ+5%РМ, 50%ДТ+25%СурМ+25%РМ, 70%ДТ+15%СурМ+15%ЭТ.

Библиографический список

1. Виноградов, Д. В. Сурепица яровая в южной части нечерноземной зоны // АГРО XXI : электрон. научн. журн. 2010. № 7–9. URL: <http://https://www.agroxxi.ru/journal/20100709/20100709019.pdf> (дата обращения: 15.12.2021).
2. Карташевич А. Н., Плотников С. А., Смольников М. В., Черемисинов П. Н. Расширение многотопливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив // Известия МГТУ «МАМИ». 2019. № 3(41). С. 66–72.
3. Крюков В. В. Смесевое сурепно-минеральное топливо: результаты экспериментальных исследований и технические решения // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : сб. материалов Всерос. НПК. Пенза : РИО ПГСХА, 2012. С. 202–204.
4. Опыт использования сурепно-минерального топлива в дизеле сельскохозяйственного трактора : монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов. Пенза : РИО ПГСХА, 2016. 119 с.
5. Плотников С. А., Карташевич А. Н., Черемисинов П. Н., Миронов А. А. Исследование экономической эффективности от снижения токсичности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 путем применения рапсового масла // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2019. № 1 (124). С. 204–209.
6. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Исследование свойств альтернативных топлив на основе рапсового масла // Общество, наука, инновации (НПК-2017) : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. ст. 01–29 апреля 2017 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2017. С. 1875–1882.

Предпосылки российских ученых в оценке экспресс-методом моторных свойств топлив для ДВС

С. А. Плотников^a, Д. Г. Сергеев^b, М. В. Смольников^c, П. В. Гневашев^d

доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения^a

кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения^b

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения^c
аспирант гр. ЭиТа-2802-04-00^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: plotnikovsa@bk.ru^a, sergeev@vyatsu.ru^b, usr11051@vyatsu.ru^c, gnevashevpv@inbox.ru^d

Аннотация. В данной статье приведены предпосылки оценки экспресс-методом моторных свойств топлив, применяемых в ДВС. Перед Российской Федерацией стоит важная задача – адаптация к глобальному энергопереходу. В этих условиях прежде всего надо думать об энергобезопасности. Есть существенная вероятность, что залогом безопасности в этих условиях станут нетрадиционные источники энергии, по разработке которых уже много лет ведутся исследования. Новым в таких изысканиях должно стать направление безмоторной оценки экспресс-методом моторных свойств топлив для ДВС, которое станет ещё одним витком продвижения альтернативных топлив.

Для исследования были подготовлены смеси дизельного топлива с рапсовым маслом. Массовая доля рапсового масла в смеси варьировалась от 0% до 50%. Для каждого образца измерялась плотность d и показатель преломления n_{D20} .

Наличие зависимости удельной рефракции от содержания рапсового масла позволяет разработать экспресс-метод определения состава произвольно взятой смеси. Если зависимость эксплуатационных свойств двигателя от содержания рапсового масла предварительно известна, можно сделать оценку эффективности использования данной смеси.

Ключевые слова: альтернативное топливо, экспресс-метод, свойства топлив.

Введение. Затраты России на достижение углеродной нейтральности к 2060 г. могут составить до 2% от ВВП, заявил премьер-министр страны Михаил Мишустин в видеообращении на Гайдаровском форуме. Перед Российской Федерацией стоит еще одна важная задача – это адаптация к глобальному энергопереходу. Осенью была принята стратегия низкоуглеродного развития. Ее реализация должна обеспечить переход российской экономики на углеродную нейтральность к 2060 г. или, возможно, даже раньше. Ежегодные расходы на комплексные меры по снижению углеродного следа, по предварительной оценке, могут составить от 1% до 2% ВВП на горизонте до 2050 г. Также, по словам премьер-министра, Россия планирует двигаться по нескольким направлениям: от полного восстановления лесных массивов после вырубки до альтернативных источников энергии. Это приведет к формированию на их основе новой инфраструктуры промышленности и транспорта. Все согласны с тем, что доля углеродов будет снижаться, но по-прежнему будет львиной в общем энергоба-

лансе. Если сейчас доля углеводов составляет 75%, то, по разным оценкам, она снизится на 50–75%. По словам вице-преьера РФ Александра Новака, экономика будет расти, и в ближайшие 15–20 лет потребление энергии вырастет еще на 30%. В этих условиях прежде всего надо думать об энергобезопасности.

Есть существенная вероятность, что залогом безопасности в этих условиях станут нетрадиционные источники энергии, по которым уже много лет ведутся исследования [1–5]. Однако в этих трудах накоплен большой опыт, и уже есть некий предел изучения. Новым в таких изысканиях должно стать направление безмоторной оценки экспресс-методом моторных свойств топлив для ДВС [6], которое станет ещё одним витком продвижения альтернативных топлив.

Основная часть. Для исследования были подготовлены смеси дизельного топлива с рапсовым маслом. Массовая доля рапсового масла в смеси варьировалась от 0% до 50%. Для каждого образца измерялась плотность d и показатель преломления n_{D20} . Измерения проводились при температуре окружающей среды 20 °С. Плотность определялась с помощью пикнометра ПЖ-2-25 и лабораторных весов VIBRAAJH-620CE по ГОСТ 3900-85 “Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности”. Расчет производился по формуле:

$$d = m_{пс} - m_{пп} m_{пд} - m_{пп} \cdot 0,99703, \quad (1)$$

где $m_{пс}$ – масса пикнометра со смесью;

$m_{пп}$ – масса пустого пикнометра;

$m_{пд}$ – масса пикнометра с дистиллированной водой;

0,99703 – значение относительной плотности воды при 20 °С с учетом плотности воздуха.

Показатель преломления образцов измерялся с помощью рефрактометра ИРФ-454б. Так как показатель преломления и плотность зависят от температуры и давления, при которых проводится измерение, то для экспресс-методов оценки эксплуатационных свойств предпочтительно использовать не сами эти величины, а их функцию – удельную рефракцию Лорентца-Лоренца sR , которая практически не зависит от внешних условий: температуры окружающей среды и давления.

$$sR=(n_2-1)(n_2+2)1d . \quad (2)$$

Показатель преломления n_{D20} можно измерить погружным рефрактометром AtagoPenRi, показанным на рис. 1.



Рис. 1. Погружной рефрактометр AtagoPenRi

В результате измерений была получена зависимость показателя преломления n_{D20} и плотности d от содержания рапсового масла в смеси (см. таблицу).

Зависимость показателя преломления n_{D20} и плотности d от содержания рапсового масла в смеси

% рапс. масла в смеси	Плотность смеси, d	Коэффициент преломления, n_{D20}
0	0,823	1,4592
5	0,828	1,4596
10	0,831	1,4607
15	0,836	1,461
20	0,84	1,4617
25	0,845	1,4625
30	0,85	1,4631
35	0,854	1,4638
40	0,859	1,4641
45	0,862	1,465
50	0,868	1,4657

По данным плотности и показателя преломления с использованием формулы (1) был построен график удельной рефракции Лорентца-Лоренца (рис. 2).

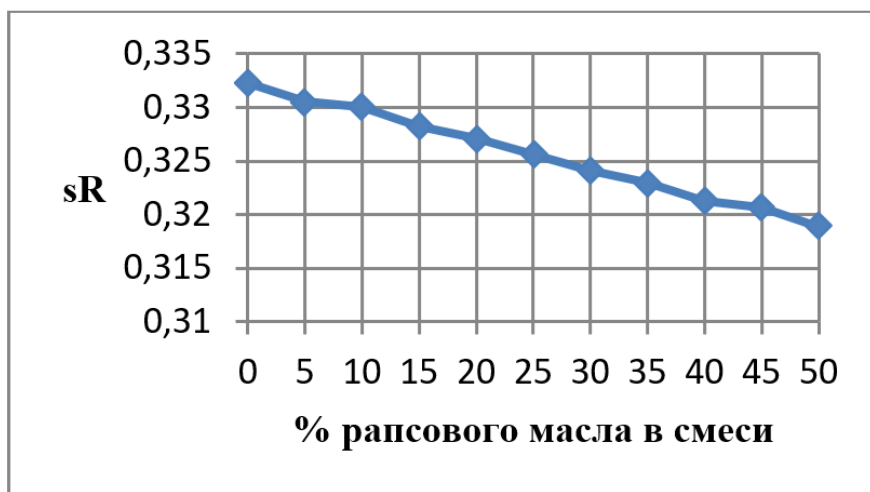


Рис. 2. Удельная рефракции смеси в зависимости от содержания рапсового масла

Заключение. Наличие зависимости удельной рефракции от содержания рапсового масла позволяет разработать экспресс-метод определения состава произвольно взятой смеси. Если зависимость эксплуатационных свойств двигателя от содержания рапсового масла предварительно известна, можно сделать оценку эффективности использования данной смеси. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Некоторые выходные показатели работы ДВС на альтернативных топливах могут существенно зависеть от измеренных в ходе эксперимента, что позволяет найти корреляционные зависимости между ними.

2. В качестве экспресс-метода оценки эксплуатационных свойств двигателя можно использовать удельную рефракцию, так как она проста в определении, не зависит от внешних условий и позволяет использовать её на месте эксплуатации.

3. Правительство России планирует двигаться по нескольким направлениям: от полного восстановления лесных массивов после вырубки до использования альтернативных источников энергии.

Список литературы

1. Карташевич А. Н., Плотников С. А., Смольников М. В. и др. Оптимизация системы топливоподачи тракторного дизеля для работы на топливах с добавками этанола // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2019. № 1. С. 186–193.
2. Карташевич А. Н., Плотников С. А., Смольников М. В., Черемисинов П. Н. Расширение многотопливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив // Известия МГТУ «МАМИ». 2019. № 3(41). С. 66–72.

3. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С. Определение регулировочных параметров системы топливоподачи тракторного дизеля при работе на топливных композициях с добавками рапсового масла // Вестник РГАТУ. 2018. № 4 (40). С. 133–138.

4. Плотников С. А., Шишкин Г. П., Смольников М. В. Расчет стабильности этанола-топливной эмульсии для применения в дизелях // Двигателестроение. 2019. № 1. С. 24–27.

5. Плотников С. А., Зубакин А. С., Бирюков А. Л. Теоретический расчет оптимального угла опережения зажигания при работе двигателя на генераторном газе на основе времени горения // Известия МГТУ «МАМИ». 2019. № 4 (42). С. 54–60.

6. Плотников С. А., Шишкин Г. П., Гневашев П. В., Резник Е. Н. Безмоторные методы оценки эксплуатационных свойств топлив для сельскохозяйственной техники // Вестник РГАТУ. 2021. № 2 (13). С. 110–115.

Анализ методики расчета дозы внутреннего радиоактивного облучения населения

М. Д. Сергеева^а, О. Е. Сергеев^б

студентка группы 3142001/00901^а

студент группы 3142001/01101^б

Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург,
Российская Федерация^{а, б}

E-mail: antonova.md@edu.spbstu.ru^а, sergeev.oe@edu.spbstu.ru^б

Аннотация. Данная работа посвящена анализу методики расчета дозы внутреннего радиоактивного облучения человека. В ходе работы исследованы объекты ядерной энергетики и определена необходимость расчета доз облучения как основа обеспечения радиационной безопасности. При решении поставленных задач использованы такие методы исследования, как системный анализ, математическое моделирование, вычисление. Расчет функций изменения доз внутреннего облучения проведен с помощью программы Matlab. В результате работы получены зависимости доз внутреннего облучения от времени. Высокая скорость обработки и достоверность полученных данных позволяет использовать данные методики при оценке безопасного для проживающего населения расстояния до объектов ядерной энергетики. Также методики расчета дозы внутреннего облучения подтверждают свою работоспособность при разработке рекомендаций по радиационной безопасности населения.

Ключевые слова: ядерная энергетика, радиационная безопасность, доза облучения.

Введение. Ядерная энергетика получает все большее распространение из-за высокой эффективности выработки энергии. Помимо энергообеспечения посредством эксплуатации атомных электростанций, ядерная энергетика применяется на судах, в медицине и в научных целях. Например, в г. Певеке (Чукотский автономный округ) эксплуатируется плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов». Объект обеспечивает энергией не только порт, но и весь город с населением в несколько тысяч человек [1]. В медицинских целях радиоактивные вещества применяются при диагностике заболеваний с помощью компьютерной томографии, рентгеноскопии, лучевой терапии [4]. На сегодняшний день в Российской Федерации ядерная энергетика составляет в общем энергообеспечении около 20% [13]. Однако более глобального распространения ядерная энергетика не получает из-за наличия привычных и недорогих источников энергии. Также ограничение эксплуатации ядерной энергетики связано с риском радиоактивного загрязнения при возможных авариях [14].

Радиационная безопасность населения регулируется с помощью величин, зафиксированных в нормативных документах: предел дозы облучения для населения составляет 1 мЗв/год [6].

Превышение допустимой дозы облучения чревато негативным влиянием ионизирующего излучения на организм человека. Воздействуя на ткани тела человека, ионизирующее излучение отдает энергию атомам и образует ионы. Тогда молекулы, не имеющие заряда, приобретают его, и начинается ряд реакций, не характерных для человеческого организма [15]. Подобные реакции приводят к нарушению обмена веществ и работы организма, лучевой болезни и генетическим нарушениям у потомства [2].

В связи с этим актуальным вопросом является быстрая и достоверная оценка дозы облучения населения, проживающего в непосредственной близости к объектам ядерной энергетики, например АЭС, судостроительным предприятиям, местам захоронения и транспортировки радиоактивных веществ [10].

Важно учитывать не только ограничения по дозе облучения, установленные Федеральным законом № 3 «О радиационной безопасности населения», но и факторы, влияющие на окружающую среду, с учетом специфики конкретного источника ионизирующего излучения.

В соответствии с методикой П. В. Рамзаева внутреннее облучение происходит двумя путями: вдыханием загрязненного воздуха или при употреблении воды, продуктов растительного и животного происхождения, полученных на загрязненной территории [5].

Таким образом, объектом исследования является радиационная безопасность населения, а предметом – непосредственно методика расчета дозы внутреннего облучения.

Целью работы является анализ методик расчета доз радиоактивного облучения населения с учетом возможного накопления доз внутреннего облучения. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследование объектов ядерной энергетики.
2. Анализ существующих методик, выбор и обоснование методик расчета доз внутреннего облучения населения.
3. Анализ результатов оценки доз внутреннего облучения населения.

Методы исследования. При решении поставленных в работе задач использованы такие методы исследования, как системный анализ, математическое

моделирование, вычисление с помощью программы Matlab. Метод анализа состоит в разделении предмета изучения на составные части и исследовании их по отдельности [7]. Так, методика расчета дозы внутреннего облучения разделена на составляющие в зависимости от способа облучения. Математически доза облучения представлена с помощью моделирования как система функций, описывающих ее свойства.

Результаты исследований, их обсуждение. Для анализа и расчета выбраны следующие методики: расчет дозы внутреннего облучения при поступлении радионуклидов с пищевыми продуктами; расчет эквивалентной дозы внутреннего облучения щитовидной железы.

Эффективная доза внутреннего облучения, получаемая в результате поступления в организм человека радионуклидов, рассчитывается с использованием измеренных величин их удельной активности в потребляемых населением продуктах [11]. Доза зависит также от выбранной категории населения и среднего суточного потребления продукта этой категорией населения. Расчет дозы проведен со следующими условиями: в качестве продукта, потребляемого взрослым населением и содержащим радионуклиды цезия, выбран картофель. Cs^{137} является одним из основных компонентов радиоактивного загрязнения окружающей среды [9].

В качестве исходных данных принимается период употребления загрязненных цезием пищевых продуктов, равный одному месяцу; измеренная средняя удельная активность через 8 суток после начала употребления составляет 4,5 кБк/кг, через 30 суток после начала употребления активность составляет 3,8 кБк/кг; суточное потребление картофеля 0,3 кг/сут.; дозовый коэффициент при поступлении цезия в организм взрослого человека с картофелем $1,3 \cdot 10^{-2}$ мЗв/кБк; коэффициент снижения содержания цезия в готовом картофеле вследствие его кулинарной обработки 0,8.

В соответствии с методикой П. В. Рамзаева с учетом исходных данных составлена следующая программа в Matlab.

t1=8; t2=30; %Время измерений после начала потребления, сутки


```

ct1=4.5; ct2=3.8; %Удельная активность Cs137 в картофеле, кБк/кг
vp=0.3; %Суточное потребление, кг/сут
dk=1.3*10^-2;
K=0.8;
hh=(t2-t1)*log(2);
T=hh/log(ct1/ct2); %Эффективный период полуочищения, сутки
ct0=ct1*exp(hh/T); %Удельная активность в момент t0, кБк/кг
E30=dk*ct0*(T/log(2))*(1-exp(-(30*log(2))/T))*vp*K; %Доза за месяц, мЗв
E365=dk*ct0*(T/log(2))*(1-exp(-(365*log(2))/T))*vp*K; %Доза за год, мЗв
t=10:10:365;
E=dk*ct0*(T/log(2))*(1-exp(-(t*log(2))/T))*vp*K;
plot(t,E,'linewidth',3)
grid on
xlabel('время накопления дозы, сутки')
ylabel('накопленная доза, мЗв')

```

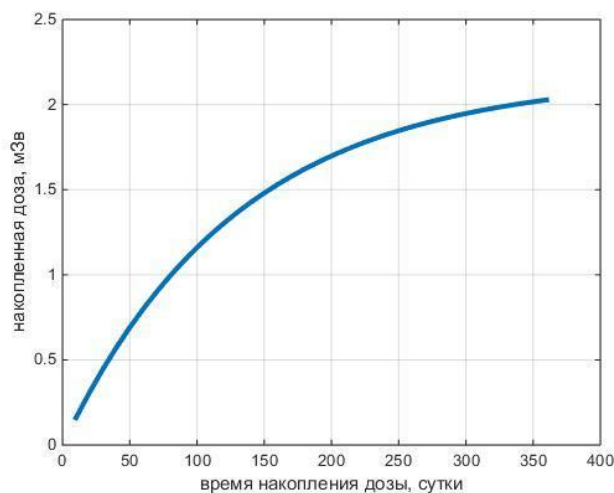


Рис. 1. Эффективная доза облучения при поступлении Cs¹³⁷ с картофелем

Из графика на рис. 1 видно, что накопленная доза при поступлении цезия с пищевыми продуктами составляет 2 мЗв, что уже превышает допустимый предел в 1 мЗв/год.

Немаловажно оценить дозу внутреннего облучения щитовидной железы при воздействии радиоактивного йода на организм человека [8]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. на территории Брянской, Орловской,

Тулской и Калужской областей в течение 20 лет количество заболевших раком щитовидной железы возросло в шесть раз [3].

По приведенной методике можно оценить дозу внутреннего облучения щитовидной железы при поступлении I^{131} с употребленными продуктами, а именно с молоком, в котором может быть высокое содержание радионуклидов, если выпас скота осуществляется на загрязненных полях [12].

В качестве исходных данных принята концентрация йода в молоке, измеренная несколько раз с шагом в 5–10 суток. При первом измерении через 7 суток концентрация составляет 5,167 кБк/л, далее через 12 суток концентрация составляет 3,726 кБк/л, через 21 сутки концентрация составляет 1,919 кБк/л и через 30 суток концентрация составляет 1,125 кБк/л соответственно. Коэффициент суточного потребления молока – 0,3 л/сут., дозовый коэффициент для йода – 0,43 мЗв/кБк.

Составленная программа выглядит следующим образом.

t=[7,12,21,30]; %Время замера концентрации йода в молоке, сутки

j=1:4;

%Результаты замеров концентрации йода в молоке

C1=[5.167 3.726 1.919 1.125]; % кБк/л

% Аппроксимация

C(j)=0.00625.*t(j).^2-0.407.*t(j)+7.71; % Концентрация, кБк/л

T23=(log(2)*(t(3)-t(2)))/(log(C(2)/C(3))); % Период полуочищения

T24=(log(2)*(t(4)-t(2)))/(log(C(2)/C(4)));

T34=(log(2)*(t(4)-t(3)))/(log(C(3)/C(4)));

T1=(T23+T24+T34)/3;T2=1.5;

hi=0.43; %Дозовый коэффициент для взрослого населения, мЗв/кБк

V=0.30; %Суточное потребление молока взрослыми, л/сут

%Ожидаемые эквивалентные дозы (мЗв) за различные периоды времени

H1=1.6*hi*V.*(C(j)*(T1-T2))/(exp(-(log(2)*t(1))/T1)-exp(-(log(2)*t(1))/T2));

H2=1.6*hi*V.*(C(j)*(T1-T2))/(exp(-(log(2)*t(2))/T1)-exp(-(log(2)*t(2))/T2));

H3=1.6*hi*V.*(C(j)*(T1-T2))/(exp(-(log(2)*t(3))/T1)-exp(-(log(2)*t(3))/T2));

```

H4=1.6*hi*V.*(C(j)*(T1-T2))/(exp(-(log(2)*t(4))/T1)-exp(-(log(2)*t(4))/T2));
HH=(H1+H2+H3+H4)/4 % Ожидаемая средняя доза, мЗв
plot(t,H1,t,H2,t,H3,t,H4,t,HH,'linewidth',3)
grid on
xlabel('время облучения, сутки')
ylabel('эффективная доза, мЗв')
legend('H1','H2','H3','H4','HH',0)

```

Полученные результаты представлены на графике (рис. 2):

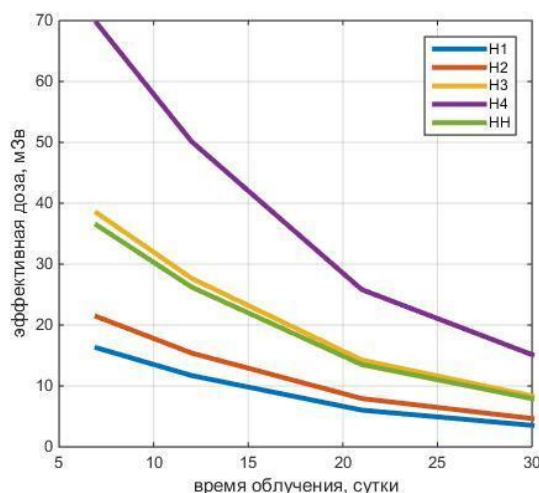


Рис. 2. Эквивалентная доза облучения щитовидной железы при поступлении I^{131} с молоком

В соответствии с графиком за первые 7 суток будет набрана доза 36,4 мЗв, за период от 7 суток до 12 суток доза составит 26,2 мЗв, от 12 до 21 суток – 13,5 мЗв и от 21 до 30 суток доза составит 7,9 мЗв. При этом суммарная доза в среднем равна 84 мЗв. Таким образом, предельно допустимая доза снова превышена.

Выводы. В ходе исследования были изучены объекты ядерной энергетики, эксплуатация которых является угрозой радиационной безопасности населения. Основу радиационной безопасности составляет достоверная оценка дозы облучения человека и ее сравнение с допустимыми пределами, установленными нормативными документами.

С учетом возможности внутреннего облучения человека при употреблении загрязненных продуктов в качестве основополагающей методики была выбрана методика П. В. Рамзаева и разработана программа в среде Matlab.

Путем расчета с помощью программы выяснилось, что при заданных измеренных концентрациях цезия и йода облучение в обоих случаях превышает предельно допустимое значение в 1 мЗв/год. При проверке результатов с помощью расчета вручную данные о накопленных дозах совпали, что подтверждает работоспособность и достоверность программы.

Библиографический список

1. Алленых М. А., Анисимова А. И. Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» как новый вектор развития атомной энергетики // Друкеровский вестник. 2020. № 3. С. 166–179.
2. Безопасность жизнедеятельности. Техносферная безопасность : лабораторный практикум / С. В. Ефремов, К. Р. Малаян, В. В. Монашков и др. СПб, 2011. 130 с.
3. Иванов В. К., Цыб А. Ф. Проблема рака щитовидной железы: уроки Чернобыля и прогноз для Фукусимы // Вестник РАМН. 2013. № 5. С. 38–44.
4. Манаков А. М., Манакова А. Г. Развитие и внедрение ядерных медицинских технологий в России // Актуальные проблемы интеграции науки и образования в регионе : сб. ст. Бузулук, 2018. С. 160–164.
5. МУ 2.6.1.2153-06 Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: приняты 04.12.2006: действ. с 01.03.2007. М., 2006. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
6. О радиационной безопасности населения : федер. закон от 09.01.1996 №3-ФЗ: ред. от 11.06.2021. Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».
7. Пономарев А. Б., Пикулева Э. А. Методология научных исследований : учеб. пособие. Пермь, 2014. 86 с.
8. Радиационные риски заболеваемости раком щитовидной железы, обусловленным облучением ликвидаторов радиоизотопами йода / В. К. Иванов, А. И. Горский, М. А. Максюттов и др. // Радиация и риск (бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2009. № 1. С. 62–76.
9. Радиоактивное загрязнение цезием-137 территории России на рубеже веков / Ю. А. Израэль, Е. В. Квасникова, И. М. Назаров и др. // Метеорология и гидрология. 2000. № 4. С. 20–31.
10. Радиоэкологические проблемы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в условиях инновационного развития ядерной энергетики / В. А. Лебедев, О. Э. Муратов, В. М. Пискунов и др. // Экология промышленного производства. 2011. № 3. С. 84–96.
11. Репин В. С. Критерии защиты населения после радиационной аварии: структура потребления пищевых продуктов и особенности формирования доз внутреннего облучения различных возрастных групп населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2018. № 1. С. 18–24.
12. Сравнительный анализ вклада короткоживущих изотопов йода в дозу облучения щитовидной железы у населения после Чернобыльской и Фукусимской аварий / С. М. Шинкарев, А. С. Самойлов, Е. О. Грановская и др. // Гигиена и санитария. 2017. № 9. С. 827–832.
13. Талызина Е. С., Науменко Г. А. Состояние атомной энергетики в России и обеспечение надежности и безопасности АЭС // Современные исследования. 2018. № 2. С. 40–42.
14. Dai J., Li S., Bi J., Ma Z. The health risk-benefit feasibility of nuclear power development // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 224. Pp. 198–206. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.206> (published: 01.07.2019).
15. Obodovskiy I. Fundamentals of Radiation and Chemical Safety. 2015. 250 p.

Обзор технологических схем лабораторных клеверотерок

М. В. Симонов^а, Д. В. Перевошиков^б

доктор технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения^а
аспирант^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^а

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Киров, Российская Федерация^б

E-mail: mv_simonov@vyatsu.ru^а, mitjay88nopasaran@mail.ru^б

Аннотация. Важное место в выведении новых сортов многолетних трав селекционными лабораториями, районировании существующих сортов, улучшении их показателей биологических ритмов занимает исходный материал – семена. В статье проведен обзор сельскохозяйственных машин – клеверотерок, используемых в условиях небольших по площади селекционных лабораторий многолетних трав, на базе научно-исследовательских институтов и селекционных станций. Приведены основные технические характеристики, технологические схемы и описание конструкций машин. В результате обзора существующих конструкций и технологических параметров клеверотерок выявлено, что выпускаемые на настоящее время машины не в полной мере удовлетворяют потребности в их функционале со стороны селекционеров многолетних трав. Установлено, что на настоящий момент промышленностью Российской Федерации не производится востребованных селекционерами лабораторных клеверотерок, выполняющих последовательно операции отделения бобиков от стеблей и их вытирания, и требуется разработка технологической схемы данной машины.

Ключевые слова: семена трав, клеверотерка, технологическая схема, анализ конструкций.

Введение. В северной и центральной части Приволжского федерального округа одной из основных отраслей сельского хозяйства является животноводство. Для животных необходимы высококачественные и в то же время доступные корма, в том числе белковые, основным источником которых являются травы. В нашем регионе благоприятные условия для произрастания многолетних трав, таких как клевер, люцерна, козлятник и др. Для стабильно высоких урожаев зеленой массы трав необходимы высококачественные семена, приспособленные к природно-климатическим условиям региона, выведением районированных сортов которых занимаются селекционные лаборатории.

В технологическом процессе получения семян многолетних трав, в том числе на селекционные нужды, важное место занимает операция вытирания семян из головок (бобиков), которая осуществляется либо вручную, либо на специальных машинах – клеверотёрках [1, 2, 4].

Цель исследования – поиск новых технологических схем селекционных лабораторных клеверотерок, позволяющих селекционерам получать вытертые

семена многолетних трав из пучков растений с минимальным количеством технологических операций и минимальными затратами времени на весь процесс.

Задачи исследования:

– Исследовать существующие технологические схемы лабораторных клеверотерок и выявить конструкции, наиболее полно удовлетворяющие потребностям селекционеров.

– Выявить направление усовершенствования существующих технологических схем лабораторных клеверотерок.

Результаты исследований, их обсуждение

На данный момент промышленностью Российской Федерации производится весьма небольшая номенклатура машин, которые могут быть задействованы в селекционных лабораториях для вытирания семян многолетних трав из пыжины, а также из пучков срезанных со стеблем растений.

Рассмотрим конструкции и технологические схемы клеверотерок, наиболее подходящих под требования селекционеров.

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработана, выпущена и испытана модель лабораторной порционной клеверотерки КПЛ-100 (рис. 1) [3, 8]. Клеверотерка предназначена для вытирания семян из головок и пыжины клевера и других бобовых и злаковых трав. Технические показатели машины приведены в табл. 1.

Основным рабочим органом данной клеверотерки является эластичная лопасть (24), зафиксированная винтами (25) по центру в осевом поперечном пазе ротора (27), который, в свою очередь, приводится во вращательное движение электродвигателем, расположенным в корпусе электродрели (18), и терочный стакан (8), имеющий на внутренней периферийной поверхности накатанное рифление в виде зубцов высотой 1 мм с шагом в 1 мм.

Процесс вытирания происходит следующим образом: заранее отделенные головки, пыжину клевера или других многолетних трав помещают в терочный стакан, затем стакан при помощи штифтов закрепляют на корпусе соосно ротору и упругой лопасти. При вращении лопасти в замкнутом цилиндре происхо-

дит перетирание материала за счет проволакивания материала торцом эластичной лопасти по рифленой периферии терочного стакана.

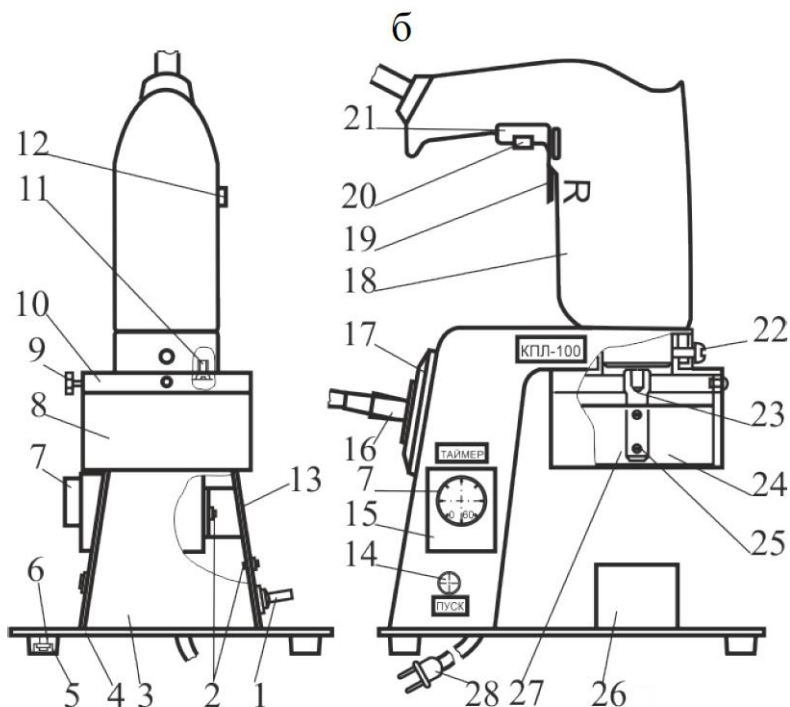


Рис. 1. Схема клеверотерки порционной лабораторной КПЛ-100: 1 – тумблер; 2, 6, 9, 11, 22, 23, 25 – винты; 3 – Г-образный корпус; 4 – основание; 5 – ножки резиновые; 7 – штурвал таймера; 8 – терочный стакан; 10 – держатель; 12 – фиксатор кнопки; 13 – крышка; 14 – кнопка пусковая; 15 – таймер; 16 и 28 – вилки кабеля электродрели и сетевого кабеля; 17 – розетка; 18 – электродрель; 19 – переключатель направления вращения (R – правое; L – левое вращение); 20 – колесо регулятора частоты вращения; 21 – переключатель включения/отключения дрели с регулятором частоты вращения; 24 – эластичная лопасть; 26 – мерный стакан; 27 – ротор

К недостаткам данной машины можно отнести узкий и незавершенный цикл технологической операции процесса получения готовых и очищенных семян, а именно:

– рабочим материалом для вытирания является пыжина или головки трав, которые необходимо заранее отделить вручную от стеблей;

Таблица 1

Основные технические показатели клеверотёрки порционной лабораторной КПЛ-100

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Производительность при вытирании семян из пыжины клевера красного влажностью до 14%, содержания грубых солоmistых примесей не более 0,5%, свободных семян – не более 1,0%	Порций/ч	До 100

Окончание табл. 1

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Объём одной порции загружаемого материала	см ³	Не более 250
Объём терочного стакана	см ³	400
Степень вытирания	%	До 99
Дробление семян	%	Не более 0,5
Время вытирания одной порции	с	5...60
Потребляемая мощность	кВт	0,5
Частота вращения лопастного ротора	мин ⁻¹	0...2500
Зазоры между эластичной лопастью ротора и: боковой терочной поверхностью стакана дном стакана	мм мм	Без зазора 2...3
Габаритные размеры (в рабочем положении), не более:		
– длина	мм	280
– ширина		200
– высота		360
Масса	кг	5,7
Напряжение питания	В	220
Обслуживающий персонал	чел.	1

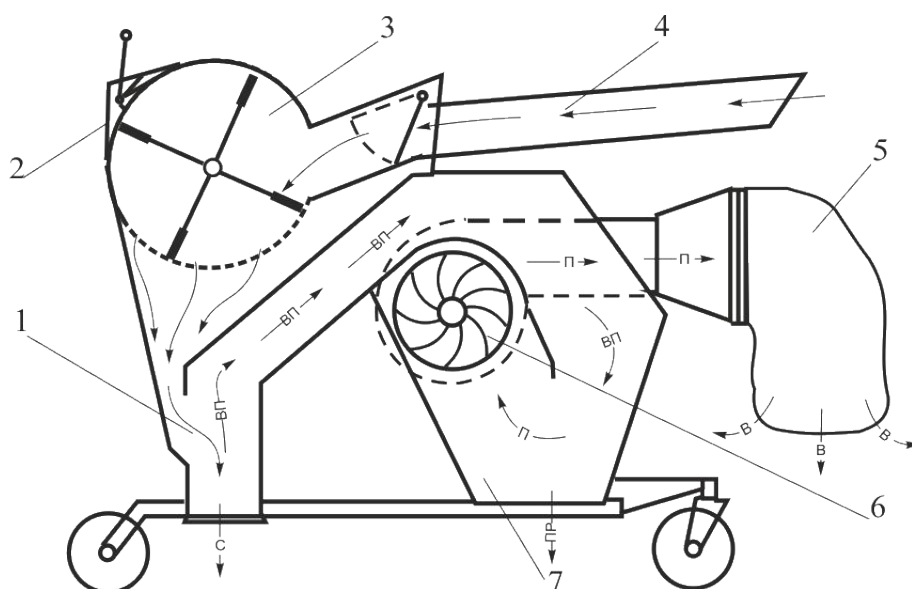
– после процесса вытирания весь материал необходимо вручную просеивать через несколько видов сит для отделения крупных примесей, а затем оставшийся материал при помощи аспирационной трубы отделить от мелких примесей.

Только после выполнения этих операций получаем конечный результат – чистые семена многолетних трав.

В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ разработана и изготовлена молотилка-терка пучковая универсальная МТПУ-500 (рис. 2), предназначенная для обмолота пучков зерновых, зернобобовых и крупяных культур и вытирания семян трав многолетних растений с последующей сепарацией вороха [5, 6, 7]. Технические показатели машины приведены в табл. 2.

Принцип работы машины заключается в следующем: оператор помещает пучки растений в приемную камеру (4) строго в направлении семенами или цветками в сторону молотильной камеры (2), фиксируя стебли в неподвижном положении задвижкой при помощи рычага. Процесс отделения семян происходит в молотильном барабане (3) за счет проволакивания вороха между резиновыми бичами терочного барабана и сетчатой декой бичевого барабана, при этом семена и мелкие примеси через сетчатую деку попадают в аспирационный ка-

нал (1). Семена, осыпаясь вертикально вниз через аспирационный канал (1), оседают в предварительно подготовленной емкости. За счет разрежения, создаваемого вентилятором (6), воздух, проходя через аспирационный канал, устремляет легкие примеси в осадочную камеру (7), а пылевоздушный поток фильтруется через пылеуловитель (5).



————> - исходный материал; —вп> - воздушный поток с примесями;
 —п> - примеси; —п> - пылевоздушный поток; —в> - чистый воздух

Рис. 2. Технологическая схема МТПУ-500: 1 – аспирационный канал; 2 – выгрузное окно; 3 – молотильная камера; 4 – приемная камера; 5 – пылеуловитель; 6 – вентилятор; 7 – осадочная камера

Таблица 2

Основные технические показатели молотилки-терки пучковой универсальной МТПУ-500

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Производительность	Пучков/ч	до 100
Объем одной порции загружаемого материала	см ³	не более 250
Объем тёрочного стакана	см ³	400
Степень вытирания	%	до 99
Потребляемая мощность	кВт	1,1
Частота вращения барабана	мин ⁻¹	0...1000
Зазор между бичами и декой	мм	0...15
Габаритные размеры (в рабочем положении), не более:	мм	
– длина		1890
– ширина		900
– высота		1285
Масса	кг	330
Напряжение питания	В	380
Обслуживающий персонал	чел.	1–2

Однако данная машина не вполне пригодна для работы в условиях селекционных лабораторий в основном по причине не требуемой в лабораторных условиях высокой производительности (80–100 пучков в час), больших габаритов, необходимости удаления крупных примесей после каждого цикла вытирания семян через выгрузное окно. Кроме этого МТПУ-500 снабжена системой очистки вытертых семян от легких примесей без должной очистки отработанного воздуха от пыли, что делает невозможным использование машины в закрытом помещении.

Селекционная клеверотерка патент 727178 под авторством Ю. Д. Ахламова и В. Ф. Артюхова (рис. 3) представляет собой вертикальный неподвижный барабан, внутри которого соосно корпусу расположен ротор, который, в свою очередь, закреплен на валу электродвигателя при помощи штифта [9].

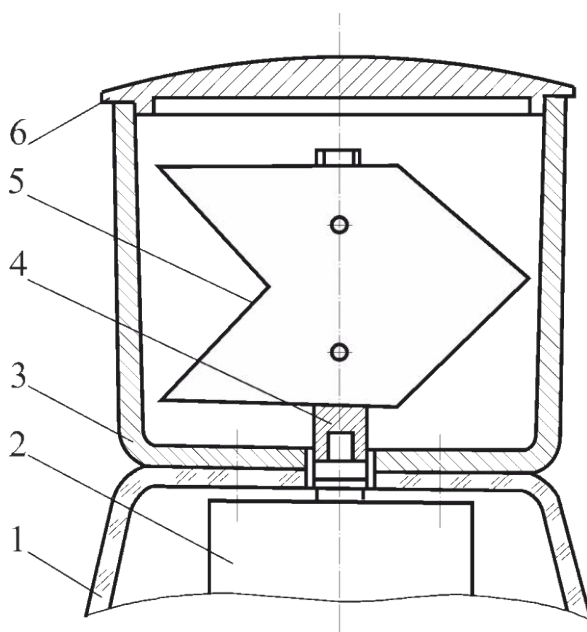


Рис. 3. Схема селекционной клеверотерки: 1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – вертикальный неподвижный барабан; 4 – ротор; 5 – рабочий орган; 6 – крышка

На роторе (4) при помощи двух винтов закреплена эластичная лопасть (главный рабочий орган) (5), выполненная в виде ласточкина хвоста. Барабан (3) жестко крепится к корпусу двумя винтами. Внутри корпуса расположен электродвигатель (2), на валу которого закреплен ротор (4). Корпус (1) клеверотерки представляет собой усеченный конус и с суммируемой массой электродвигателя представляет собой надежную опору барабана и утяжелитель (на схеме не показан), который во время работы машины компенсирует дисбаланс

вращающегося ротора с лопастью и обрабатываемым материалом. Барабан (3) сверху закрывается крышкой (1).

Машина работает следующим образом. Для начала работы необходимо снять крышку (6) и загрузить в барабан (3) от 1 до 10 головок клевера или другой селекционный материал в схожей пропорции, закрыть крышку и запустить электродвигатель (2). Семена вытираются за счет трения рабочего материала между стенкой барабана и рабочим элементом (5). Рабочий элемент представляет собой главную отличительную черту данной селекционной клеверотерки: эластичная лопасть, выполненная в виде ласточкина хвоста, не защемляет обрабатываемый материал между стенкой барабана и лопастью и не повреждает вытертые семена.

Данная селекционная клеверотерка имеет очень низкую производительность и выполняет лишь одну операцию – вытирание семян из головок, а операции отделения головок от стеблей и отделения семян от крупных и мелких примесей необходимо выполнять вручную или при помощи других средств механизации.

Выводы:

1. В результате обзора существующих конструкций и технологических параметров лабораторных клеверотерок выявлено, что выпускаемые на настоящее время машины не в полной мере удовлетворяют потребности в их функционале со стороны селекционеров многолетних трав.

2. Установлено, что на настоящий момент промышленностью Российской Федерации не производится востребованных селекционерами лабораторных клеверотерок, выполняющих последовательно операции отделения бобиков от стеблей и их вытирания, и требуется разработка технологической схемы данной машины.

Библиографический список

1. Ахламов Ю. Д., Отрошко С. А., Шевцов А. В. Машина для вытирания семян трав // Техника в сельском хозяйстве. 1997. № 3. С. 28–29.
2. Бурков А. И., Конышев Н. Л., Рощин О. П. Машины для послеуборочной обработки семян трав. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2003. 208 с.
3. Конышев, Н. Л., Симонов М. В. Клеверотерка КПЛ-100 // Сельский механизатор. 2012. № 6. С. 14.

4. Могильницкий В. Г., Перекопский А. Н. Технологические аспекты развития механизации послеуборочной обработки семян многолетних трав в Северо-Западном регионе РФ // Сб. науч. тр. СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии ; сер. «Техн. науки». 2012. Вып. 84. С. 26–37.
5. Молотилка-терка пучковая универсальная МТПУ-500 : проспект. М. : ВИМ, 1981.
6. Молотилка-терка пучковая универсальная МТПУ-500 : техн. описание и ин-струкция по обслуживанию. М. : ВИМ, 1981. 13 с.
7. Молотилка-терка пучковая универсальная МТПУ-500 : сайт ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. URL: <https://vim.ru/product/technics/9/239/>.
- 8 Пат. № 2450505 РФ, МПК 7 А 01 F 11/04. Порционное устройство для выти- рания семян трав / А. И. Бурков, М. В. Симонов, Ю. А. Ефремов. Оpubл. 20.05.2012. Бюл. № 14.
9. Пат. № 727178 СССР, М. Кл² А 01 F 11/04. Селекционная клеверотерка / Ю. Д. Ахламов, В. Ф. Артюхов. Оpubл. 25.04.1980. Бюл. № 14.

Прототип вертикального 3D-плоттера

И. А. Созонов^a, В. А. Ардашев^b, В. Д. Куракина^c,

А. А. Фоминых^d, И. В. Губин^e

студент группы ЭиЭб-1805-03-00^a

студент группы ЭиЭб-4806-07-00^b

студент группы ЭиЭм-2802-02-00^c

кандидат технических наук, декан электротехнического факультета^d

аспирант группы ЭиТа-3803-08-00^e

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d, e}

E-mail: stud147345@vyatsu.ru^a, stud120329@vyatsu.ru^b, stud123964@vyatsu.ru^c,

aa_fominyh@vyatsu.ru^d, usr20906@vyatsu.ru^e

Аннотация. В данной статье затронута проблема невзрачности и неинформативности учебных помещений кампуса. В связи с этим в рамках проектной деятельности студенты электротехнического факультета Вятского государственного университета при поддержке преподавателей разработали прототип вертикального 3D-плоттера. Данное устройство позволит бюджетно и за минимальные сроки внести изменения в дизайн учебных помещений. В ходе работы была найдена подходящая конструкция, которая вошла в основу созданного прототипа 3D-плоттера. Данное устройство позволяет при помощи маркера или другого пишущего элемента наносить любое изображение на рабочую поверхность до формата А1. В будущем прототип планируется сделать более мобильным, расширить функционал и увеличить скорость работы. В дальнейшем устройство планируется применять на любой вертикальной поверхности.

Ключевые слова: вертикальный плоттер, Arduino mega, проектная деятельность.

Введение. Подавляющее большинство учебных заведений в наши дни представляет из себя неброские здания с посредственным ремонтом, чаще всего выполненном в серых тонах. Нравится ли обучающимся получать знания в такой обстановке? Скорей всего, нет!

Существует множество исследований, говорящих, что обстановка в учебном заведении влияет на усвоение материала и желание обучающегося посещать образовательное учреждение. Примером такого исследования служит работа, проведенная в одной из британских школ. Среди родителей был проведён опрос [1] на тему «Критерии выбора учебного заведения». Оказалось, что одним из важных факторов при выборе образовательного учреждения для своих детей является внешний вид учебных помещений. На основании полученных данных совместно с руководством колледжа New Line Learning Academy из британского города Кент создали новый дизайн учебных помещений. Результаты поразили: уже через полгода уровень посещаемости занятий вырос с 50 до 90%.

Ведущий подход. Ограниченный бюджет – основная проблема учебных заведений, препятствующая внедрению дизайнерских решений в учебные аудитории. Так как ремонт требует больших средств, появилась потребность в бюджетном способе реставрации помещений кампуса. Таким образом, в рамках проектной деятельности студентами электротехнического факультета ВятГУ был создан прототип вертикального 3D-плоттера, который позволит без особых материальных вложений, временных затрат и сложностей внести разнообразие в дизайн учебных аудиторий путём рисования на стенах разных объектов.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе выполнения проекта были изучены различные конструкции 3D-плоттера. По результатам исследования был выбран образец модели с подробным описанием используемых материалов и плана работы [2]. Пример конструкции представлен на рис. 1.



Рис. 1. Модель вертикального 3D-плоттера

Программная часть представлена в виде утилиты Michelangelo, написанной на языке Java. Данная программа позволяет преобразовать изображение в нужный формат и выставить основные настройки плоттера, такие как начальное положение двигателей, скорость отрисовки, формат рабочей области и так далее. Затем преобразованное изображение через USB-кабель передается на

контроллер RAMPS 1.4, который сопряжен с платой Arduino Mega 2560. Arduino преобразует G-коды в сигналы и управляет шаговыми двигателями посредством силовой части RAMPS 1.4. Для правильной работы плоттера два шаговых двигателя должны вращаться в противоположных направлениях. Для отрывания пишущего стержня от рабочей поверхности использовался Servo Motor SG90. Структура плоттера представлена на рис. 2.

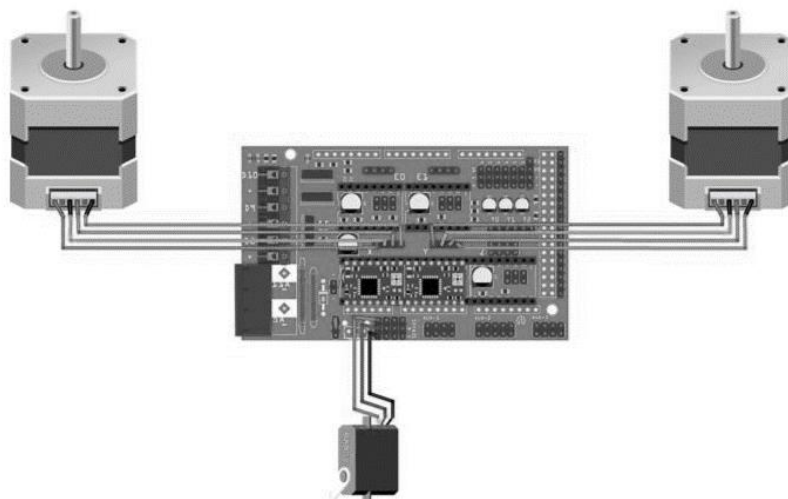


Рис. 2. Схема подключения вертикального 3D-плоттера

Для создания прототипа плоттера были куплены все необходимые комплектующие, список используемых материалов представлен в таблице.

Комплектующие для сборки 3D-плоттера

Название комплектующих	Количество, шт.
Arduino Mega 2560	1
RAMPS 1.4 Controller	1
A4988 Stepper Driver Module	1
Stepper Motor NEMA 17	2
Servo Motor SG90	2
GT2 6mm Timing Belt 200mm	1
GT2 Зубчатый шкив 80 зубьев	2
ХН2.54 мм – 4Р 20 см Кабель с двойным разъемом	2
8Р радужный ленточный кабель 2м	1
Кабель питания x два сердечника 2м	1
Круглые неодимовые магниты 10мм x 2мм	16
Источник питания 12В постоянного тока	1
Пустая катушка	1
Кабельный ввод 8-12мм	2
Гайка М10	
Кабель для программирования Arduino	1

В процессе сборки зубчатый шкив и пустая пластиковая катушка для сервопривода были заменены на детали, выполненные на 3D-принтере, с тем же функционалом. Результаты первой сборки приведены на рис. 3.

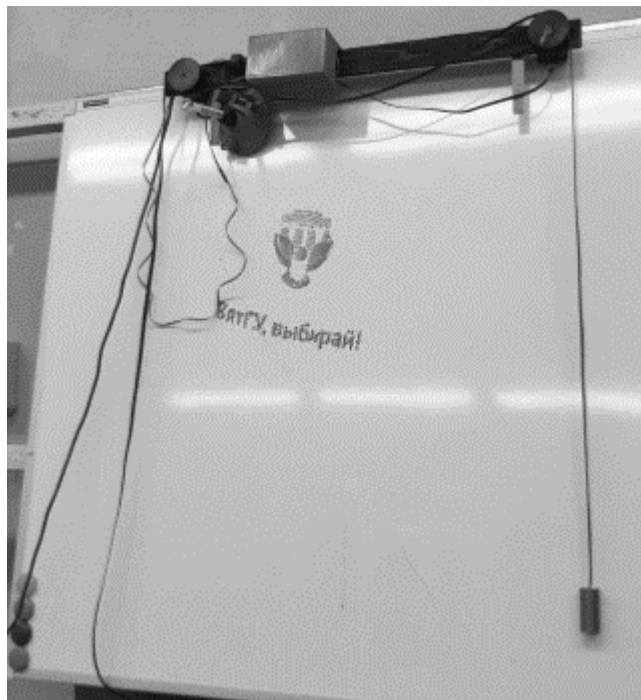


Рис. 3. Опытный прототип 3D-плоттера

Одной из сложных задач являлось программирование платы Arduino Mega. В статье [2] были представлены готовые алгоритмы программы, но их пришлось несколько изменить, чтобы конструкция работала в нужном режиме.

Выводы. Данный прототип позволяет рисовать любые изображения в формате рабочей поверхности до А1. Рисование производится маркером.

В дальнейшем плоттер будет приведен в эстетический вид: все компоненты и движимые части будут спрятаны в специальный короб, напечатанный на 3D-принтере. Более того, прототип планируется сделать более портативным и быстрым.

Библиографический список

1. Обстановка влияет на обучение. URL: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/obstanovka-vliyaet-na-obuchenie> (дата обращения: 05.02.2022).
2. Blackboard v-plotter. URL: <https://www.instructables.com/BLACKBOARD-V-PLOTTER/> (дата обращения: 08.02.2022).

Испытания физико-механических характеристик тканей для специальной одежды

М. А. Сташева^а, М. М. Язлыев^б

кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения,
товароведения, стандартизации и метрологии^а
студент группы мТКЭв-11^б

Ивановский государственный политехнический университет,
Иваново, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: marinastasheva@mail.ru^а, yazlyew99@gmail.com^б

Аннотация. Ткани для специальной одежды занимают значительную долю в выпуске текстильных полотен. Поэтому задача по исследованию их физико-механических характеристик является актуальной. Цель статьи – анализ результатов испытаний тканей для спецодежды на предмет соответствия их требованиям нормативно-технической документации. В работе применяли следующие методы исследования: визуальный осмотр переплетений тканей; микроскопия волокнистого состава; анализ физико-механических характеристик. В работе приведен анализ основных производителей тканей для специальной одежды; проанализирован типовой ассортимент полотен; проведены лабораторные испытания показателей структуры, прочности и надежности, что в дальнейшем позволит упростить работы по подтверждению соответствия данных полотен и прогнозированию их эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: ткани, специальная одежда, физико-механические характеристики, испытания.

Введение. В настоящее время ткани для специальной одежды занимают значительную долю в выпуске текстильных полотен. Основные российские производители специальных тканей: «Чайковский текстиль», «Норд-текс», «Меланж-текстиль» и др. Они выпускают хлопковые, полиэфирные, арамидные и смесовые ткани с разнообразными отделками: водо-, масло-, нефте-, грязеотталкивающие, огнезащитные, антистатические, кислотостойкие, антибактерицидные и пр. Некоторые артикулы тканей имеют собственные наименования: Премьер, Климат, Эксперт, Патриот, Грета, Мастер, Проект, Контакт, Сису, Престиж, Балтика и т.д., которые уже зарекомендовали себя на рынке. Отличаются и технические параметры данных тканей, выпускаемых различными производителями, что создает определенные трудности у предприятий-переработчиков, в частности по прогнозированию эксплуатационных свойств применяемых материалов [1, 2]. Поэтому актуальной считаем задачу по исследованию физико-механических характеристик тканей для специальной одежды применительно к ассортименту, реализуемому на отечественном рынке.

Методы исследования. В работе применяли следующие методы исследования: визуальный осмотр переплетений тканей; микроскопия волокнистого состава; анализ структуры и физико-механических характеристик.

Объектами исследования являлись образцы тканей для специальной одежды следующих торговых наименований: артикулы 152, 154, 99, 175, 178, выпускаемые производителями на территории Ивановской области.

Результаты исследований, их обсуждение. Первоначально была определена номенклатура показателей качества для проведения исследований. Традиционно [3–5] считается, что физико-механические характеристики (прочность, износостойкость, надежность) являются наиболее важными при оценке качества специальных тканей, так как именно эти показатели обеспечивают эксплуатационные свойства готовых швейных изделий. Нормативные документы предусматривают такие показатели, как состав сырья, допускаемые отклонения по составу сырья, линейная плотность пряжи, плотность нитей в ткани (число нитей на 10 см), переплетение, поверхностная плотность, ширина, разрывная нагрузка, раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию, изменение размеров после мокрой обработки (или химической чистки), вид отделки, показатели защитных свойств, расстояние между токопроводящими нитями (по основе и по утку), содержание свободного формальдегида, устойчивость окраски. Ткани, вырабатываемые со специальными видами отделок (и имеющие соответствующую маркировку), по показателям защитных свойств должны удовлетворять требованиям по показателям водоупорности, водоотталкивания, маслоотталкивания, нефтеотталкивания, потери прочности после воздействия нефти, кислотонепроницаемости, потери прочности после воздействия кислоты, воздухопроницаемости, огнестойкости [6].

Результаты исследований представлены в табл. 1. Нормативные значения по [6] представлены в табл. 2. Измерения проводили как по стандартным методикам, так и по разработанным на кафедре МТСМ ИВГПУ [7–10].

Таблица 1

Результаты испытаний физико-механических характеристик

Показатель качества	Значение показателей для артикулов				
	152	154	99	175	178
Ширина, см	150	151	151	150	149
Переплетение	Саржа	Саржа	Саржа	Саржа	Саржа
Состав, %	Хлопок – 48 Полиэфир – 52	Поли-эфир – 100	Хлопок – 80 Полиэфир – 20	Хлопок – 80 Полиэфир – 20	Хлопок – 80 Полиэфир – 20
Поверхностная плотность, г/м ²	214	240	260	255	255
Плотность по основе, нитей на 10 см	405	420	442	441	440
Разрывная нагрузка по основе, Н	1079	1755	755	800	902
Плотность по утку, нитей на 10 см	195	231	202	201	204
Разрывная нагрузка по утку, Н	392	1118	500	549	647
Изменение линейных размеров, %	-3.5	-3.0	-3.9	-3.9	-2.5
Стойкость к истиранию, циклы	7500	5000	4000	4000	5000

Таблица 2

Нормативные значения физико-механических характеристик

Артикул	Ширина, см	Поверхностная плотность, г/м ²	Плотность по основе, нитей на 10 см	Разрывная нагрузка по основе, Н	Плотность по утку, нитей на 10 см	Разрывная нагрузка по утку, Н	Изменение линейных размеров, %		Стойкость к истиранию, циклы
							По основе	По утку	
152	150±2	214 _{.11}	407±9	900	194±6	600	-2.0	±1.5	4500
154	150±2	240 _{.12}	422±9	1000	230±7	500	-3.0	±2.0	5000
99	150±2	260 _{.13}	440±9	800	200±6	600	-3.5	±2.0	4000
175	150±2	255 _{.13}	440±9	800	200±6	600	-3.5	±2.0	4000
178	150±2	255 _{.13}	438±9	800	205±6	600	-3.5	±2.0	4000

Анализ результатов свидетельствует о неполном соответствии значений физико-механических характеристик требованиям нормативно-технической документации [6]. В частности, по артикулу 152 значение разрывной нагрузки по утку значительно меньше нормативного (392 Н против 600 Н), что объясняется низкой плотностью ткани по утку. По артикулам 152, 99 и 175 наблюдается превышение нормативных значений усадки (изменения линейных размеров) по основе (-3.9% и -3.5% соответственно), что объясняется значительным вложением хлопкового волокна в состав пряжи. Напротив, по показателю стойкость к

истиранию отклонений не обнаружили, а по артикулу 152 есть даже кратное превышение (7500 против 4500 циклов).

Данные несоответствия объясняются тем, что требования технического регламента на средства индивидуальной защиты [11] в части требований к материалам для специальной одежды значительно отличаются от требований межгосударственного стандарта [6], причем в меньшую сторону (сокращенная номенклатура показателей качества с упором исключительно на показатели безопасности, меньшие количественные значения показателей качества). Последнее позволяет изготовителям тканей для спецодежды в настоящее время часть продукции выпускать по такому документу стандартизации, как стандарт организации (в том числе технические условия), а не по межгосударственным или национальным стандартам, с учетом рынка сырья, парка оборудования и квалификации персонала. В то же время такая ситуация не в полной мере удовлетворяет производителей специальной одежды. Ввиду закрытости данных нормативных документов специалисты швейных предприятий не могут точно спрогнозировать эксплуатационные свойства готовых изделий – средств индивидуальной защиты.

Полученные результаты и дальнейшие исследования физико-механических характеристик тканей для специальной одежды позволят сформировать рекомендации по переработке данных материалов для швейных предприятий – изготовителей специальной одежды (в частности, по учету усадки полотен).

Выводы. В работе приведен анализ основных производителей тканей для специальной одежды; проанализирован типовой ассортимент полотен; проведены лабораторные испытания показателей структуры, прочности и надежности, что в дальнейшем позволит упростить работы по подтверждению соответствия данных полотен и прогнозированию их эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. Махоткина Л. Ю., Хузина Л. М. Анализ материалов для одежды специального назначения, реализуемых на российском рынке // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 7. С. 89–93.
2. Сайфутдинова И. Ф., Курносова Д. Р., Хамматова В. В. Основные игроки на рынке производства текстильных материалов для спецодежды // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 1. С. 91–96.

3. Курденкова А. В., Шустов Ю. С., Давыдов А. Ф. Разработка методов оценки качества и экспертизы огнестойких тканей // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. № Т3. С. 26–30.
4. Исследование зависимости разрывной нагрузки тканей от воздействия светопогоды / В. Е. Беденко, М. Н. Иванов, А. Е. Рудин, И. В. Стефанская // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2012. Т. 15. № 1. С. 18–21.
5. Стасева М. А. Исследование смесовых тканей специального назначения // Теория и практика экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции : сб. науч. тр. по материалам Круглого стола с междунар. участием, Москва, 31 мая 2021 года. М. : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2021. С. 121–125.
6. ГОСТ 11209-2014. Ткани для специальной одежды. Общие технические требования: принят 14.11.2014, действ. с 01.01.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200117511> (дата обращения: 31.01.2022).
7. Испытания трикотажных полотен с целью подтверждения соответствия / М. А. Стасева, Т. Н. Новосад, Н. В. Евсеева, Б. Н. Гусев // Технологии и качество. 2020. № 1 (47). С. 22–25.
8. Determining the areal density of woven fabrics / M. A. Stasheva, N. A. Korobov, I. E. Arefeva, T. Leonidi // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2003. № 5(274). Pp. 119–121.
9. Stasheva M. A., Korobov N. A., Gusev B. N. Developing a rapid method for the computer measurement of the cover factor and porosity in woven fabrics // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2002. № 3(267). Pp. 17–19.
10. Computer measurement of fabric pile height / S. V. Gladkov, M. A. Stasheva, N. A. Korobov, B. N. Gusev // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2004. № 1(276). Pp. 116–119.
11. ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты: принят и действ. с 9.12. 2011. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320567> (дата обращения: 01.02.2022).

Эффективность работы ТЭЦ в условиях расширенного графика регулирования нагрузки отопления при различной доле расхода сетевой воды при смене способа регулирования

Д. М. Суворов^a, Е. А. Лыскова^b

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой кафедры теплотехники и гидравлики^a

студент группы ТиТм-1801-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: etf_suvorov@vyatsu.ru^a, liskova.eka@yandex.ru^b

Аннотация. Целью исследования является определение интегральной энергетической эффективности применения расширенного графика регулирования отопления на модельной ТЭЦ для условий г. Кирова при различной доле расхода сетевой воды при смене способа регулирования. Методология работы основана на методе энергетических балансов систем теплоснабжения с паротурбинными ТЭЦ с использованием адекватных математических моделей турбоагрегатов. В работе рассчитаны и построены температурные графики и графики расходов сетевой воды, определены затраты электроэнергии на сетевые насосы и величины нормативных тепловых потерь для заданных расчетных условий. Показано, что переход на расширенный график регулирования приводит к снижению удельного расхода условного топлива на отпуск электроэнергии на величину до 1,4%. Также установлено, что доля расхода сетевой воды при смене способа регулирования в диапазоне от 20 до 40% незначительно влияет на интегральную эффективность при использовании расширенного графика регулирования отопления.

Ключевые слова: расширенный график регулирования, теплоснабжение, сетевая вода, ТЭЦ, энергетическая эффективность.

Введение. Расширенный график регулирования (РГР) как частный случай качественно-количественного регулирования для нагрузки отопления обеспечивает максимальное использование теплового потенциала теплоносителя и минимальные затраты энергии на его транспорт при заданной температуре воздуха в помещениях [1–3]. Преимущество РГР заключается в существенном снижении расхода сетевой воды по сравнению с используемыми методами в течение основной части отопительного периода. В ранее выполненных работах определена эффективность применения РГР по сравнению с исходным температурным графиком (ИТГ) преимущественно качественного регулирования нагрузки отопления в условиях проектной [1, с. 53] и пониженной температуры прямой сетевой воды [2, с. 112]. Применение РГР подразумевает полную автоматизацию как тепловых, так и гидравлических режимов работы тепловых пунктов для обеспечения минимальных затрат энергии на транспорт сетевой воды при снижении расхода; кроме того, при РГР происходит снижение нормативных тепловых потерь [3, с. 108–109].

Целью данной работы является определение интегральной за отопительный период энергетической эффективности применения РГР для нагрузки отопления на модельной ТЭЦ при различной доле расхода сетевой воды при смене способа регулирования при РГР для климатических условий г. Кирова.

Из цели работы вытекает постановка следующих задач.

1. Определить зависимости температур прямой и обратной сетевой воды от температуры наружного воздуха для ИТГ с расчетными температурами теплоносителя 150/70 °С и РГР при разных долях относительного расхода сетевой воды при смене способа регулирования. 2. Построить графики расходов сетевой воды для ИТГ и для РГР. 3. Рассчитать за отопительный период нормативные тепловые потери в тепловых сетях и затраты электроэнергии на привод сетевых насосов для ИТГ и для РГР. 4. Определить интегральные показатели энергетической эффективности применения РГР по сравнению с ИТГ для условий модельной ТЭЦ.

Ведущий подход. Основой использованного научного подхода является метод энергетических балансов систем теплоснабжения, включающих паротурбинные ТЭЦ в качестве источника и магистральные тепловые сети, причем расчет режимов работы агрегатов ТЭЦ на заданную тепловую нагрузку выполнен с использованием адекватных математических моделей агрегатов типа Т-50-130 [1–3]. Математическое моделирование использовалось также при расчете температурных и расходных графиков систем теплоснабжения. Кроме того, использован метод расчета интегральных за отопительный период параметров энергетической эффективности с учетом длительности одноградусных температурных интервалов и режимов работы для каждого из этих интервалов, который подробно представлен в работах [1, с. 42–45; 3, с. 102–104]. Граничные условия расчетов и параметры эффективности работы ТЭЦ полностью соответствуют представленным в предшествующей статье авторов [3, с. 103–104] и далее специально не поясняются. В данном исследовании расчет производился для ИТГ с температурным графиком 150/70 °С и графиков РГР при той же температуре сетевой воды в подающей линии с долями относительного расхода се-

тевой воды при смене способа регулирования 20%, 30% и 40%. Транспортировка теплоносителя от ТЭЦ до систем отопления осуществляется по схеме, изображенной на рис. 1 и аналогичной [3, с. 103]. Магистральные тепловые сети при этом моделируются двумя трубопроводами диаметром $d=600$ мм, плюс от каждой магистрали отходит по пять распределительных линий диаметром $d=250$ мм к потребителям с одинаковой нагрузкой. Расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ составляла 220 МВт.

Исследование проводилось для климатических условий отопительного периода г. Кирова для модельной ТЭЦ с турбинами Т-50-130 в интервале наружных температур от $+8$ °С до -36 °С. Как и в [3], расчеты выполнены при работе агрегатов ТЭЦ преимущественно по электрическому графику при двух значениях коэффициентов теплофикации, равных 0,5 (в этом случае на ТЭЦ работает одна турбина) и 1,0 (в этом случае на ТЭЦ работают две турбины).

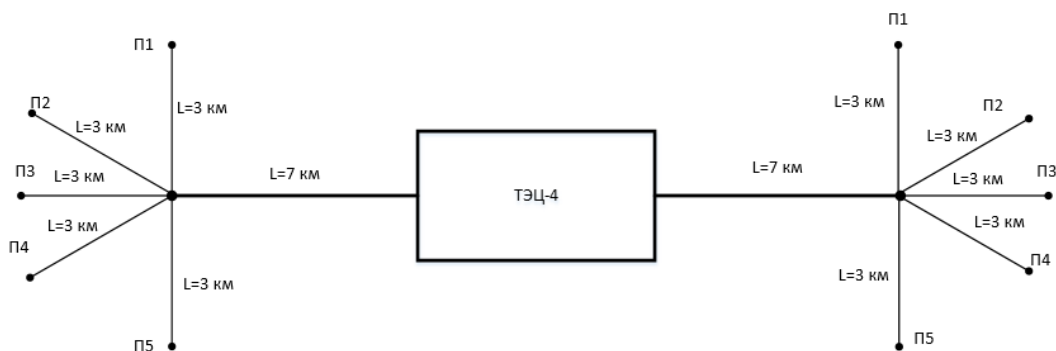


Рис. 1. Схема магистралей модельной ТЭЦ; П – потребители тепла

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты расчета графиков температур прямой и обратной сетевой воды для всех исследуемых вариантов представлены на рис. 2.

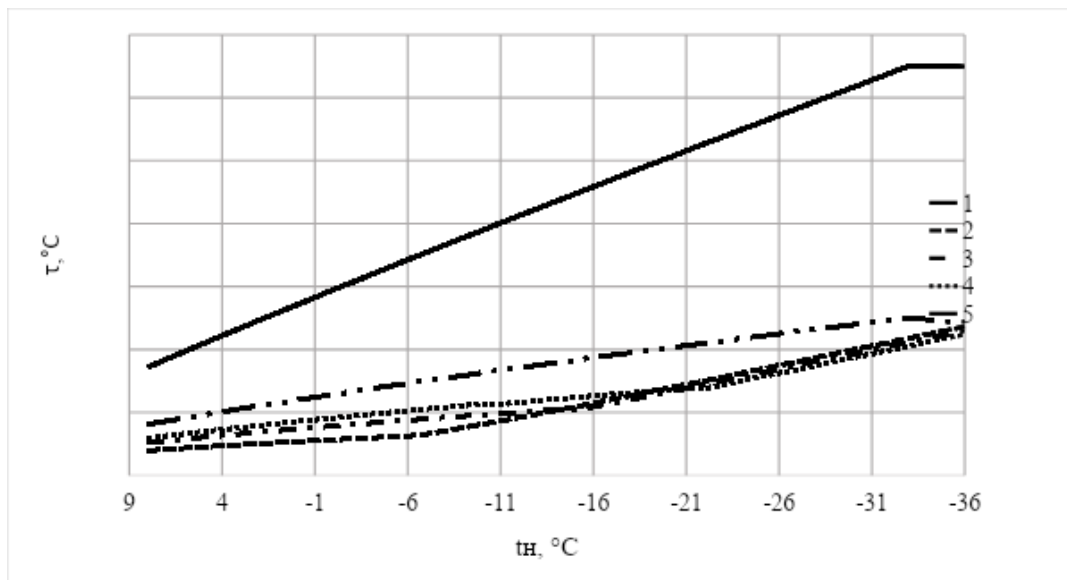


Рис. 2. Температура прямой и обратной сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха для ИТГ 150/70 °С и РГР с долями относительного расхода 20%, 30% и 40%: 1 – температура прямой сетевой воды для всех графиков РГР и графика ИТГ; 2 – температура обратной сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 20%; 3 – температура обратной сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 30%; 4 – температура обратной сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 40%; 5 – температура обратной сетевой воды при ИТГ

На основании заданных тепловых нагрузок отопления по рассчитанным температурным графикам построены графики расходов сетевой воды для ИТГ и для РГР, которые приведены на рис. 3.

Анализ рис. 2 и 3 позволяет заключить, что в течение большей части отопительного периода (при температурах выше минус 20 °С) расходы сетевой воды при РГР на 20–30% ниже, чем при ИТГ; и при этом чем менее доля относительного расхода при смене способа регулирования, тем это снижение больше. Данное различие обусловлено меньшими температурами обратной сетевой воды, которых можно достичь при РГР (рис. 2).

В качестве основного показателя энергетической эффективности для каждого из двух исследуемых по значению коэффициента теплофикации ТЭЦ вариантов используется удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии бутэот, рассчитанный при использовании физического метода интегрально за отопительный период для сопоставимых граничных условий аналогично работе [3, с. 104].

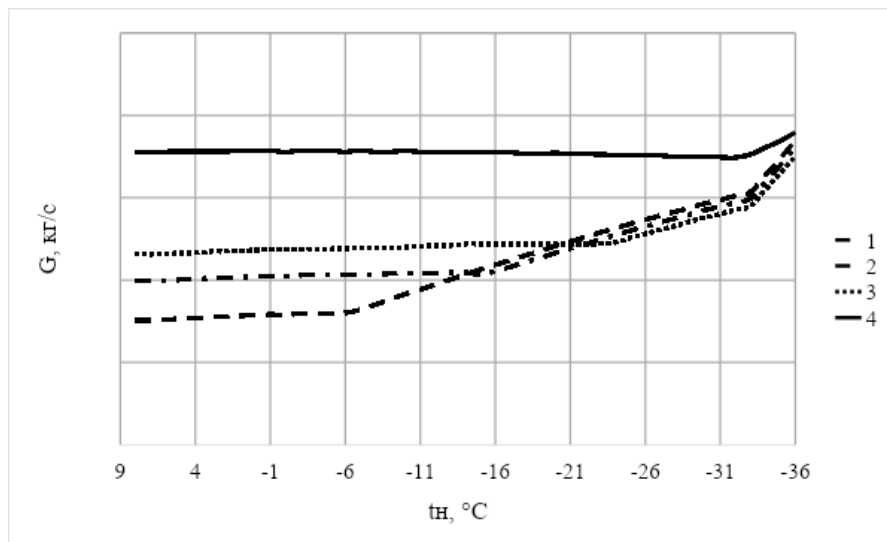


Рис. 3. Расходы сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха для ИТГ 150/70 $^{\circ}\text{C}$ и РГР с долями относительного расхода 20%, 30% и 40%: 1 – расход сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 20%; 2 – расход сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 30%; 3 – расход сетевой воды при РГР при доле относительного расхода 40%; 4 – расход сетевой воды при ИТГ.

Дополнительными показателями эффективности являются рассчитанные при тех же условиях интегральные значения удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении $\text{Э}_т$, коэффициента использования теплового потенциала теплоносителя $\text{К}_{тп}$, величины отпуска электроэнергии потребителям $\text{N}_{эот}$, расхода электроэнергии на привод сетевых насосов $\text{N}_{СЭН}$ и процента нормативных тепловых потерь от величины отпуска тепловой энергии в сеть (все эти показатели рассчитаны в соответствии с [3, с. 103–104]).

Полученные интегральные результаты расчетов представлены в таблице и позволяют заключить следующее. Во-первых, такие параметры, как $\text{К}_{тп}$, $\text{N}_{СЭН}$ и, одинаковы для любого значения коэффициента теплофикации ТЭЦ, так как расходы теплоносителя и температурные графики в принятых расчетных условиях не зависят от этого показателя. Во-вторых, величина $\text{Э}_т$ при переходе от ИТГ к РГР увеличивается не более чем на 1,6% при коэффициенте теплофикации 0,5 и на 0,8% при коэффициенте теплофикации 1,0, что следует признать не очень существенным. В-третьих, расход электроэнергии на привод сетевых насосов хотя и существенно снижается при переходе от ИТГ к РГР, но его доля для данного температурного графика в величине вырабатываемой ТЭЦ электроэнергии невелика, и для ИТГ она составляет 1,2% при коэффициенте

теплофикации 0,5 и только 0,55% при коэффициенте теплофикации 1,0, так что эффект данного снижения на величину бутэот также оказывается небольшим.

Показатели энергетической эффективности работы ТЭЦ для сравниваемых вариантов

Вид графика, доля относительного расхода при РГР, %	Нэот, тыс. МВт·ч	НСЭН, тыс. МВт·ч	Эт	бутэот, Г у.т./ кВт·ч	Ктп	ω, %
Коэффициент теплофикации 0,5						
ИТГ	323,69	3,759	0,498	197,3	0,569	6,10
РГР, 20% d1=600 мм	328,56	2,256	0,506	194,6	0,783	5,78
РГР, 30%	328,25	2,317	0,506	194,7	0,734	5,84
РГР, 40%	327,72	2,533	0,504	195,0	0,696	5,84
Коэффициент теплофикации 1,0						
ИТГ	687,79	3,759	0,491	275,6	0,569	6,10
РГР, 20%	691,16	2,256	0,495	274,0	0,783	5,78
РГР, 30%	691,99	2,317	0,495	273,7	0,734	5,84
РГР, 40%	690,32	2,533	0,494	274,3	0,696	5,84

В целом по величине относительного снижения бутэот при коэффициенте теплофикации 0,5 переход от ИТГ к РГР эффективность работы ТЭЦ увеличивается до 1,4%, а при коэффициенте теплофикации 1,0 – до 0,7%. При этом доля относительного расхода сетевой воды при РГР в рассматриваемом диапазоне от 20 до 40% очень слабо влияет на интегральную энергетическую эффективность работы ТЭЦ (менее 0,2% по изменению бутэот).

Выводы:

1. В данной работе рассмотрен расширенный график регулирования потребителей по нагрузке отопления в сравнении с исходным графиком регулирования. Сравнение проводилось при различных долях относительного расхода сетевой воды при смене способа регулирования при РГР – 20%, 30% и 40%. Температура прямой сетевой воды одинакова для всех графиков и соответствует ИТГ 150/70°С. Рассчитаны температурные графики системы теплоснабжения, по которым определено, что чем больше доля относительно расхода сетевой воды, тем дальше точка смены способа регулирования сдвигается в область более низких температур наружного воздуха.

2. Построены графики расходов сетевой воды при ИТГ и при РГР для заданных расчетных условий, по которым определено, что при увеличении доли

относительного расхода сетевой воды при смене способа регулирования в зоне качественного регулирования абонентов расход сетевой воды на ТЭЦ увеличивается, а в зоне количественного регулирования незначительно уменьшается.

3. Затраты электроэнергии на привод сетевых насосов напрямую зависят от гидравлических потерь, которые, в свою очередь, напрямую зависят от расхода сетевой воды. Рассчитанные величины затрат электроэнергии на сетевые насосы и величины нормативных тепловых потерь, представленные в таблице, показывают преимущество РГР над ИТГ, и при этом большую эффективность РГР с меньшими величинами расходов сетевой воды при смене способа регулирования

4. Расчет интегральных показателей энергетической эффективности применения РГР по сравнению с ИТГ для условий модельной ТЭЦ, результаты которого отражены в таблице, показал, что переход на РГР в данных условиях приводит к снижению основного из них – удельного расхода условного топлива на отпуск электроэнергии бутэот – на величину до 1,4%, причем при росте коэффициента теплофикации это снижение сокращается. Также определено, что величина относительного расхода сетевой воды при смене способа регулирования при РГР незначительно влияет на энергетическую эффективность работы ТЭЦ по показателю бутэот. Таким образом, при переходе на РГР следует выбирать более высокое по отношению к минимально возможному по условию гидравлической устойчивости абонентов значение этого параметра (на уровне 40% или несколько выше), чтобы обеспечить наиболее комфортное регулирование отопления для каждого помещения на каждом абонентском тепловом пункте.

Библиографический список

1. Пятин А. А., Суворов Д. М. Расширенный график регулирования отопления: оценка влияния на эффективность паротурбинных ТЭЦ // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 3 (47). С. 40–55.
2. Пятин А. А., Суворов Д. М. Расширенный график регулирования отопления: определение и оценка эффективности применения в системах теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2021. № 4. С. 64–78.
3. Суворов Д. М., Татарина Н. В., Лыскова Е. А. Эффективность расширенных графиков регулирования отопления на ТЭЦ при понижении расчетной температуры прямой сетевой воды // Проблемы региональной энергетики. 2021. № 4 (52). С. 99–114.
4. Теплоснабжение предприятий и населенных пунктов : учеб.-метод. пособие / А. А. Пятин, П. В. Иглин. Киров : ФГБОУ ВО «ВятГУ», 2017. 117 с.

Создание линейки электродвигателей ДБМ

Ю. А. Сысоев

аспирант группы ЭиТа-1804-08-00.

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация.

E-mail: stud145659@vyatsu.ru

Аннотация. В настоящее время электродвигатели очень широко распространены, развитие не стоит на месте. Область их применения – от простых кухонных приборов до авиации, морских или атомных узлов. В статье рассмотрено создание линейки двигателей бесконтактных моментных ДБМ, которые находят широкое применение в морской отрасли благодаря требуемому повышенному моменту, где не требуются высокие частоты вращения. В последнее время заказчики из морской отрасли все чаще обращаются для создания новых вентильных моментных двигателей, что определяет актуальность вопроса. Выявлено, что требуется именно отечественная линейка электродвигателей, которая была создана на базе АО «ЛЕПСЕ». Описаны методики проектирования и оптимизации, приведены результаты создания линейки электродвигателей ДБМ в виде таблицы с характеристиками двигателей.

Ключевые слова: создание, линейка, двигатель бесконтактный моментный, импорто-замещение

Введение. На сегодняшний день существует огромное количество механизмов, нуждающихся в электромеханических преобразователях энергии, а именно в электродвигателях. Электродвигатели окружают нас везде: в доме – кухонная техника, DVD-проигрыватель, при дороге на работу – в автомобиле или автобусе. Также электродвигатели применяются в более серьезных узлах специального назначения, например: авиационное применение – привода шасси, противообледенительные системы, системы навигации; ракетная техника – рулевые привода, морская техника – движительно-рулевые комплексы, крановая техника. Одновременно с большим количеством объектов применения и разной спецификой условий работы и внешних воздействующих факторов требования к электродвигателям постоянно растут. Следовательно, для обеспечения работоспособности всех вышеперечисленных систем нужны электродвигатели разной специфики, удовлетворяющие постоянно растущим требованиям. Значительно облегчит эту задачу создание линейки электродвигателей, представляющей собой сразу несколько двигателей, каждый для своей специфики применения. Линейка электродвигателей ДБМ (двигатель бесконтактный моментный) отличается от линейки электродвигателей ДБУ (двигатель бесконтактный управляемый) тем, что электродвигатели являются моментными, т.е. имеют повышенный вращающий момент. Моментные электродвигатели чаще

применяются в морской отрасли, с которой в последнее время связано много работ. Исходя из этого, создание линейки электродвигателей ДБМ актуально. Проблема, рассматриваемая в статье: в настоящее время нет линейки электродвигателей серии ДБМ, из-за чего страдает отечественный гособоронзаказ. Линейка электродвигателей ДБМ позволит сразу выбирать нужный электродвигатель при условии совпадения требований и возможностей уже разработанного двигателя вместо проведения целой составной части опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР), которая может длиться годами. Это позволит экономить годы в выполнении гособоронзаказа, что положительно скажется на промышленности страны, ее мощности и затратах на гособоронзаказ.

Цель и задача исследования – создание отечественной линейки двигателей бесконтактных моментных ДБМ.

Линейка вентильных моментных электродвигателей создавалась на АО «ЛЕПСЕ» в опытно-конструкторском бюро в ходе выполнения составных частей опытно-конструкторских работ, участником которых является автор. Создание линейки электродвигателей ДБМ начиналось с проектирования, которое базировалось, например, на книгах Ледовского, Лифанова, Балагурова [1, 3, 4].

Немалое значение имеет задача оптимизации при проектировании, которая позволяет получить максимально высокие характеристики при минимально возможных габаритах и массе, что очень важно в специальных электрических машинах, потому что заказчик почти всегда выдвигает требования по массогабаритным показателям одновременно с другими требованиями по полезной мощности, очень высокому КПД, полезному моменту одновременно с жесткими внешними воздействующими факторами [2].

Задаче оптимизации была посвящена работа [5], в которой автор систематизировал старые методы оптимизации и предложил новые. Нарботки, полученные в процессе выполнения этой работы, легли в основу методов проектирования и оптимизации, в данный момент применяемых на АО «ЛЕПСЕ».

Также разработкой вентильных моментных двигателей занимаются и зарубежные авторы [6, 7]. Так как двигатели линейки ДБМ применяются в гособоронзаказе, в котором недопустимо применять зарубежную технику, то созда-

ние электродвигателей линейки ДБМ необходимо, что одновременно является импортозамещением.

Ведущий подход. Аналитический расчет по методикам сравнивается с результатами расчета полевым методом и методом конечных элементов в программном обеспечении (ПО) ANSYS [8], в котором и осуществляется оптимизация. Затем создается рабочая конструкторская документация в виде комплекта чертежей, по которым производство изготавливает опытные образцы.

Результаты исследований

В таблице указаны характеристики электродвигателей линейки ДБМ.

Характеристики электродвигателей линейки ДБМ

Данные электродвигателей	Интервал значений параметров электродвигателей
Номинальное напряжение, В	27–510
Номинальная мощность, Вт	5–6070
Номинальная частота вращения, об/мин	300–3560
Номинальный момент, Н·м	3–20
Номинальный средний потребляемый ток, А	1,2–73
Класс нагревостойкости	200–220
Рабочая температура постоянных магнитов	200
Режим работы	S1–S3
Исполнение	Встраиваемое, корпусное
Датчик положения ротора	Вращающийся трансформатор, энкодер
Число пар полюсов	4, 5, 6, 8
Число фаз	2,3
Соединение фаз	Звезда, с выводом общей точки
Частота вращения на холостом ходу, об/мин	355–4400
Пусковой момент с учетом ограничения по току, Н·м	30–178
Максимальный момент в режиме S1	5,5–63
Максимальный момент в режиме S2	8,8–85
Постоянная по моменту, Н·м/А	0,27–5,84
Постоянная по противо-ЭДС, В·с/рад	0,227–4,54
КПД электродвигателя с учетом инвертора (с учетом падения напряжения на полупроводниковых ключах), %	87–92
Сопrotивление фазы при 20°C, Ом	0,02–6,43
Момент инерции ротора, кг·м ²	3,62e–5–0,00534
Полная длина статора, мм	36–123
Диаметр статора, мм	47–190
Масса активной части без ДПР, кг, не более	0,19–9,11
Электромагнитная постоянная времени, мс	2,93–4,88
Электромеханическая постоянная времени, мс	0,012–1,11
Ограничение по току, А	5–100

Выводы. В итоге была создана линейка двигателей бесконтактных моментных ДБМ, применяющихся в морской отрасли. Это позволяет заказчику сразу выбрать нужный ему двигатель, экономя огромное количество времени, финансов, ресурсов и труда на создание двигателя с нуля. Одновременно с этим отечественная линейка двигателей создает конкуренцию зарубежным разработчикам, представляя собой импортозамещение, что, несомненно, положительно влияет на развитие как промышленности нашей страны, так и экономики в целом.

Библиографический список

1. Балагуров В. А., Ларионов А. Н., Галтеев Ф. Ф. Электрические машины с постоянными магнитами. М. ; Л. : Энергия, 1964. 480 с. с черт.
2. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования. М. : Радио и связь, 1984.
3. Ледовский А. Н. Электрические машины с высококоэрцитивными магнитами. М. : Энергоатомиздат, 1985. 168 с.; ил.
4. Лифанов В. А. Расчет электрических машин малой мощности с возбуждением от постоянных магнитов : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 164 с.
5. Ишутинов В. В. Анализ и оптимизация вентильного электродвигателя для высокодинамичного электропривода : дис. ... канд. техн. наук. М. : МЭИ, 2015. 209 с.
6. Changhai Liu, Hongzhou Jiang. Influence of magnetic reluctances of magnetic elements on servo valve torque motors // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2016. 29. Pp. 136–144. URL: <https://link.springer.com/article/10,3901/CJME/2015/1204/142> (published: 31.12.20015).
7. Urata E. Influence of unequal air-gap thickness in servo valve torque motors. 2007. Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part C // Journal of Mechanical Engineering Science. URL: <https://doi.org/10.1243/09544062JMES709> (published: 01.2007).
8. Ansys Maxwell I Electromechanical Device Analysis Software. URL: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell> (дата обращения: 07.02.2021).

Исследование влияния присосов воздуха в вакуумную систему турбоустановки Т-120/130-130 на эффективность ее эксплуатации

В. Ю. Тарасов^a, А. Г. Шемпелев^b

студент группы ТиТм-2801-01-00^a

доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: elow.kain@gmail.com^a, agshem@mail.ru^b

Аннотация. Важнейшим элементом паротурбинных установок является конденсационная установка (КУ). Глубина создаваемого в ней вакуума во многом определяет эффективность эксплуатации турбоустановки в целом. КУ включает в себя следующие основные элементы: конденсатор, системы воздухоудаления, циркуляционного водоснабжения, удаления конденсата и ряд других. Анализ совместной работы этих систем и поиск неисправностей представляет собой достаточно сложную задачу, поскольку величина давления в конденсаторе обусловлена совокупным влиянием большого количества факторов. Целью работы является исследование влияния присосов воздуха на эффективность работы турбоустановки Т-120/130-130. Исследования проводились на основе универсальной математической модели конденсатора, разработанной на кафедре «Теплотехника и гидравлика» ВятГУ. В ходе работы произведены поверочные расчеты конденсатора для различных величин присосов воздуха в вакуумную систему турбоустановки в широком диапазоне изменения расходов пара в конденсатор, определены изменения давления в конденсаторе и, как следствие, мощности турбоустановки. Результаты расчетов интерпретированы графически. Проведенные расчеты показали существенную зависимость мощности, вырабатываемой турбоустановкой, от величины присосов воздуха в вакуумную систему на конденсационных режимах и режимах работы по электрическому графику.

Ключевые слова: конденсатор, паротурбинная установка, вакуум, присосы воздуха, эжектор.

Введение. Техническое состояние конденсатора паровой турбины в значительной степени определяет тепловую эффективность паротурбинной установки в целом.

Контроль за работой конденсатора в настоящее время осуществляется с помощью систем мониторинга за состоянием оборудования КУ и диагностики этого оборудования [1–3]. Важной частью диагностики КУ является выявление влияния присосов воздуха в вакуумную систему турбоустановки на ее технико-экономические показатели. Этой проблеме посвящен ряд исследований, изложенных в [4–8]. Основным недостатком проведенных ранее исследований является то, что при их проведении не учитывается характер взаимодействия эжектора и конденсатора на переменных режимах работы турбоустановки. Проведенные в ВятГУ экспериментальные и расчетные исследования показали, что влияние присосов воздуха на давление в конденсаторе во многом определяется этим взаимодействием.

Цель представленного в статье исследования – выявление влияния присосов воздуха в вакуумную систему турбоустановки Т-120/130-130 на эффективность ее эксплуатации, на переменных режимах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– выбрать математическую модель конденсатора и провести ее адаптацию;

– на основе адаптированной математической модели провести расчетные исследования с целью определения влияния присосов воздуха на недовыработку мощности турбоустановкой на переменных режимах работы турбоустановки;

– провести расчетные исследования по выявлению влияния температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор на давление в нем и на недовыработку мощности турбоустановкой при различных присосах воздуха в конденсатор.

Ведущий подход. Расчеты в данной работе проведены на основе универсальной математической модели конденсатора, разработанной на кафедре «Теплотехника и гидравлика» ВятГУ.

Отличительной особенностью использованной модели является применение алгоритма, учитывающего взаимодействие конденсатора и основного эжектора турбоустановки.

Проведенные ранее исследования [9, 10] показали, что зависимость давления в конденсаторе от расхода в него пара состоит из двух отдельных ветвей, соответствующих разным режимам работы конденсатора. В режимах, соответствующих правой ветви конденсатора, при расходе пара в конденсатор (D_k) больше некоторой граничной величины (D_k^*) влияние воздуха в паре оказывает незначительное влияние на процесс его конденсации и учитывается введением поправки к коэффициенту теплоотдачи по методике Калужского турбинного завода [4, 5]:

$$c_m = 0,68p (G_{\text{возд}} D_k) - 0,04, \text{ Втм}^2\text{К}, \quad (1)$$

где c_m – коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара из паровоздушной смеси к наружной поверхности теплообмена, $\text{Втм}^2\text{К}$;

p – коэффициент теплоотдачи к наружной поверхности теплообмена при конденсации чистого пара, $\text{Втм}^2\text{К}$;

$G_{вз}$ – количество воздуха в паре, кгс;

D_k – расход пара в конденсатор, кгс.

На режимах, соответствующих правой ветви характеристики, эжектор вполне справляется с удалением воздуха, поступающего в конденсатор, и его влияние на процесс конденсации невелико. Алгоритм расчета параметров конденсации в пределах правой ветви в этом случае реализован с помощью методики ВТИ [11].

На основе анализа экспериментальных данных и нормативных характеристик установлено [11], что на режимах при $D_k < D_k^*$ см существенно меньше, чем рассчитанное по формуле (1), и оно тем меньше, чем меньше расход пара в конденсатор.

Данное обстоятельство позволило предположить, что при $D_k < D_k^*$ на режим работы конденсатора существенное влияние начинает оказывать основной эжектор. Представляется, что в этом случае располагаемое давление на входе в эжектор выше возможно достижимого в данных условиях конденсатором, что приводит к повышению давления в нем за счет скопившегося в его паровом пространстве воздуха до значения, обеспечивающего динамическое равновесие между функционированием эжектора и конденсатора. Эти режимы можно назвать режимами, ограниченными эжектором. В работах [9, 10] на основе анализа обобщенных характеристик переменных режимов конденсатора [5] и методики расчета характеристик эжектора при различных величинах присосов воздуха и температурах отсасываемой паровоздушной смеси представлены алгоритмы расчета для определения давления в конденсаторе на режимах, ограниченных эжектором, и величины граничного давления D_k^* .

Разработанная на кафедре «Теплотехника и гидравлика» ВятГУ математическая модель конденсатора позволяет получить суммарную характеристику конденсатора во всем возможном диапазоне изменения расходов пара в конденсатор при любых реальных значениях расхода охлаждающей воды и ее температурах на входе. Математическая модель успешно прошла экспериментальную верификацию практически на всех типах конденсаторов теплофикационных паротурбинных установок [11].

Для решения поставленных в настоящей работе задач модель была адаптирована к условиям расчета данных по конденсатору КГ2-6200 турбоустановки Т-120/130-130. Исходные данные для расчета приведены в таблице.

**Исходные данные для расчета конденсатора КГ2-6200
турбоустановки Т-120/130-130**

Характеристика	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальная тепловая нагрузка конденсатора	Q _н	Гкал/ч	155,15
Число трубок конденсатора	n	шт.	11 100
Наружный диаметр трубок	d _н	мм	24
Внутренний диаметр трубок	d _{вн}	мм	22
Активная длина трубок	l	м	7,5
Число ходов воды	z	–	2
Теплота конденсации пара	r	ккал/кг	535
Коэффициент теплопроводности стенки		Втм·К	105
Коэффициент формулы Бермана	a	–	0,8
Начальное давление эжектора	A	кПа	1
Угловой коэффициент характеристики эжектора	B	–	0,0275
Теплоемкость воды	c _в	кДжкг·К	4,187
Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор	t _{1в}	°С	10; 20; 30
Расход охлаждающей воды	W	т/ч	16 000
Присосы воздуха в вакуумную систему.	G _{вз}	кг/ч	0; 17,5; 40; 60; 80

Расчётные исследования приводились в диапазоне расходов пара от 70 до 290 т/ч при номинальном расходе охлаждающей воды 16000 т/ч на трех уровнях ее температуры на входе в конденсатор – 10, 20 и 30°С, при нормативном присосе воздуха в конденсатор равном 17,5 кг/ч и трех значениях присосов, превышающих нормативное – 40, 60, и 80 кг/ч. Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей давления в конденсаторе от расхода в него пара $P_k=f(D_k)$ и величины недовыработки мощности турбоустановкой от расхода пара в конденсатор $\Delta P_k=f(D_k)$. Кроме того, на графиках показаны аналогичные зависимости при конденсации чистого пара ($G_{взд} = 0$).

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 показаны расчетные зависимости давления в конденсаторе турбоустановки Т-120/130-130 от расхода в него пара при величинах присосов воздуха в вакуумную систему 17,5, 40, 60 и 80 кг/ч при расходе охлаждающей воды 16000 т/ч и ее температуре на входе 20°С.

Данные, показанные на рис. 1, позволяют наглядно установить следующее:

– представленные зависимости, как уже было отмечено, можно разбить на два участка, первый участок (правый) соответствует режимам работы, не ограниченным эжектором. На этом участке наблюдается практическое совпадение всех представленных зависимостей, то есть наличие воздуха в паре практически мало влияет на величину давления в конденсаторе. В пределах второго участка (левый) наблюдается существенное расхождение зависимостей, и это расхождение тем больше, чем меньше расход пара в конденсатор;

– с увеличением содержания воздуха линии, соответствующие второму участку, смещаются в область более высоких давлений, а точка перехода от режима, ограниченного эжектором, к режиму, не ограниченному им, смещается вправо, то есть область режимов, ограниченных эжектором, расширяется в сторону больших расходов пара в конденсатор. Наличие такого расширения объясняется повышением давления в приемной камере эжектора с увеличением количества удаляемой паровоздушной смеси до значений давления, превышающего давление, которое достижимо конденсатором в данных условиях, в результате чего в конденсаторе и в расширенной зоне воздухоохладителя скапливается воздух в виде «воздушных мешков», то есть часть поверхности охлаждения отключается от зоны интенсивной конденсации.

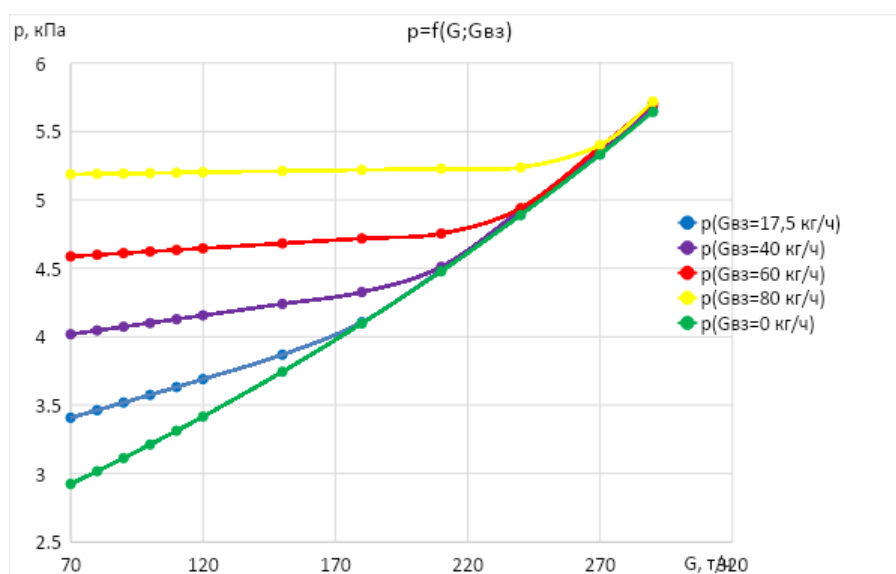


Рис. 1. Зависимость давления в конденсаторе турбоустановки Т-120/130-130 от расхода в него пара при различных присосах воздуха, расходе охлаждающей воды $W=16000$ т/ч и ее температуре на входе в конденсатор $t_{1в}=20^{\circ}\text{C}$

Наличие воздуха в конденсирующемся паре приводит к переохлаждению конденсата, величина которого при заданном расходе пара может быть определена как разность температуры насыщения, определенной по давлению в конденсаторе с учетом присосов воздуха, и температуры насыщения при конденсации чистого пара ($G_{вз} = 0$).

На рис. 2 показаны зависимости недовыработки турбоустановкой электрической мощности от расхода пара в конденсатор при указанных величинах присосов воздуха в вакуумную систему по сравнению с электрической мощностью при их отсутствии ($G_{вз} = 0$). Данные по недовыработке мощности получены в соответствии с результатами расчетов, представленных на рис. 1, на основе нормативных поправок к мощности турбины Т-120/130-130 на отклонение давления пара в конденсаторе. Из рис. 2 видно, что недовыработка мощности тем больше, чем меньше расход пара в конденсатор; при этом недовыработка мощности может достигать 1,132 МВт.

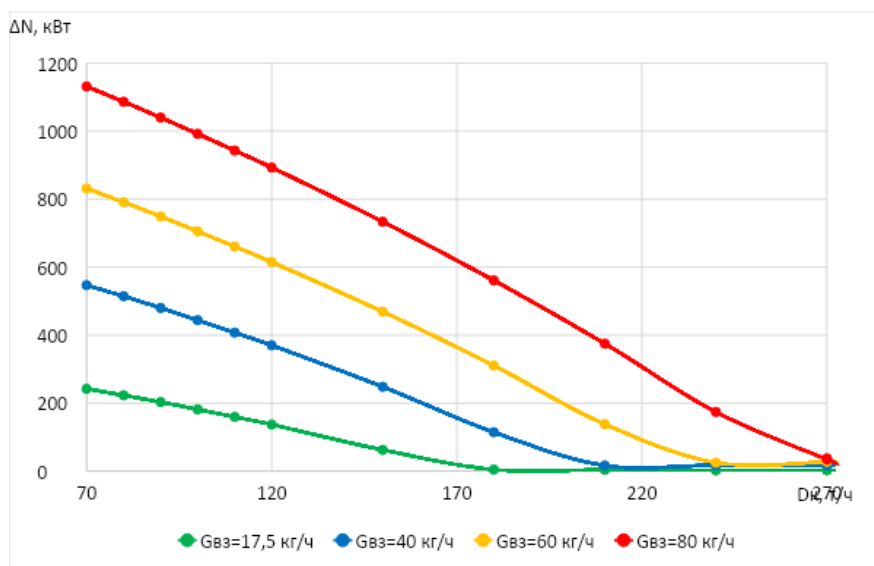


Рис. 2. Изменение недовыработки электрической мощности турбоустановкой Т-120/130-130 от расхода пара в ее конденсатор при различных присосах воздуха в вакуумную систему. Расход охлаждающей воды через конденсатор $W=16000$ т/ч, ее температура на входе $t_{1в}=20^{\circ}\text{C}$

С целью выявления влияния температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор на давление в нем и на недовыработку мощности турбоустановкой проведены две серии расчетов при тех же исходных данных, что и в рассмотренном выше случае, но при температурах $t_{1в} = 30^{\circ}\text{C}$ и $t_{1в} = 10^{\circ}\text{C}$. Результаты расчетов приведены на рис. 3–6.

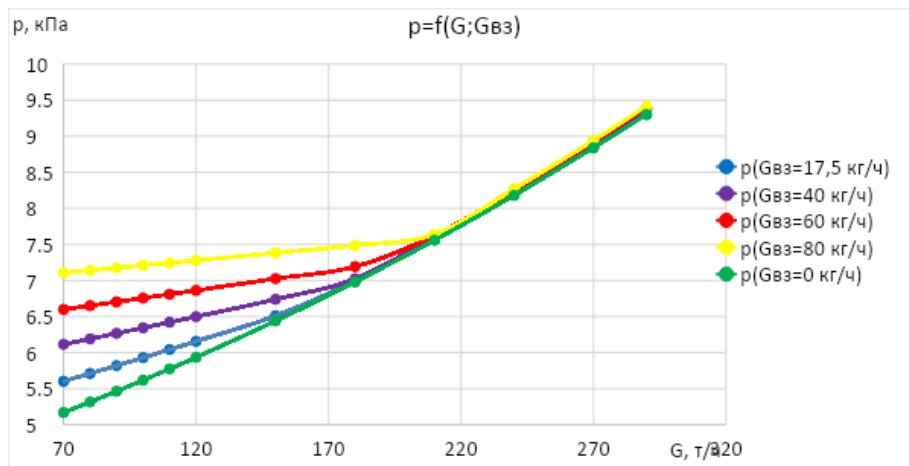


Рис. 3. Зависимость давления в конденсаторе турбоустановки Т-120/130-130 от расхода в него пара при различных присосах воздуха, расходе охлаждающей воды $W=16000$ т/ч и ее температуре на входе в конденсатор $t_{1в}=30^{\circ}\text{C}$

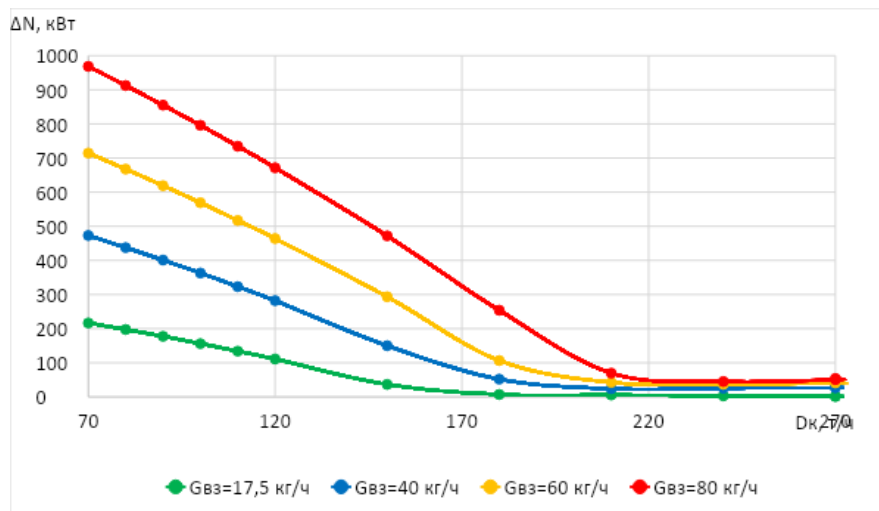


Рис. 4. Изменение недовыработки электрической мощности турбоустановкой Т-120/130-130 от расхода пара в ее конденсатор при различных присосах воздуха в вакуумную систему. Расход охлаждающей воды через конденсатор $W=16000$ т/ч, ее температура на входе $t_{1в}=30^{\circ}\text{C}$

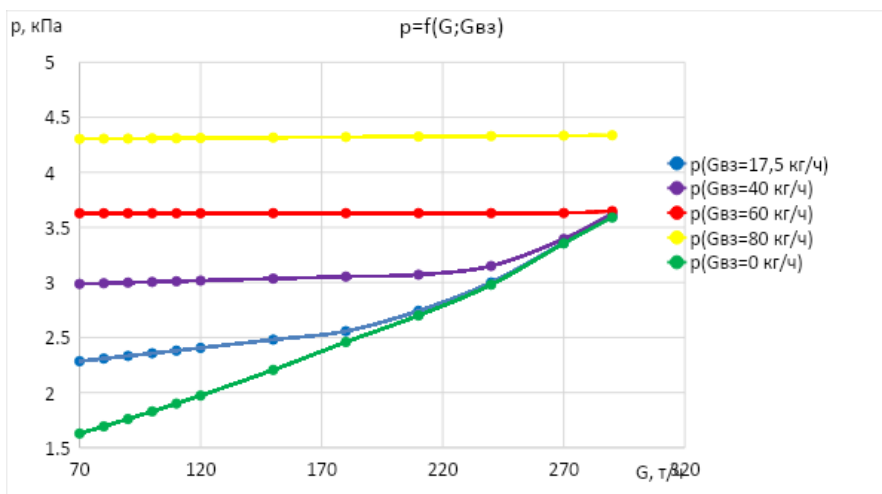


Рис. 5. Зависимость давления в конденсаторе турбоустановки Т-120/130-130 от расхода в него пара при различных присосах воздуха, расходе охлаждающей воды $W=16000$ т/ч и ее температуре на входе в конденсатор $t_{1в}=10^{\circ}\text{C}$

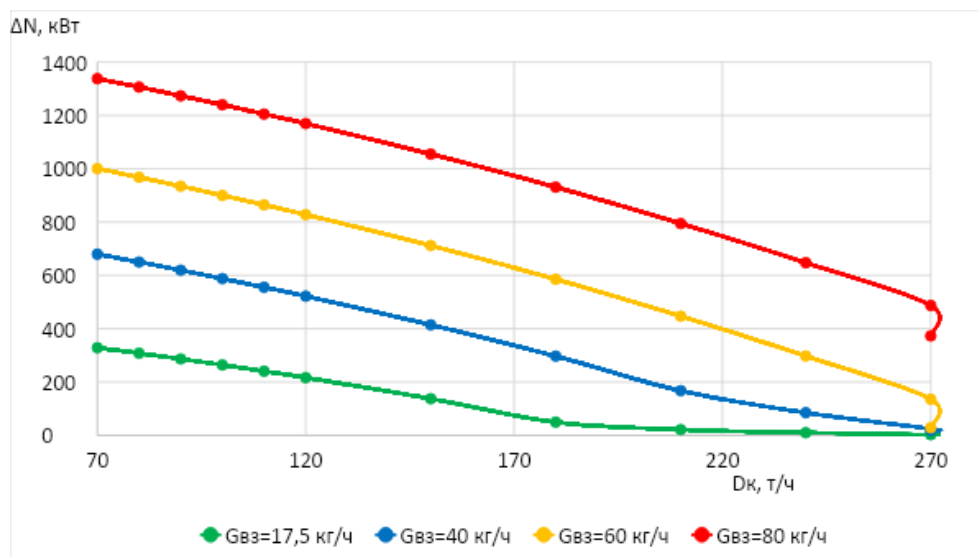


Рис. 6. Зависимости недовыработки электрической мощности турбоустановкой Т-120/130-130 от расхода пара в ее конденсатор при различных присосах воздуха в вакуумную систему. Расход охлаждающей воды через конденсатор $W=16000$ т/ч, ее температура на входе $t_{1в}=10^{\circ}\text{C}$

На основе зависимостей, представленных на рис. 3 и 4, можно установить, что повышение температуры до 30°C , по сравнению с данными при температуре 20°C , позволяет существенно уменьшить зону работы конденсатора на режимах, ограниченных эжектором, и снизить недовыработку мощности. Например, при присосах воздуха $G_{вз} = 40$ кг/ч (что в условиях эксплуатации встречается довольно часто) повышение температуры охлаждающей воды смещает переход на режим работы, ограниченный эжектором, с $D_k = 210$ т/ч ($t_{1в} = 20^{\circ}\text{C}$) до $D_k = 180$ т/ч ($t_{1в} = 30^{\circ}\text{C}$). Это приводит к снижению недовыработки мощности турбоустановкой на 74 кВт при расходе пара в конденсатор 70 т/ч.

При снижении температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор с 20 до 10°C зона режимов, ограниченных эжектором, смещается в сторону больших расходов пара в конденсатор, а при присосах воздуха более 60 кг/ч все режимы работы конденсатора ограничены эжектором. Снижение температуры охлаждающей воды приводит к увеличению недовыработки мощности турбоустановкой. Например, при присосах воздуха $G_{вз} = 40$ кг/ч снижение температуры охлаждающей воды смещает переход на режим работы, ограниченный эжектором, с $D_k = 210$ т/ч ($t_{1в} = 20^{\circ}\text{C}$) до $D_k = 270$ т/ч ($t_{1в} = 10^{\circ}\text{C}$), что приводит к увеличению недовыработки мощности турбоустановкой на 132 кВт при расходе пара в конденсатор 70 т/ч.

Выводы:

1. Для проведения расчетных исследований выбрана математическая модель конденсатора паровой турбины, разработанная на кафедре «Теплотехника и гидравлика ВятГУ», и проведена ее адаптация к условиям работы в составе турбоустановки Т-120/130-130.

2. На основе адаптированной модели проведены расчетные исследования конденсатора турбоустановки в широком диапазоне (от 70 до 290 т/ч) расходов пара в конденсатор при значениях присосов воздуха в вакуумную систему 17,5 (нормативное значение), 40, 60 и 80 кг/ч при температуре охлаждающей воды на входе в конденсатор 20°C. Проведенные исследования позволили установить следующее:

– присосы воздуха в вакуумную систему конденсатора приводят к значительному (до 1,5–2 кПа) повышению давления в конденсаторе на режимах, ограниченных характеристикой основного эжектора. Эта область тем больше, чем больше величина присосов воздуха;

– повышение давления в конденсаторе приводит к уменьшению теплоперепада на турбине и, как следствие, к снижению ее электрической мощности. На рассмотренных режимах это снижение при увеличении присосов от 17,5 до 80 кг/ч может достигать 880 кВт.

3. На основе адаптированной математической модели проведены расчеты с целью выявления влияния присосов воздуха на давление в конденсаторе и на величину недовыработки электрической мощности при температурах охлаждающей воды на входе в конденсатор 30 и 10°C. В ходе проведения расчетов было установлено, что увеличение температуры охлаждающей воды на входе существенно уменьшает область работы конденсатора на режимах, ограниченных эжектором, и позволяет снизить недовыработку мощности. Напротив, эксплуатация конденсатора при пониженных температурах охлаждающей воды расширяет эту область вплоть до перехода к режимам эксплуатации, ограниченным эжектором во всем располагаемом диапазоне тепловых нагрузок.

4. В ходе проведения исследований установлено, что повышенные, по сравнению с их нормативными значениями, присосы воздуха в вакуумную си-

стему турбоустановки крайне негативно сказываются на экономических показателях турбоустановки. Поэтому поддержание плотности вакуумной системы в пределах нормативных показателей является одной из важных задач при эксплуатации.

5. Использованная методика и полученные с ее помощью результаты позволяют достоверно проводить диагностику конденсатора и турбоустановки в целом для проведения наладочных работ и устранения недовыработки мощности.

Библиографический список

1. Баран Л. С. Система комплексной диагностики конденсационных установок паровых турбин. М. : Труды ЦКТИ, 1992. № 273. С. 103–109.
2. Беляев Д. В., Башуров Б. П. Диагностирование технического состояния теплообменных аппаратов на основе математического моделирования. М. : Теплоэнергетика, 2001. № 5. С. 69–72.
3. Аронсон К. Э., Бродов Ю. М., Акифьева Н. Н. Разработка элементов комплексной системы мониторинга состояния теплообменных аппаратов ПТУ. М. : Тяжелое машиностроение, 2002. № 2. С. 32–34.
4. Бродов Ю. М., Савельев Р. З. Конденсационные установки паровых турбин. М. : Энергоатомиздат, 1994. С. 288.
5. Шкловер Г. Г., Мильман О. О. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. М. : Энергоатомиздат, 1985. С. 240.
6. Berechnung von Kondensatoren. BWK: Brenst Warme Kraft, 1999. 51. № 11. S. 74.
7. Денисов Э. П., Дорощенко А. В., Григорьев В. Ю. Влияние присосов воздуха на работу конденсационной установки. М. : Теплоэнергетика, 1997. № 1. С. 55–60.
8. Bergmann D., Luft H., Ulm W. Dampfturbinen. BWK: Brenst Warme Kraft, 1996. № 4. S. 111–115.
9. Шемпелев А. Г., Сущих В. М., Иглин П. В. О результатах сопоставления расчетных и нормативных характеристик конденсаторов паротурбинных установок в широком диапазоне их паровых нагрузок. М. : Энергетик, 2015. № 10. С. 60–64.
10. Шемпелев А. Г. Разработка, исследование и реализация методов повышения эффективности оборудования технологических подсистем теплофикационных паротурбинных установок : дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.12, 05.14.14. Киров, 2011. 384 с.
11. Берман Л. Д., Зернова Э. П. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных паровых турбин тепловых и атомных электростанций. М. : Союзтехэнерго, 1982. 106 с.

Экспериментальное исследование твердости облицовочных деталей из модифицированной древесины хвойных пород

Н. А. Тарбеева^a, О. А. Рублева^b

аспирант группы ТДа-2801-01-00^a

доктор технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения^b
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a,b}

E-mail: nataly.ntar534@yandex.ru^a, olga_ru@vyatsu.ru^b

Аннотация: С целью замены дефицитного твердолиственного сырья в производстве облицовочных деталей и изделий из древесины заготовками хвойных пород необходимо повышение их декоративных и физико-механических свойств. Твердость является одним из важных показателей качества облицовочных деталей и изделий из древесины. Комбинированный способ модифицирования заготовок хвойных пород, включающий операции обжига, браширования, прессования и термической обработки позволяет повышать их твердость. Целью работы является исследование влияния режимов операций комбинированной обработки на твердость лицевой поверхности заготовок. В результате проведенных экспериментальных исследований и статистической обработки экспериментальных данных получены математические модели зависимости твердости лицевой поверхности заготовок из древесины сосны и ели от параметров режимов прессования и термической обработки, позволяющие определить режимы обработки, обеспечивающие эффективное повышение твердости. Обработка заготовок на установленных режимах способствует достижению значений твердости, близких к значениям твердолиственной древесины.

Ключевые слова: древесина, твердость, модифицирование, прессование, термическая обработка, облицовочные детали.

Введение. В настоящее время изготовление облицовочных деталей и изделий из древесины основано преимущественно на использовании твердолиственных древесных пород. Это связано с тем, что такое сырье обладает не только ярко выраженной текстурой, но и высокими показателями прочности и твердости [1]. Ограниченность сырьевой базы твердолиственной древесины является стимулом для поиска альтернативных видов древесного сырья в производстве облицовочных деталей и изделий. Использование недефицитных хвойных пород в данном случае требует улучшения их декоративных и физико-механических свойств. Для повышения указанных свойств древесины хвойных пород авторами предложен способ модифицирования, заключающийся в комбинировании операций обжига, браширования, прессования и термической обработки [2]. С целью определения эффективности улучшения свойств заготовок из древесины в результате комбинированной обработки необходимо проведение экспериментальных исследований.

Согласно ГОСТ 4.207-79, ГОСТ 4.223-83 [3, 4] одним из основных показателей качества облицовочных деталей и изделий является их твердость. В этой связи важно, чтобы в результате комбинированной обработки обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой обеспечивалось эффективное повышение твердости поверхности древесины. Целью данной работы является исследование влияния режимов операций комбинированной обработки на твердость лицевой поверхности заготовок из древесины хвойных пород. Задачи исследования: получить математические модели зависимости твердости лицевой поверхности заготовок от параметров режимов обработки; установить факторы, оказывающие наибольшее влияние на твердость заготовок; определить режимы обработки, обеспечивающие наиболее эффективное повышение твердости лицевой поверхности заготовок.

Методы исследования. Исследование основано на применении математико-статистических методов планирования экспериментов и обработки их результатов. Для определения влияния параметров режимов операций комбинированной обработки на твердость лицевой поверхности заготовок реализованы дробный факторный эксперимент (далее ДФЭ) типа 2^{4+1} на заготовках из древесины сосны размерами $16 \times 40 \times 20$ мм и полный факторный эксперимент (далее ПФЭ) типа 2^4 на заготовках из древесины ели размерами $10 \times 40 \times 40$ мм. Измерения твердости лицевой поверхности заготовок после обработки выполнены методом Роквелла с помощью твердомера TP5014 по шкале HRR. По результатам экспериментов проведена статистическая обработка данных в программном продукте STATISTICA.

Результаты исследования, их обсуждение. Среди операций, входящих в состав комбинированного процесса [2] значительное влияние на твердость древесины оказывают прессование и термическая обработка [5, 6]. В этой связи в экспериментальных исследованиях варьировали только параметры их режимов. Параметры режимов обжига и браширования стабилизировали на уровнях, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

**Параметры режимов обработки заготовок
обжигом и брашированием**

Этап обработки	Параметры режима	Значение
Обжиг	Ориентация заготовок	Горизонтальная
	Количество обжигаемых сторон, шт.	5
	Скорость перемещения пламени по поверхности, м/мин	1
	Температура обжига, °С	1200
Браширование	Вид распила заготовок	тангенциальный
	Скорость вращения инструмента, об/мин	3500
	Скорость подачи, м /мин	5
	Высота выхода инструмента, мм	1,2

В качестве варьируемых факторов при проведении экспериментальных исследований процессов прессования и термической обработки на заготовках из древесины сосны выбраны *Угол α наклона волокон в заготовке, град., Влажность W , %, Степень прессования ε , %, Температура термической обработки T , °С.* Уровни варьирования факторов, а также результаты ДФЭ приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты экспериментов
по определению твердости лицевой поверхности
модифицированных заготовок из древесины сосны**

№ опыта	Варьируемые факторы				Число твердости $HRR_{(c)}$
	α , град.	W , %	ε , %	T , °С	
1	30	7	50	180	88,8
2	30	17	50	150	89,2
3	45	7	50	150	70,5
4	45	17	50	180	94,2
5	30	7	55	150	126,5
6	30	17	55	180	114,8
7	45	7	55	180	146,8
8	45	17	55	150	97,5

На заготовках из древесины ели исследовали влияние факторов α , ε , T и *Вид пласти заготовки, принятой за лицевую θ .* Их значения и результаты ПФЭ приведены в таблице 3.

**Результаты экспериментов по определению твердости лицевой поверхности
модифицированных заготовок из древесины ели**

№ опыта	Варьируемые факторы				Число твердости $HRR_{(e)}$
	α , град.	ε , %	T , °C	θ	
1	30	40	150	0 (внутр.)	106,5
2	30	40	180	0 (внутр.)	99,7
3	30	50	150	0 (внутр.)	107,3
4	30	50	180	0 (внутр.)	105,2
5	30	40	150	1 (наружн.)	107,7
6	30	40	180	1 (наружн.)	107,7
7	30	50	150	1 (наружн.)	125,5
8	30	50	180	1 (наружн.)	125,4
9	45	40	150	0 (внутр.)	100,5
10	45	40	180	0 (внутр.)	110,5
11	45	50	150	0 (внутр.)	124,2
12	45	50	180	0 (внутр.)	102,7
13	45	40	150	1 (наружн.)	65,5
14	45	40	180	1 (наружн.)	65,1
15	45	50	150	1 (наружн.)	72,3
16	45	50	180	1 (наружн.)	74,2

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены модели зависимости отклика HRR от рассматриваемых факторов. Для заготовок из древесины сосны уравнение регрессии в натуральных значениях факторов имеет вид:

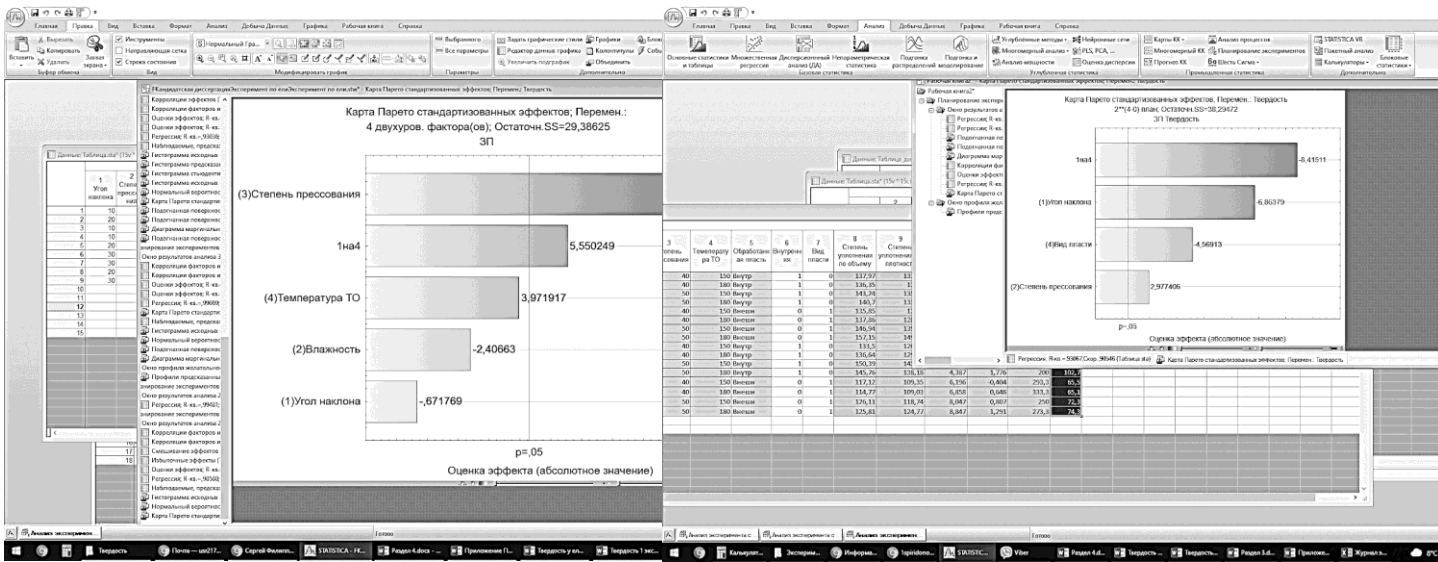
$$HRR(c) = 247,26 - 15,77 - 0,92W + 7,15 - 3,04T + 0,09\alpha T. \quad (1)$$

Для заготовок из древесины ели полученная зависимость описывается уравнением:

$$HRR(e) = 53,62 + 0,32\alpha + 0,92\varepsilon + 116,05\theta - 3,47\alpha\theta. \quad (2)$$

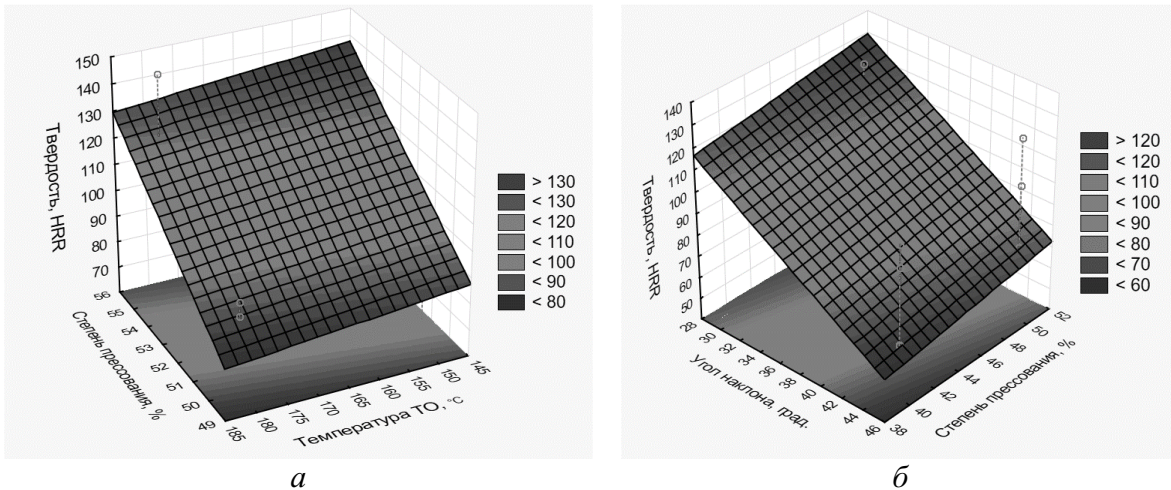
Коэффициенты детерминации полученных моделей равны $R^2_{(c)} = 0,98$ и $R^2_{(e)} = 0,93$, что свидетельствует о их высокой достоверности.

Эффект влияния каждого фактора, входящего в модель, можно определить с помощью карт Парето-эффектов (рисунок 1).



a
b
 Рис. 1. Карты Парето-эффектов: *a* – для факторов модели отклика $HRR_{(c)}$,
b – для факторов модели отклика $HRR_{(e)}$

Наиболее значительное влияние на твердость лицевой поверхности заготовок из древесины сосны оказывает *Степень прессования* ε и взаимодействие факторов αT . Для заготовок из древесины ели статистически значимыми являются взаимодействие $\alpha\theta$ и факторы α , θ , ε . Графики зависимости твердости лицевой поверхности заготовок от наиболее значимых факторов представлены на рис. 2.



a
b
 Рис. 2. Графики зависимости: *a* – $HRR_{(c)}$ от ε и T при $\alpha = 30$ град. и $W = 8\%$, *b* – $HRR_{(e)}$ от α и ε при $T = 180$ °C и $\theta = 1$

Анализ полученных моделей (1), (2) и графиков зависимостей позволил установить, что наиболее высокие значения твердости лицевой поверхности заготовок из древесины сосны достигаются при $\alpha \geq 37$ град, $\varepsilon \geq 54\%$, $T < 160$ °C; заготовок из древесины ели – при $\alpha \leq 29$ град., $\varepsilon \geq 40\%$, $\theta = 1$ на всем диапазоне

рассматриваемых значений T . Обработка заготовок прессованием и термической обработкой на режимах, значения параметров которых лежат в указанных диапазонах, позволяет максимально приблизить твердость лицевой поверхности заготовок из древесины хвойных к показателям твердолиственной древесины.

Выводы. В результате проведенного исследования выявлены закономерности изменения твердости лицевой поверхности заготовок из древесины хвойных пород от параметров режимов прессования и термообработки и установлены факторы, оказывающие наиболее значительное влияние на результат обработки. К ним относятся *Угол α наклона волокон в заготовке, Степень прессования ε , Температура термической обработки и Вид пласти заготовки, принятой за лицевую θ* . Получены математические модели зависимости, позволяющие определить режимы обработки, обеспечивающие эффективное повышение твердости. Рекомендуется обработка заготовок из древесины сосны при $\alpha \geq 37$ град, $\varepsilon \geq 54\%$, $T < 160$ °С; заготовок из древесины ели – при $\alpha \leq 29$ град., $\varepsilon \geq 40\%$, $\theta = 1$. Обработка на режимах, параметры которых лежат в указанных диапазонах значений, позволяет обеспечить твердость лицевой поверхности заготовок из древесины хвойных пород близкой к показателям твердолиственной древесины.

Библиографический список

1. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для сред. проф. образования. М. : Изд. центр «Академия», 2004. 272 с.
2. Пат. 2754909 РФ, МПК E04F 13/08. Способ изготовления облицовочной панели из упрочнённой древесины: № 2020139525: заявл. 02.12.2020: опубл. 08.09.2021 / О. А. Рублева, Н. А. Тарбеева; патентообладатель ВятГУ. Бюл. № 25. 7 с.
3. ГОСТ 4.207-79. СПКП. Строительство. Плиты древесноволокнистые. Номенклатура показателей: принят 31.08.1979; действ. с 01.01.1980. М., 2000. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294852/4294852963.pdf> (дата обращения: 02.02.2022).
4. ГОСТ 4.223-83. СПКП. Строительство. Изделия паркетные. Номенклатура показателей: принят 10.01.1983; действ. с 01.07.1983. М., 2013. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000301> (дата обращения: 02.02.2022).
5. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. 2-е изд., испр. и доп. М. : Лесная промышленность, 1964. 361 с.
6. Экспериментальные исследования механических свойств термомодифицированной древесины / А. Е. Разумов, М. В. Хузеев, Д. А. Ахметова, А. Р. Шайхутдинова // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 2. С. 31–33.

Создание и использование интерактивных тестов при чтении курса «Проектирование технологических процессов производства электрических машин»

Н. В. Тимина^а, М. С. Минак^б

доцент кафедры электрических машин и аппаратов^а

студент группы ЭиЭб-4806-07-00^б

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: timina@vyatsu.ru^а, stud097924@vyatsu.ru^б

Аннотация. Электронные тесты являются эффективным и быстрым способом контроля знаний обучающихся, но их создание вызывает определенные трудности. Целью работы является создание интерактивного теста по курсу «Проектирование технологических процессов производства электрических машин» на тему «Допуски и посадки» с использованием веб-приложения Wick Editor, чтобы повысить уровень мотивации обучающихся в освоении заданной темы. Под интерактивностью в данном случае понимается метод контроля с использованием ресурсов Интернета. В результате создано наглядное пособие для проверки знаний обучающихся, состоящее из 35 тестовых вопросов с необходимыми иллюстрациями, пояснениями и аудио-сопровождением, призванное повысить качество подготовки бакалавров направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля 07 «Электромеханика». Данное пособие будет добавлено в соответствующий раздел электронного курса «Проектирование технологических процессов производства электрических машин».

Ключевые слова: интерактивный тест, анимация, допуски и посадки.

Введение. На сегодняшний день одной из важных задач высшего образования является формирование навыков самостоятельного усвоения и анализа новых сведений. Решение этой задачи не представляется возможным без широкого использования новых информационных технологий [1, с. 495]. К одной из таких технологий можно отнести использование интерактивных тестов, созданных в различных веб-приложениях. В частности, к применению предлагается использование веб-приложения Wick Editor, которое работает в любом современном браузере. Анимацию можно создавать по ключевым кадрам или по фреймам. Они используются как слайды, на которые можно добавлять различные фигуры, текст, изображения, аудио. Целью работы было создание интерактивного теста в веб-приложении Wick Editor для закрепления знаний при изучении темы «Допуски и посадки». Задача исследования – повысить наглядность и привлекательность дистанционного электронного курса «Проектирование технологических процессов производства электрических машин».

Ведущий подход. Под интерактивным тестом понимается вид тестирования, которое проводится онлайн в момент подключения компьютера к сети Ин-

тернет. Его назначение – это возможность проверки обучающимися своих знаний в дистанционном курсе обучения.

Можно выделить следующие преимущества онлайн-тестирования:

- Возможность многократно проходить тесты. Обучающиеся могут проходить тестирование многократно в течение всего срока электронного обучения. Данные, собранные по результатам тестирования, могут использоваться преподавателем для выявления наиболее сложных для понимания моментов и улучшения программы обучения.

- Индивидуализация работы. Тесты могут быть персонализированы и адаптированы для каждого обучающегося. Уровень сложности вопросов можно изменять в зависимости от предыдущих ответов обучающегося. Кроме того, для сильных обучающихся можно предусмотреть вопросы с расширением знаний, а для слабых – вопросы, охватывающие только обязательный минимум.

- Немедленное выставление оценок и одновременная проверка знаний у всех обучающихся. Тесты с выбором ответа (например, множественный выбор или «Верно/Неверно») могут быть оценены мгновенно, что позволяет обучающимся сразу увидеть свой результат, проанализировать его и принять меры по его улучшению.

- Вовлечение. Использование интерактивных тестов повышает привлекательность электронного курса по сравнению со стандартными бумажными тестами.

- Возможность проверки преподавателем большого объема пройденного материала, большее количество тестовых заданий. Онлайн-тесты, как правило, содержат большее количество тестовых заданий, так как практически не ограничены по объему, как тесты на бумажном носителе (то есть можно уменьшить затраты на бумагу). И как следствие, можно проводить контроль чаще.

- Помощь обучающимся с ограниченными возможностями или находящимися на карантине. Онлайн-тестирование более доступно и создает меньше физических препятствий для сдачи тестов, чем в случае с бумажным оцениванием.

- Использование разнообразных типов технологий. Онлайн-тесты предлагают множество возможностей для разносторонней оценки знаний обучающихся: существуют синхронные и асинхронные тесты, тесты с использованием специальных онлайн-платформ и без них, в режиме реального времени, и с возможностью скачать и пройти тест в удобное время, а также с использованием различных устройств (телефон, планшет или ноутбук).

Для интерактивного теста была выбрана тема «Допуски и посадки» как одна из ключевых базовых тем, необходимых для изучения студентами технических специальностей. Эксплуатационные показатели любой электрической машины (долговечность, надежность, точность и т. д.) в значительной мере зависят от правильности выбора посадок, допусков формы и расположения, шероховатости поверхности. В собранном изделии детали связаны друг с другом, и отклонения размеров, формы и расположения осей или поверхностей одной какой-либо из деталей вызывают отклонения у других деталей. Поэтому тема «Допуски и посадки» является очень важной при подготовке бакалавров профиля «Электромеханика», она пригодится в дальнейшей практической деятельности и после окончания вуза.

На первом этапе исследования был применен поисковый метод (использование информационных ресурсов сети Интернет), были проанализированы бесплатные программы для создания интерактивных заданий [2, 3], из которых выбрано веб-приложение Wick Editor, так как оно позволяет сохранять созданные тестовые задания и открывать их автономно, без доступа в Интернет. Кроме того, онлайн-тест можно вставить в любой сайт, то есть в нашем случае есть возможность добавить тест в уже созданный электронный курс.

На втором этапе работы были составлены тестовые вопросы, подобраны иллюстрации, сформулированы пояснения к правильным и неправильным ответам, а также определен объем интерактивного теста.

Третий этап включал непосредственно компоновку слайдов с добавлением аудиосопровождения и интерактивных кнопок, то есть здесь был использован практический метод – создание интерактивного теста с помощью приложения Wick Editor.

Четвертый этап заключался в отладке программы (исследовательский метод – анализ работы приложения) с целью выявления правильности работы, отображения на экране, возможных ошибок и неточностей формулировок.

Результаты исследований, их обсуждение. В результате работы создано наглядное интерактивное пособие на тему «Допуски и посадки», которое содержит 35 тестовых вопросов. Для каждого вопроса был выбран свой фон, аудиосопровождение, подобраны иллюстрации и пояснения, которые призваны максимально наглядно продемонстрировать или прокомментировать ответ (рис. 1–3).

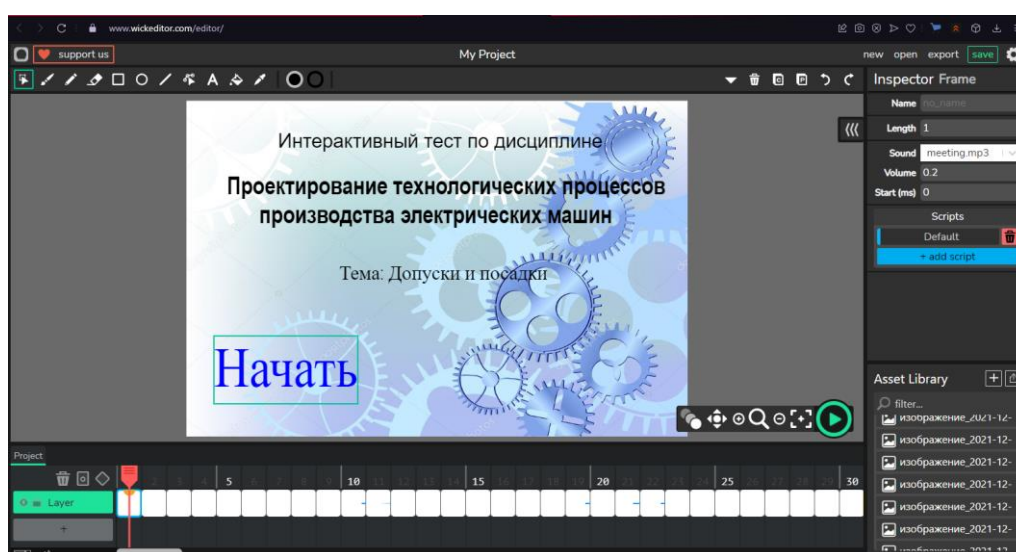


Рис. 1. Рабочее пространство программы



Рис. 2. Начальный слайд теста



Рис. 3. Пример слайда с вопросом

Если обучающийся дает правильный ответ, то происходит переход к следующему вопросу, если ответ неверный, предусмотрена кнопка возврата к процедуре выбора (рис. 4).

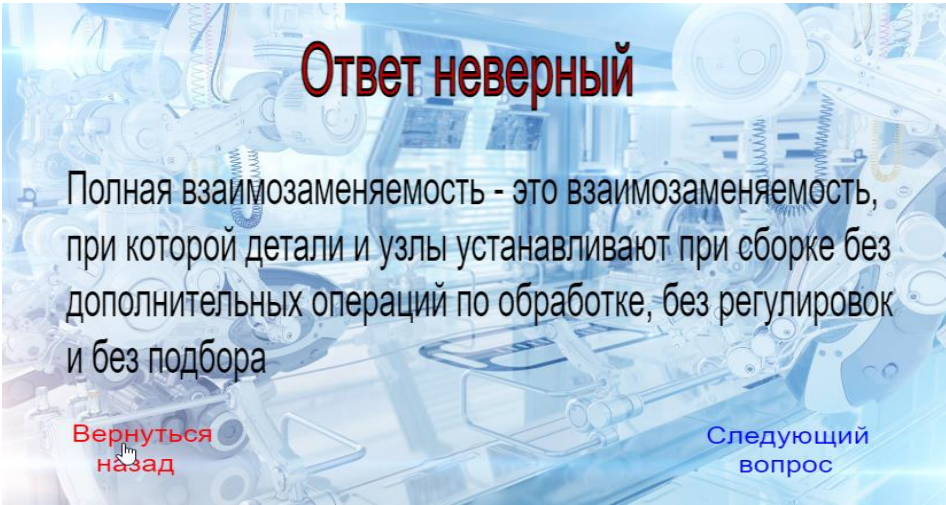


Рис. 4. Пример слайда в случае неверного варианта ответа

Интерактивный тест является очень простым в использовании, его цель – проверка собственных знаний, закрепление их по пройденной теме. Если пользоваться различными приложениями для создания цифровых тестов, то существует зависимость разработчика от их возможностей, и в первую очередь ограниченность бесплатных версий. Wick Editor также является бесплатным веб-приложением, в котором не нужно даже создавать свой аккаунт. Конечно, как и любую другую, эту программу необходимо осваивать. При этом возника-

ет простор для творчества. Можно самому придумать алгоритм теста и снабдить свой созданный цифровой образовательный ресурс необходимым контентом, имеется возможность влиять на смену кадров, размещать, добавлять интерактивные кнопки и т. д.

Выводы. Создано наглядное пособие к электронному курсу «Проектирование технологических процессов производства электрических машин», которое прошло апробацию на практическом занятии в группе ЭиЭб-4806-07-00, получило положительную оценку со стороны обучающихся, но также был высказан ряд пожеланий и дополнений по улучшению восприятия теста (поработать над фоном, шрифтом и цветом), по суммированию количества правильных и неправильных ответов (для более четкого анализа своих результатов). После доработки созданный интерактивный тест будет добавлен в электронный курс ВятГУ «Проектирование технологических процессов производства электрических машин» в соответствующий раздел и будет использоваться в процессе подготовки бакалавров направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля 07 «Электромеханика». Ранее подобные тесты при чтении вышеуказанного курса не использовались, что подтверждает новизну исследования и практическую значимость полученного результата.

Библиографический список

1. Сагиндыкова А. С., Тугамбекова М. А. Актуальность дистанционного образования // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 495–498. URL: <https://moluch.ru/archive/100/20703/> (дата обращения: 12.01.2022).
2. Как создать интерактивный тест в Wick Editor. URL: <http://didaktor.ru/kak-sozdat-interaktivnyj-test-v-wick-editor/> (дата обращения: 12.01.2022).
3. Сакисян Л. 8 онлайн-сервисов для создания интерактивных заданий <https://edmarket.ru/blog/adm-8-online-services> (дата обращения: 12.01.2022).

Создание программного обеспечения для расчета трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

В. Н. Тимошенко^a, Н. В. Тимина^b, А. А. Горынцев^c, К. О. Пятин^d

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов^a

доцент кафедры электрических машин и аппаратов^b

студент группы ЭиЭм-1802-02-00^c

студент группы ЭиЭб-4806-07-00^d

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d}

E-mail: timoshenko@vyatsu.ru^a, timina@vyatsu.ru^b, stud142764@vyatsu.ru^c,

stud106911@vyatsu.ru^d

Аннотация. Приводится описание работы программы расчета трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором общепромышленного назначения. Программа составлена с применением пакета Microsoft Excel и позволяет производить электромагнитный, тепловой и вентиляционный расчёты асинхронной машины с однослойной или двухслойной обмоткой статора, двумя типами грушевидного паза ротора, в различных конструктивных исполнениях. В расчете есть возможность варьировать марки стали магнитопровода, класс нагревостойкости электроизоляционных материалов и некоторые другие величины. Также приводятся результаты апробирования работы программы, на базе которых были выполнены 3D-модели элементов асинхронного двигателя в системе Solid Edge, что доказывает её работоспособность и правильность выполнения расчётов. Разработанное программное обеспечение значительно сокращает время, затрачиваемое на проектирование асинхронного двигателя, позволяет просчитать большое количество вариантов с целью получения наилучших рабочих и пусковых характеристик, а также выходных параметров электрической машины.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электронная таблица, проектирование, 3D-моделирование, система Solid Edge.

Введение. Предметом исследования является возможность проведения электромагнитного, теплового и вентиляционного расчётов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Проведение таких расчётов вручную является очень трудоёмким процессом и занимает достаточно много времени. Кроме того, на начальном этапе расчёта практически невозможно спрогнозировать конечный результат проектирования в плане получения высоких энергетических показателей машины или пусковых характеристик, обеспечивающих требуемую кратность пускового, максимального момента и кратность пускового тока, то есть велика вероятность многократного повторения некоторых этапов расчёта. Задачей исследования является создание простого в использовании программного обеспечения, которое обеспечивает необходимую точность проведения расчётов и значительно сократит время их выполнения. Также программное обеспечение должно обеспечить возможность возврата к любому этапу расчёта и автоматическое

изменение расчётных величин при корректировке вводимых данных (по необходимости).

Методы исследования. Обзор средств автоматизированного проектирования был дан в [1, с. 661–667], где описываются основные программы, используемые при проектировании электрических машин, отмечены их достоинства и недостатки. В исследовании был применён практический метод, то есть непосредственное создание программы для расчёта асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в пакете MS Excel. Данный пакет был выбран, так как его приобретение не требует каких-либо дополнительных финансовых затрат, поскольку Microsoft Excel является частью пакета Microsoft Office. Код программы пишется на основе Visual Basic для приложений. Управление электронной таблицей осуществляется посредством объектно ориентированной модели кода и данных. При этом данные входных таблиц мгновенно обрабатываются и отображаются в таблицах или графиках. Таким образом, таблица становится интерфейсом кода, позволяя легко работать, изменять его и управлять расчётами. Иными словами, пользователю не нужны какие-то специальные знания и навыки (в том числе и знание английского языка), чтобы освоить предлагаемую программу и спроектировать двигатель.

Исследование содержит два этапа работы:

1. Создание программного обеспечения для проектирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (выполнение расчётов и построение рабочих и пусковых характеристик).

2. Апробация работы программного обеспечения (проведение расчётов десяти асинхронных двигателей, отличающихся по мощности и исполнению, выполнение 3D-моделей одного из рассчитанных двигателей по полученным размерам в системе Solid Edge) с целью проверки работоспособности программы, выявления ошибок, оценки точности расчётов. Система Solid Edge является одним из лидеров на рынке средств автоматизированного проектирования для машиностроения. Она оснащена уникальными инструментами для создания и редактирования трехмерных цифровых макетов изделий. Применение данной

программы ускоряет проектирование элементов, а инструменты создания, анализа и редактирования моделей сборок позволяют проверить точное сопряжение и правильное функционирование каждой детали.

Результаты исследования. В результате было создано программное обеспечение для проведения электромагнитного, теплового и вентиляционного расчётов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. За основу написания программы взята методика И. П. Копылова [2, с. 340–456, с. 603–654], которая предполагает выполнение цепочного расчёта по формулам. Формул достаточно много, причем применение той или иной из них зависит от конструкции двигателя. Программа позволяет проводить расчёт машин с однослойной или двухслойной обмоткой статора и трапецеидальным пазом, полузакрытым или закрытым грушевидным пазом ротора, отсутствием или наличием скоса пазов на роторе, применением класса нагревостойкости электроизоляционных материалов В или F, исполнения двигателя IP23 или IP44(54). Есть возможность менять число пазов статора и ротора, марку магнитных материалов, марку проводов, марку алюминия для заливки короткозамкнутой обмотки и т. д., то есть проводить исследования влияния тех или иных величин и параметров на выходные показатели двигателя.

На первом листе представлена краткая инструкция по использованию программы при расчёте асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Для начала расчёта необходимо внести в ячейки программы исходные данные, которые находятся на втором листе. Каждый лист программы содержит отдельный этап расчёта (рис. 1). Названия этапов можно видеть внизу электронной таблицы: выбор главных размеров, расчёт обмотки статора, расчёт размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора, расчёт ротора, расчёт намагничивающего тока и т.д. Согласно инструкции, в каждом этапе необходимо вручную заполнять ячейки, которые закрашены голубым цветом, и обращать внимание на ячейки, выделенные красным цветом, чтобы оценить правильность ведения расчёта и корректности получаемых данных. Рядом с каждой из данных ячеек имеется комментарий – пояснение, в котором объясняется,

что это за параметр, откуда ввести его соответствующее значение в [2], в каких пределах этот параметр должен находиться.

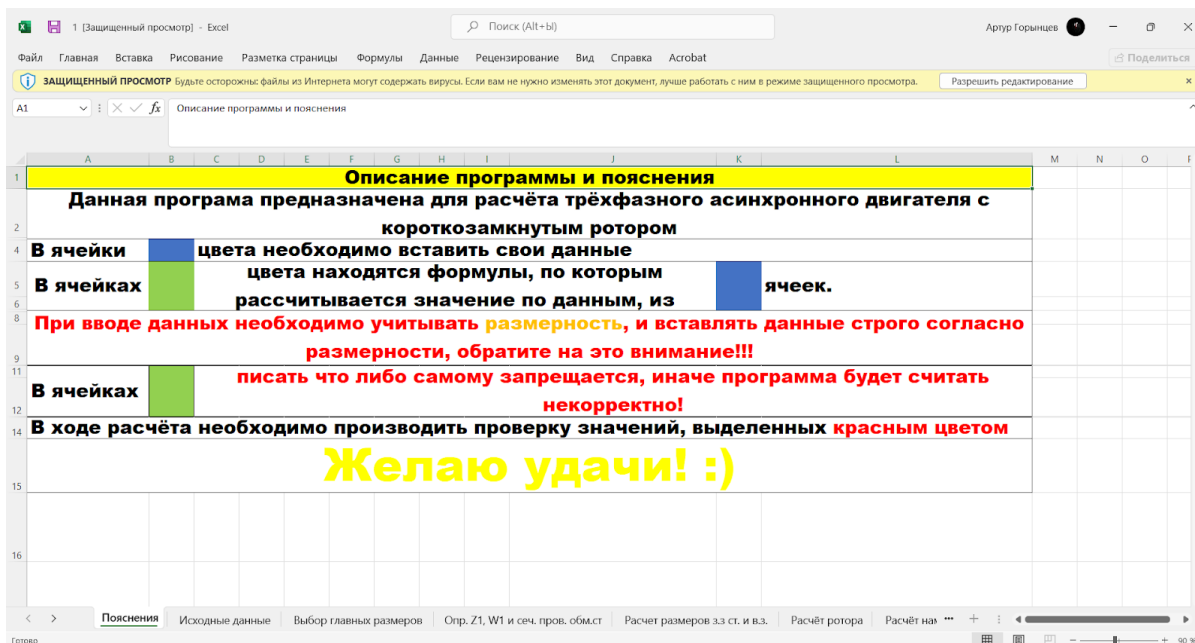


Рис. 1. Инструкция к программе

Пример внешнего вида этапов расчёта представлен в [1, с. 661–667]. Также программа автоматически строит рабочие и пусковые характеристики. Пример рабочих характеристик приведен на рис. 2.

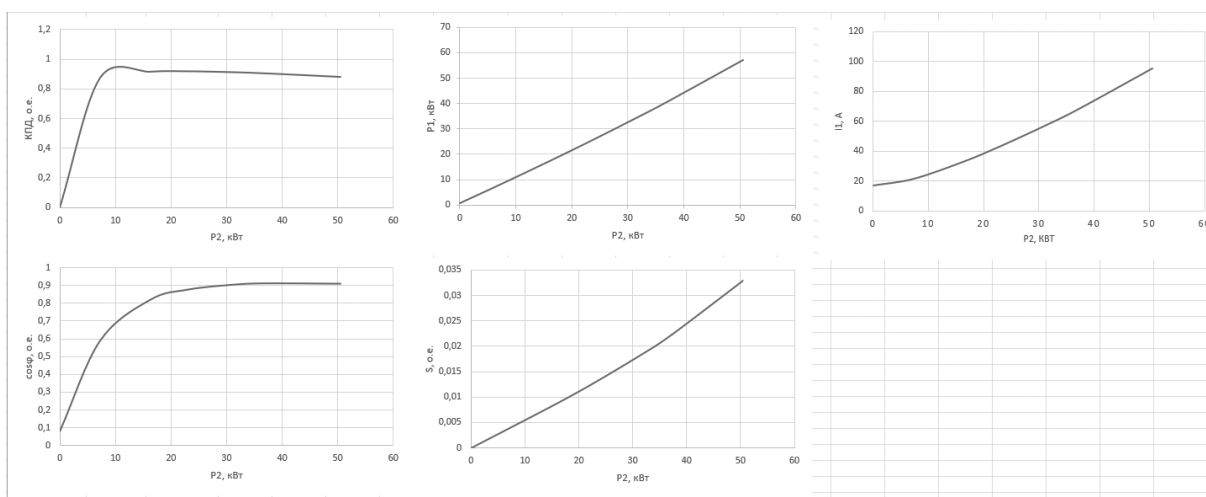


Рис. 2. Рабочие характеристики

В ходе выполнения второго этапа работ была проведена апробация работы программы. Было выполнено десять электромагнитных расчётов асинхронных двигателей, данные которых представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Основные расчётные параметры асинхронных двигателей

Параметр, единица измерения	Погрешность ручного и машинного расчёта, %	Двигатель				
		P=0,18 кВт n=1500 об/мин IP54, однослойная обмотка	P=15 кВт n=1500 об/мин IP54, однослойная обмотка	P=37 кВт n=1500 об/мин, IP54, двух- слойная об- мотка	P=11 кВт n=1500 об/мин IP54, однослойная обмотка	P=0,37 кВт n=3000 об/мин IP54, однослойная обмотка
r_1 , Ом	2,222	54,41	0,33	35,598	0,143	0,5
r_2 , Ом	0,598	$1,13 \cdot 10^{-4}$	$58,5 \cdot 10^{-6}$	$1,274 \cdot 10^{-4}$	$6,66 \cdot 10^{-5}$	$1,247 \cdot 10^{-4}$
x_1 , Ом	3,424	30,51	0,64	14,051	0,269	0,92
x_2 , Ом	4,83	$0,921 \cdot 10^{-4}$	$296 \cdot 10^{-6}$	$0,98 \cdot 10^{-4}$	$3,46 \cdot 10^{-4}$	$3,42 \cdot 10^{-4}$
I_μ , А	1,274	0,58	8,04	0,41	16,84	8,5
η , %	1,246	60,5	89,7	0,744	0,907	0,878
$\cos\varphi$, о.е.	1,996	0,65	0,893	0,855	0,91	0,847
$M_{п*}$, о.е.	3,574	2,23	1,5	4,09	1,778	2,676
$I_{п*}$, о.е.	5,672	3,19	3,9	1,78	6,706	7,25

Как видно из таблиц, расхождение в ручном и программном расчётах колеблется в пределах 0,6–6,98%, что можно объяснить заданным округлением значений в каждой ячейке электронной таблицы.

Таблица 2

Основные расчётные параметры асинхронных двигателей

Параметр, единица измерения	Погрешность ручного и машинного расчёта, %	Двигатель				
		P=7,5 кВт, n=1500 об/мин, IP54, одно- слойная об- мотка	P=45 кВт n=1000 об/мин IP23, двух- слойная об- мотка	P=22 кВт n=1500 об/мин IP54, двух- слойная об- мотка	P=18,5 кВт n=3000 об/мин IP54, двух- слойная об- мотка	P=45 кВт n=1000 об/мин IP54, двух- слойная об- мотка
r_1 , Ом	2,968	0,73	0,21	0,197	0,245	0,103
r_2 , Ом	1,712	$1,032 \cdot 10^{-4}$	$0,65 \cdot 10^{-4}$	$8,66 \cdot 10^{-5}$	$0,74 \cdot 10^{-4}$	$0,68 \cdot 10^{-4}$
x_1 , Ом	3,13	1,573	0,663	0,385	0,459	0,245
x_2 , Ом	4,862	$2,38 \cdot 10^{-4}$	$3,68 \cdot 10^{-4}$	$3,21 \cdot 10^{-4}$	$2,71 \cdot 10^{-4}$	$3,172 \cdot 10^{-4}$
I_μ , А	1,254	5,75	13,56	12,82	9,86	21,35
η , %	1,598	0,86	0,912	0,873	0,856	0,89
$\cos\varphi$, о.е.	1,284	0,869	0,895	0,861	0,574	0,895
$M_{п*}$, о.е.	5,432	2,05	1,61	1,91	1,96	1,31
$I_{п*}$, о.е.	6,98	7,2	5,36	7,03	7,45	5,62

На последнем листе программы автоматически размещается результат расчёта – сводная таблица основных показателей спроектированного двигателя (рис. 3).

Для асинхронного двигателя мощностью 0,25 кВт и частотой вращения 1500 об/мин, аналогом которого является двигатель серии АИР63А4, по размерам, полученным в ходе расчёта, были выполнены 3D-модели деталей ротора и ротор в сборе. Данные элементы представлены на рис. 4–6.

Основные показатели				
двигателя: $R_{ном} = 37000$ Вт, $n_{ном} = 1500$ об/мин, Класс нагревостойкости В, Исполнение IP 54				
Условное обозначение	Данные	Единицы измерения	Описание	Расхождение от исходного значения, %
U_n	220	В	Напряжение обмотки статора	
$I_{ном}$	68,45	А	Ток в обмотке статора	
η	0,912	%	КПД	0,219
$\cos\varphi$	0,911	о.е.	Коэффициент мощности	1,207
M_{max}^*	3,605	о.е.	Кратность максимального момента	
M_n^*	1,687	о.е.	Кратность пускового момента	
I_n^*	6,833	о.е.	Кратность пускового тока	
$\Delta t_{пов.л1}$	76,31	°С	Среднее превышение температуры обмотки статора над t окружающей среды	
Q_v	0,039	м ³ /с	Расход воздуха, требуемый для охлаждения двигателя	
Q_v'	0,3826	м ³ /с	Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором	

Рис. 3. Результаты расчёта

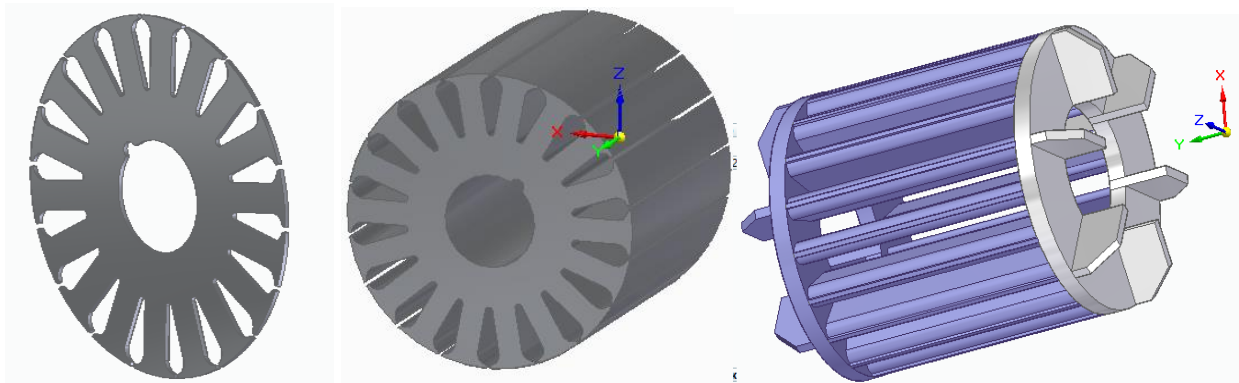


Рисунок 4. Лист ротора, пакет ротора, короткозамкнутая обмотка ротора

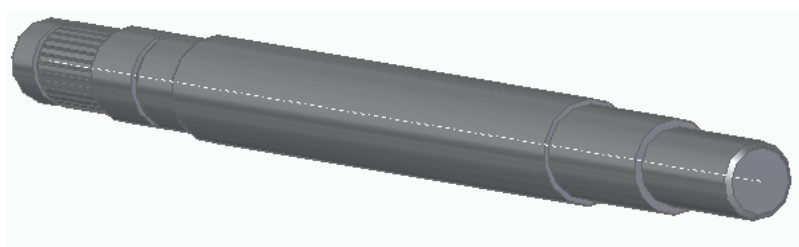


Рис. 5. Вал двигателя

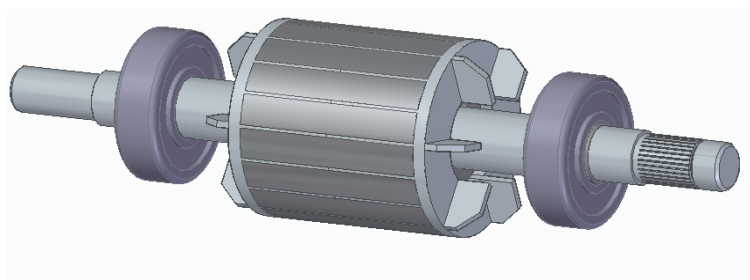


Рис. 6. Ротор в сборе

Как видно из построения моделей, в ходе расчётов размеры ротора определены верно, иначе бы сборка в единый узел не представлялась возможной, то есть применение программы Solid Edge позволяет ещё на этапе проектирования машины оценить правильность проведённых расчётов и доказывает эффективность работы программного обеспечения.

Выводы: 1. Применение разработанного программного обеспечения на основе электронных таблиц Microsoft Excel позволяет производить электромагнитный, тепловой и вентиляционный расчёты трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с высокой точностью и за достаточно короткое время.

2. Апробация использования программы доказала её работоспособность и возможность применения в учебном процессе при выполнении курсового и дипломного проектирования студентами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль 07 «Электромеханика».

3. На базе выполненных расчётов можно создавать 3D-модели элементов асинхронного двигателя в системе Solid Edge, чтобы проверить правильность проектирования каждой детали и сборочной единицы в электрической машине. Кроме того, 3D-модели дают обучающимся наглядное представление об объекте их проектирования и способствуют повышению качества обучения.

Библиографический список

1. Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин / Н. В. Тимина, А. А. Горынцев, Г. А. Карандин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). 2021. Т. 2. С. 661–667.

2. Проектирование электрических машин : учеб. для бакалавров / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев / под ред. И. П. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во Юрайт, 2015. 767 с.

Расчеты двигателя постоянного тока с применением пакета Microsoft Excel

В. Н. Тимошенко^a, Н. В. Тимина^b, Г. А. Карандин^c

кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов^a

доцент кафедры электрических машин и аппаратов^b

студент группы ЭиЭм-1802-02-00^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

E-mail: timoshenko@vyatsu.ru^a, timina@vyatsu.ru^b, stud142758@vyatsu.ru^c

Аннотация. Авторами предлагается к использованию программа расчёта двигателя постоянного тока с независимым/параллельным возбуждением, созданная на базе пакета Microsoft Excel. В программе можно выполнить электромагнитный, тепловой и вентиляционный расчёты коллекторной машины. При этом есть возможность замены ряда параметров: типа обмотки якоря (петлевая или волновая), марки стали магнитной системы, марки провода и т. д. С её помощью можно выбрать обмоточные данные, рассчитать рабочие характеристики, оптимизировать размеры магнитной системы и системы возбуждения, оценить ожидаемый перегрев отдельных частей двигателя. Работа в системе Microsoft Excel не требует специальных навыков, поэтому разработанное программное обеспечение может быть использовано в учебном процессе даже студентами младших курсов. Статья содержит краткое описание работы в программе с иллюстрациями и результаты исследования по определению достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, электронная таблица, проектирование, электромагнитный, тепловой расчет.

Введение. Предметом исследования является возможность выполнения расчета двигателя постоянного тока независимого/параллельного возбуждения с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. Выполнение этих расчетов вручную – долгий и трудоемкий процесс без возможности спрогнозировать конечный результат, в итоге для достижения требуемых показателей машины возникает необходимость выполнения неоднократного пересчета и уточнения некоторых этапов. Задачей исследования является создание наглядного и простого в использовании программного обеспечения, созданного на основе электронных таблиц Microsoft Excel. Перед программным обеспечением стоит задача уменьшения затрат времени, необходимого на расчет двигателя постоянного тока, следовательно, программное обеспечение должно предоставлять возможность быстрого и простого переключения между этапами расчета, автоматического выполнения и изменения расчетных величин, а также удовлетворять необходимой точности расчетов.

Методы исследования. Средства автоматизированного проектирования, описанные в [1], которые применяются при расчетах различных типов электри-

ческих машин, имеют ряд достоинств и недостатков. Пакет Microsoft Excel не является исключением. Приложение – часть Microsoft Office, эффективно для проведения однотипных расчётов над большими наборами данных, итоговых вычислений, решения задач проектирования путём подбора значений параметров, табулирования формул (функций), проведения поиска оптимальных значений параметров, подготовки табличных документов, построения графиков по имеющимся данным. MS Excel позволяет вводить в ячейки три типа данных: числа, текст, формулы. Текст может использоваться для заголовков таблиц, объяснения или пометок на рабочем листе. Если Excel не распознает тип данных как число или как формулу, то данные воспринимаются им как текст. Числа используются для представления цифровой информации и могут быть введены в различных форматах: общем, числовом, процентном и т. д. Все это в полной мере отвечает задачам, которые ставятся при выполнении электромагнитного и теплового расчетов в процессе проектирования двигателя постоянного тока. Электронная таблица является интерфейсом программы, тем самым обеспечивая простоту управления и изменения расчета. Пользователю не нужно располагать специальными навыками и знаниями для использования программы и проектирования на ее основе двигателя.

Можно выделить два основных этапа работы:

1. Создание программного обеспечения для расчёта коллекторного двигателя постоянного тока (ДПТ).

2. Проверка работоспособности программы и анализ точности полученных результатов (по сравнению с расчётами, выполняемыми вручную или с использованием действующего программного обеспечения дисплейного класса, на языке TurboBasic, с помощью которого расчёты ДПТ проводятся в настоящее время).

Результаты исследования. Создано программное обеспечение для проведения электромагнитного, теплового и вентиляционного расчётов двигателя постоянного тока независимого/параллельного возбуждения по методике [2, с. 340–456, с. 603–654]. Расчет ведется по цепочке с использованием большого количества формул, выбор которых зависит от исполнения двигателя. Программа позволяет проводить расчёт машин с параллельной или независимой

обмоткой возбуждения, классом нагревостойкости В или F, степенью защиты IP23 или IP44. При расчете можно изменять ряд величин: число пазов якоря, обмоточные данные, марку магнитных материалов, марку провода обмотки якоря, обмотки возбуждения и обмотки добавочных полюсов и т. д., то есть проводить исследование влияния различных параметров на выходные показатели машины и подобрать их оптимальные значения.

На первом листе программы представлена таблица «Исходные данные», сюда вносятся данные технического задания на проектирование: номинальная мощность, номинальное напряжение, номинальная частота вращения, степень защиты IP23 или IP44, класс изоляции и тип возбуждения. На втором листе и далее производится расчет отдельных этапов (рис. 1). В таблице светлым цветом выделены ячейки, куда необходимо вручную вносить выбираемые проектировщиком данные или коэффициенты. В строке «Примечания» приводятся необходимые пояснения или ссылки на справочный материал для поиска этих данных. Красным цветом в программе выделены контрольные ячейки таблицы, по которым можно оценить правильность хода расчета, чтобы двигаться дальше и продолжить его.

Программа самостоятельно производит расчет характеристик: холостого хода, переходной характеристики для определения графоаналитическим путем размагничивающего действия реакции якоря. Однако работать с этими построенными характеристиками приходится вручную, что влияет на точность и является недостатком разработанного программного обеспечения.

	A	B	C	D	E	F	G
1	3. Расчет геометрии зубовой зоны якоря						
2	Параметр	Обозначение	Значения	Единицы	Примечания		
3		hп д.б. меньше	0,03133	м			
4	Высота паза якоря (предварительно)	hп	0,025	м	стр 610, рис.11.12 в зависимости от D= 0,18 м		
5	Высота шлица паза	hш	0,0005	м	0,0005-0,0008		
6		bш д.б. больше	0,00239	м			
7	Ширина шлица паза	bш	0,0035	м	2,5...5мм		
8	Индукция в зубцах якоря (предварительно)	Bz	1,75	Тл	стр 611, табл.11.9		
9	Коэффициент заполнения пакета якоря сталью	kс	0,97		стр 53, табл.2.1		
10	Ширина зубца якоря	bz	0,0052	м			
11	Большой радиус паза якоря	r1	0,0034	м			
12	Меньший радиус паза якоря	r2	0,0021	м			
13	Расстояние между центрами радиусов	h1	0,0190	м			
14	Минимальное сечение зубцов якоря	Sz	0,00301	м ²			
15	Площадь паза в штампе	Sп	1,296E-04	м ²			
16	Площадь сечения пазовой изоляции	Sиз	2,31E-05	м ²			
17	Коэффициент		0,004		выбирается в пределах 0,003-0,005		
18	Площадь клина и изоляционной прокладки	Sk	1,36E-05	м ²			
19	Площадь паза для размещения проводников	Sпо	9,29E-05	м ²			
20	Площадь поперечного сечения обмотки, уложенной в один паз	Sо	9,46E-05	м ²			
21	Толщина пазовой изоляции	bиз	0,00035	м	стр 147, табл.3.18		
22	Коэффициент заполнения паза изол. проводниками	kз	0,733		(0,68-0,72) стр 613		
23	ЭДС (предварительно)	Ен	206,800	В			
24	Коэффициент	кз	0,9400				
25	Магнитный поток в воздушном зазоре на полюс	Fм	0,00522	Вб			
26	Магнитная индукция при частоте перемагничивания	Bj	1,15	Тл	стр 611, табл.11.10		
27	Минимальная высота спинки якоря	hшм	0,02867	м			
28	Высота спинки якоря (действительная)	hj	0,035	м			
29	Магнит. индукция в сечении зубцов якоря (оконч.)	Bz	1,73	Тл			
30	Для магнитопровода якоря принимаем сталь марки		2013				

Рис. 1. Вид этапа расчета

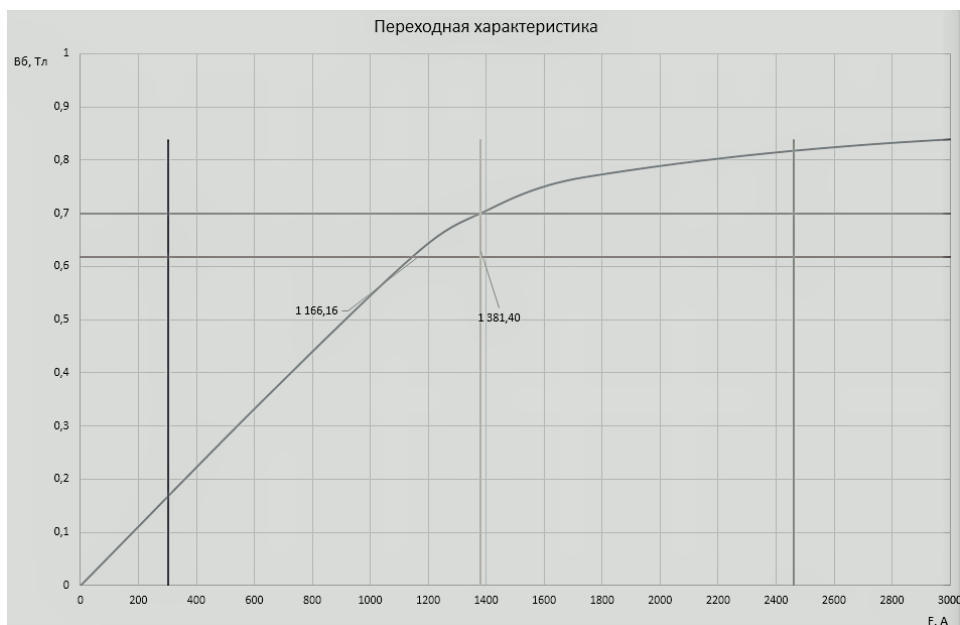


Рис. 2. Переходная характеристика машины

Также программа производит расчет рабочих характеристик машины и автоматически их выстраивает. Вид рабочих характеристик представлен на рис. 3.

Для удобства пользователя программа разбита на 17 этапов и имеется возможность проведения теплового и вентиляционного расчетов (рис. 3), в результате выполнения которых определяется превышение температуры отдельных частей двигателя над температурой окружающего воздуха и дается сравнение этой температуры с допустимой температурой для заданного класса нагневостойкости изоляции. Итогом вентиляционного расчета является сравнение объемов требуемого и действительного расхода воздуха. Тем самым осуществляется проверка того, обеспечивается ли требуемое охлаждение двигателя. Внешний вид этапа теплового расчета представлен на рис. 4.

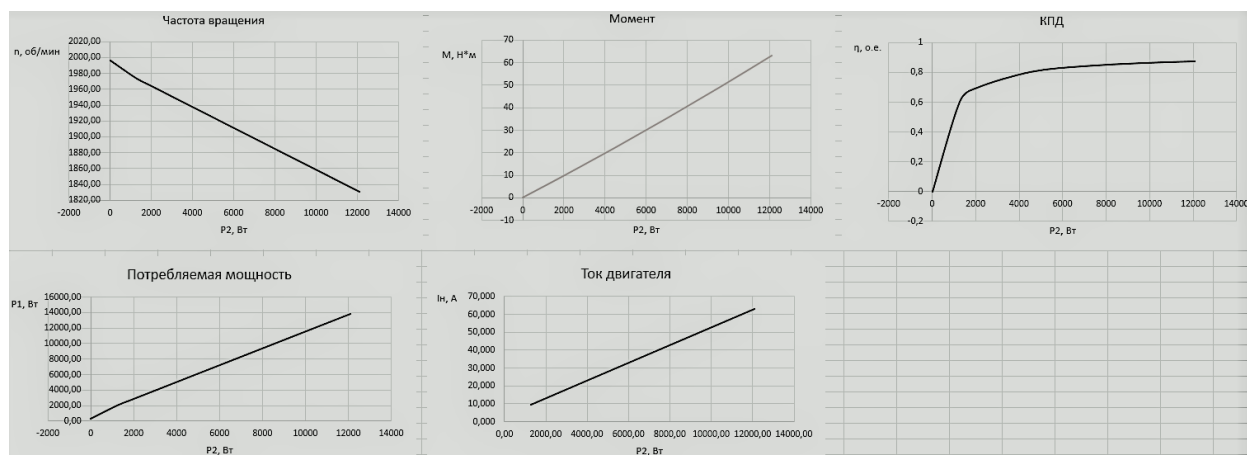


Рис. 3. Рабочие характеристики машины

		2. Тепловой расчет			
1	2	3	4	5	
Параметр	Обознач	Значения	Единицы измерения	Примечания	
3	Коэффициент нагревостойкости изоляции	kt	1,07	F=1,07 B=1,15	
4	Расчетные сопротивления обмоток	rap	0,231	Ом	
5		gdm	0,082		
6		gvm	183,117		
7	Расчетные потери в обмотках	Pam	589,44	Вт	
8		Pdm	209,24	Вт	
9		Pvm	205,75	Вт	
10	Превышение температуры поверхности сердечника якоря над t°С воздуха внутри ЭД	Δθa	104	град	
11	Коэффициент теплоотдачи с поверхности	αa	115	Вт/(м²С°)	n*D=396 (об/мин)*м с. 649 рис. 11.29 кривая 1
12	Расч-й периметр поперечного сечения паза якоря	Пп	0,0553	м	
13	Экв.теплопроводность паз. Изоляции	λэкв	0,16	Вт/(м²С°)	с.650
14	Теплопров-ть внутр.изоляции катушки	λэкв'	1,4	Вт/(м²С°)	
15	Перепад t в изоляции паз. части ОЯ	Δθиз.п	1,21	град	
16	Козф-т теплоотдачи с нар.поверхности лоб частей	αл	115		
17	Длина вылета лоб.части якоря	lвыл	0,056	м	
18	Перепад t наружной пов-ти лоб. частей ОЯ	Δθпов.л	55,33	град	
19	Расчетный периметр поперечного сечения лобовой части ОЯ	Пл	0,0331	м	
20	Перепад t в изоляции лоб. части ОЯ	Δθиз.л	3,37	град	При классе нагревостойкости В перегрев не должен привывшать 105°С, F - 115°С
21	Сред. превышение t ОЯ над t охлажда.воздуха	Δθa.ср	73,19	град	
22	Превышение t воздуха внутри машины	Δθв	67,57	град	
23	Сумма потерь в ДПП при ном-м режиме	ΣP'	1415,85	Вт	
24	Эквивалентная пов-ть охлаждения корпуса	Soхл	0,2138	м²	
25	Коэффициент подогрева воздуха	αн	98	Вт/(м²С°)	n*D=396 (об/мин)*м с 649 рис 11.30
26	Среднее превышение t ОЯ над t окр. среды	Δθa.ср'	140,76	град	
27	Потери, отводимые через пов-ть ОВ	Pв'	123,45	Вт	
28	Козф-т теплоотдачи с нар.поверхности ОВ	αв	98	Вт/(м²С°)	n*D=396 (об/мин)*м с. 649 рис. 11.29 кривая 2
29	Превышение t воздуха наружной пов-ти ОВ	Δθв.л	6,47	Град	
30	Расч.периметр поверхности охлаждения ОВ	Пв	0,1514	м	из эскиза межполюсного окна
31	Перепад t в изоляции ОВ	Δθиз.в	1,13	град	бкт= 0,02 ширина и высота катушки ГП догп= 0,0557
32	Среднее превышение t ОВ над t окр.среды	Δθв.ср'	75,17	град	бкд= 0,02 ширина и высота катушки ДП подп= 0,0531

Рис. 4. Тепловой расчет

Также к достоинствам разработанного программного обеспечения можно отнести автоматическое изменение расчетных величин при изменении какого-либо вводимого вручную параметра и возможность в каждый момент времени вернуться к любому этапу проектирования.

По завершении программы была проведена проверка ее работоспособности, которая заключалась в выполнении десяти электромагнитных расчётов коллекторного двигателя вручную и в дальнейшем сравнении этих расчётов с теми, которые были выполнены с помощью программного обеспечения. Было произведено сравнение наиболее важных при проектировании двигателя постоянного тока величин ручного и электронного расчетов, а также погрешность при их определении. Была найдена средняя погрешность на каждый вариант расчета. Результаты сведены и в табл. 1.

Таблица 1

Вводные данные и средняя погрешность каждого варианта расчета

№	Номинальная мощность, кВт	Способ возбуждения	Частота вращения, об/мин	Исполнение	Погрешность, %
1	9,5	Независимое	2200	IP22	0,767
2	11	Независимое	2200	IP44	0,8
3	5,3	Параллельное	3000	IP22	1,352

№	Номинальная мощность, кВт	Способ возбуждения	Частота вращения, об/мин	Исполнение	Погрешность, %
4	2,2	Параллельное	1500	IP22	0,036
5	4	Параллельное	1500	IP22	0,129
6	7	Параллельное	2240	IP22	0,015
7	10,5	Параллельное	3000	IP22	0,968
8	3	Параллельное	750	IP22	0,193
9	4,5	Параллельное	1500	IP22	1,623
10	13	Параллельное	2120	IP22	0,95

Отклонения расчетных величин для разных двигателей колеблются в пределах 0,015–1,623%, что свидетельствует о высокой точности расчетов. Расхождение можно объяснить разницей в округлении расчетных величин при проведении ручного и программного расчетов. Ошибок в формулах выявлено не было. Таким образом, созданное программное обеспечение выполняет свою функцию и может быть рекомендовано к применению. В ходе тестирования работы программы ошибок выявлено не было.

Также по результатам тестирования программы можно дать следующие рекомендации по ее совершенствованию:

1. Предусмотреть возможность импортирования данных в файл, который будет иметь вид, пригодный для представления при сдаче курсового проекта (MS WORD).
2. Добавить справочную информацию по построению схемы обмотки якоря.
3. Добавить справочную информацию по габаритным и установочно-присоединительным размерам спроектированного двигателя.
4. Автоматизировать работу с переходной характеристикой и характеристикой холостого хода машины.
5. Добавить возможность расчета двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

Выводы: 1. Применение разработанного программного обеспечения на основе электронных таблиц Microsoft Excel позволяет значительно сократить время на проектирование двигателя постоянного тока.

2. Точность выполнения расчетов соответствует инженерной и является достаточной для использования программного обеспечения в учебном процессе.

3. Программа работоспособна и может быть рекомендована к применению при курсовом и дипломном проектировании студентами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль 07 «Электромеханика».

Библиографический список

1. Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин / Н. В. Тимина, А. А. Горынцев, Г. А. Карандин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). 2021. Т. 2. С. 661–667.

2. Проектирование электрических машин : учеб. для бакалавров / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев / под ред. И. П. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2015. 767 с.

Произвольный четырехугольный конечный элемент для пластин с учетом сдвига

Ю. Я. Тюкалов^a, Д. А. Варанкина^b

доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и машин^a
студент группы СТМ-2801-01-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}
E-mail: usr00423@vyatsu.ru^a, stud123860@vyatsu.ru^b

Аннотация. Предложен произвольный четырехугольный конечный изгибаемый конечный элемент на основе кусочно-постоянной аппроксимации моментов. Решение основывается на принципах минимума дополнительной энергии и возможных перемещений. Конечный элемент позволяет учитывать деформации сдвига независимо от отношения толщины пластины к ее размерам. Эффект "запирания" при расчете тонких пластин отсутствует. Выполнено сравнение результатов расчета косых пластин, кольцевых и круглых пластин с аналитическими решениями и результатами расчетов по другим программам. Сравнение показывает хорошую точность определения перемещений и моментов. При измельчении сетки конечных элементов величины перемещений стремятся к точным значениям сверху. Для оценки влияния формы конечного элемента были выполнены расчеты квадратной защемленной по контуру плиты. Для моделирования плиты использовались четырехугольные элементы, полученные из прямоугольных путем изменения наклона одной стороны. При этом точность вычисления перемещений и моментов снижалась незначительно. Предлагаемый конечный элемент прост в реализации. При получении решения не используется численное интегрирование и отображение четырехугольной области на прямоугольную. Все необходимые выражения получены аналитически.

Ключевые слова: метод конечных элементов, изгибаемые пластины, деформации сдвига, аппроксимация моментов.

Введение. Изгибаемые пластины широко применяются в качестве несущих конструкций зданий и сооружений различного назначения. Разработке различных типов конечных элементов для плит, работающих на изгиб, посвящено большое количество научной литературы [1–2]. К настоящему времени в программных комплексах используется широкий круг конечных элементов для изгибаемых пластин, разработанных на основе аппроксимации перемещений и использовании функционала Лагранжа. Несмотря на это разработка новых типов конечных элементов продолжается. В частности, работы [3–4] посвящены новым конечным элементам для расчета тонких пластин, разработанным на основе общей теории упругости.

Расчет пластин с учетом деформаций сдвига требует применения конечных элементов, основанных на различных теориях сдвига. В работе [5] для учета деформаций сдвига применяются непосредственно уравнения теории упругости, а в [6–7] используется теория пластин Миндлина – Рейснера.

Конечно-элементные решения на основе аппроксимации моментов (напряжений) позволяют получить решения, которые являются альтернативными решениям на основе функционала Лагранжа. Это обуславливает их актуальность. Целью данной работы является построение произвольного четырехугольного конечного элемента на основе аппроксимации моментов и поперечных сил, предназначенного для расчета пластин различной толщины. Решение строится на основе работ [8–11], в которых рассмотрены только прямоугольные и треугольные конечные элементы. Для оценки точности предлагаемого конечного элемента будут выполнены тестовые расчеты и сравнение результатов с аналитическими решениями и результатами, полученными по другим методикам.

Ведущий подход. Решение задачи изгиба тонких пластин, на основе аппроксимации полей моментов, будем строить на основе функционала дополнительной энергии [1]:

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \frac{12}{E \cdot t^3} \int_A (M_x^2 + M_y^2 - 2\nu M_x M_y + 2(1+\nu) M_{xy}^2) dA. \quad (1)$$

E – модуль упругости материала пластины; t – толщина пластины; ν – коэффициент Пуассона; M_x – изгибающий момент, направленный вдоль оси X ; M_y – изгибающий момент, направленный вдоль оси Y ; M_{xy} – крутящий момент.

Функционал (1) запишем в стандартной матричной форме:

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \int_A \mathbf{M}_s^T \mathbf{E}^{-1} \mathbf{M}_s dA. \quad (2)$$

В выражении (2) введены следующие обозначения:

$$\mathbf{M}_s = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{E}^{-1} = \frac{12}{E \cdot t^3} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Введем обозначение для неизвестных узловых моментов $M_{x,i}, M_{y,i}, M_{xy,i}$ и для вектора узловых моментов произвольного четырехугольного конечного элемента

$$\mathbf{M}_k^T = (M_{x,1} \quad M_{y,1} \quad M_{xy,1} \quad M_{x,2} \quad M_{y,2} \quad M_{xy,2} \quad M_{x,3} \quad M_{y,3} \quad M_{xy,3} \quad M_{x,4} \quad M_{y,4} \quad M_{xy,4}). \quad (4)$$

По области конечного элемента поля моментов аппроксимируем кусочно-постоянными функциями (рис. 1).

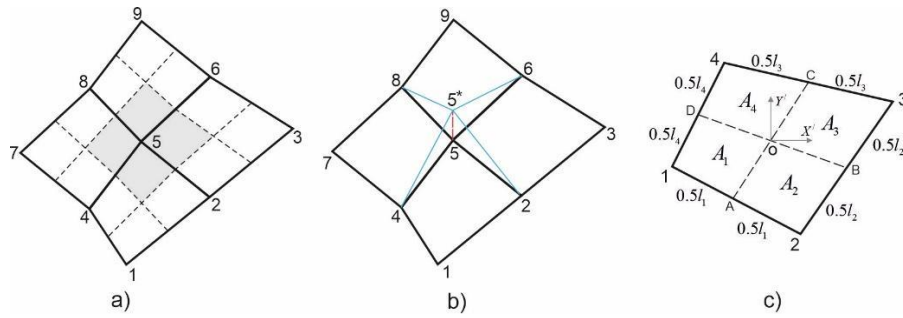


Рис. 1. Произвольный четырехугольный элемент: а) пунктирные линии проведены через середины сторон и делят конечные элементы на области с постоянными моментами; б) возможное перемещение узла 5; с) локальная нумерация узлов и система координат для конечного элемента

Для упрощения записи выражений введем вспомогательные единичные ступенчатые функции:

$$\psi_i(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in A_i \\ 0, & (x, y) \notin A_i \end{cases} \quad (5)$$

И соответствующие им диагональные матрицы

$$\Psi_i = \begin{bmatrix} \psi_i & & & \\ & \psi_i & & \\ & & \psi_i & \\ & & & \psi_i \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Тогда матрица аппроксимации моментов по области конечного элемента будет иметь простой вид:

$$\Psi_k = [\psi_1 \quad \psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_4]. \quad (7)$$

Тогда

$$\mathbf{M}_s = \mathbf{Z}_k \mathbf{M}_k. \quad (8)$$

Используя (8), выразим дополнительную энергию деформаций конечного элемента в следующем виде:

$$\Pi_k^c = \frac{1}{2} \int_{A_k} \mathbf{M}_k^T (\mathbf{Z}_k^T \mathbf{E}^{-1} \mathbf{Z}_k) \mathbf{M}_k dA. \quad (9)$$

Введем обозначение для локальной матрицы податливости конечного элемента \mathbf{D}_k :

$$\mathbf{D}_k = \int_{A_k} \mathbf{Z}_k^T \mathbf{E}^{-1} \mathbf{Z}_k dA. \quad (10)$$

Отметим, что матрица \mathbf{D}_k вычисляется аналитически и имеет элементарный блочно-диагональный вид:

$$\mathbf{D}_k = \begin{bmatrix} A_1 \mathbf{E}^{-1} & & & \\ & A_2 \mathbf{E}^{-1} & & \\ & & A_3 \mathbf{E}^{-1} & \\ & & & A_4 \mathbf{E}^{-1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

$A_1 \div A_4$ – площади соответствующих областей конечного элемента, в которых моменты являются постоянными (рис. 1).

Из матриц податливости конечных элементов формируется глобальная матрица податливости \mathbf{D} , а из векторов \mathbf{M}_k глобальный вектор узловых моментов \mathbf{M} . Используя введенные обозначения, получим следующее выражение функционала (2):

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \mathbf{M}^T \mathbf{D} \mathbf{M}. \quad (12)$$

В соответствии с принципом минимума дополнительной энергии поля моментов должны удовлетворять уравнениям равновесия и статическим граничным условиям. Для обеспечения равновесности полей моментов составим уравнения равновесия узлов сетки при помощи принципа возможных перемещений:

$$\mathbf{L} \mathbf{M} + \mathbf{P} = 0. \quad (13)$$

При помощи множителей Лагранжа уравнения (13) прибавим к функционалу (12).

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \mathbf{M}^T \mathbf{D} \mathbf{M} + \mathbf{w}^T (\mathbf{L} \mathbf{M} + \mathbf{P}). \quad (14)$$

\mathbf{w} – вектор узловых перемещений. Для учета статических граничных условий необходимо составить дополнительные уравнения и, при помощи множителей Лагранжа, прибавить к функционалу (14). Тогда вектор \mathbf{w} будет включать в себя эти дополнительные параметры.

Для получения разрешающих уравнений приравняем к нулю производные (14) по векторам \mathbf{M} и \mathbf{w} :

$$\begin{aligned} \mathbf{D} \mathbf{M} + \mathbf{L}^T \mathbf{w} &= 0, \\ \mathbf{L} \mathbf{M} + \mathbf{P} &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

При расчете толстых пластин необходимо учесть дополнительные деформации сдвига. В рамках предлагаемой методики мы можем рассмотреть состоя-

ние сдвига независимо от состояния изгиба и использовать следующий функционал:

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \int_S \left(\frac{2k(1+\nu)}{E \cdot t} \right) (Q_x^2 + Q_y^2) dS. \quad (16)$$

$k = 6.5$ – коэффициент, учитывающий параболический закон изменения касательных напряжений по толщине плиты. Q_x, Q_y – поперечные силы. Введем обозначения:

$$\mathbf{Q}_s = \begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{E}_{sh}^{-1} = \frac{12(1+\nu)}{5E \cdot t} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Тогда

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \int_S \mathbf{Q}_s^T \mathbf{E}_{sh}^{-1} \mathbf{Q}_s dS. \quad (18)$$

Рассмотрим случай, когда поперечные силы принимаются постоянными по области конечного элемента. Тогда для одного конечного элемента получим:

$$\Pi_k^c = \frac{1}{2} \mathbf{Q}_k^T \mathbf{D}_{sh,k} \mathbf{Q}_k. \quad (19)$$

A_k – площадь конечного элемента; $\mathbf{Q}_k = \begin{Bmatrix} Q_{x,k} \\ Q_{y,k} \end{Bmatrix}$ – вектор поперечных сил конечного элемента.

$$\mathbf{D}_{sh,k} = A_k \mathbf{E}_{sh}^{-1}. \quad (20)$$

Для всей системы

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \mathbf{Q}^T \mathbf{D}_{sh} \mathbf{Q}. \quad (21)$$

\mathbf{Q} – вектор поперечных сил для всей системы; \mathbf{D}_{sh} – глобальная матрица податливости при сдвиге для всей системы. Система уравнений равновесия узлов при сдвиге:

$$\mathbf{L}_{sh} \mathbf{Q} + \mathbf{P} = 0. \quad (23)$$

Включая уравнения равновесия в функционал при помощи множителей Лагранжа, получим:

$$\Pi^c = \frac{1}{2} \mathbf{Q}^T \mathbf{D}_{sh} \mathbf{Q} + \mathbf{w}_{sh}^T (\mathbf{L}_{sh} \mathbf{Q} + \mathbf{P}). \quad (22)$$

Результаты исследований, их обсуждение. В качестве тестовой задачи были выполнены расчеты шарнирно-опертой по контуру косоугольной плиты (рис. 2). Для такой плиты приведено конечно-разностное решение в [12]. Для решения используются конечные элементы в виде параллелограмма с наибольшим углом 120 градусов. Плита имеет следующие параметры: $E = 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\mu = 0.21$, $t = 0.1\text{m}$, $q = 10\text{kN/m}^2$. Расчеты были выполнены для трех сеток конечных элементов: сетка 6 на 10, сетка 10 на 20 и сетка 20 на 40. Кроме того, для сравнения были выполнены расчеты данной плиты по программе ЛИРА-САПР. Все результаты сведены в таблицу. SFEM – это решение по предлагаемой методике.

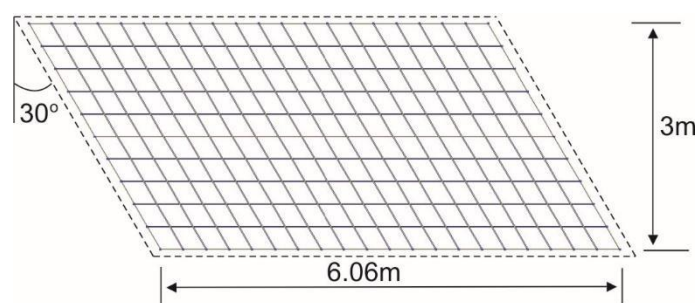


Рис. 2. Косая шарнирно-опертая плита. Сетка 10x20 конечных элементов

Перемещения и изгибающие моменты в центре пластины

Решение (сетка)	w, mm	$M_x, \text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$	$M_y, \text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$
SFEM (6x10)	10.779	3.654	9.903
SFEM (10x20)	10.039	3.586	9.451
SFEM (20x40)	9.587	3.529	9.132
LIRA-SAPR (6x10)	9.093	3.290	8.303
LIRA-SAPR (10x20)	9.115	3.404	8.611
LIRA-SAPR (20x40)	9.149	3.449	8.731
Тимошенко [12]	9.719	–	8.712

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что величина перемещения центра пластины, полученная с использованием предлагаемого конечного элемента (SFEM), при измельчении сетки стремится к точному значению сверху. Аналогичные результаты были получены для прямоугольных и треугольных конечных элементов, также построенных на основе аппроксимации напряжений [11]. Для самой мелкой сетки полученная величина перемещения отличается от аналитического значения на 1,4 процента. Изгибающие моменты

также стремятся к точным значениям сверху. Величина максимального момента M_y , полученного при самой мелкой сетке, больше аналитического значения на 4,8 процента.

Выводы. Предложен произвольный четырехугольный конечный изгибаемый конечный элемент на основе кусочно-постоянной аппроксимации моментов. Решение основывается на принципах минимума дополнительной энергии и возможных перемещений. Конечный элемент позволяет учитывать деформации сдвига независимо от отношения толщины пластины к ее размерам. Эффект «запирания» при расчете тонких пластин отсутствует. Выполнено сравнение результатов расчета косых пластин с аналитическими решениями и результатами расчетов по другим программам. Сравнение показывает хорошую точность определения перемещений и моментов. При измельчении сетки конечных элементов величины перемещений стремятся к точным значениям сверху.

Библиографический список

1. Gallagher R. H. Finite Element Analysis: Fundamentals. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975. 420 p.
2. Eslami M. R. Buckling and Postbuckling of Beams, Plates and Shells. N. Y. : Springer, 2018. 588 p.
3. Karttunen A. T., von Herten R., Reddy J. N., Romanoff J. Exact elasticity-based finite element for circular plates // Computers & Structures. 2017. Vol. 182. Pp. 219–226.
4. Nguyen-Xuan H. A polygonal finite element method for plate analysis // Computers & Structures. 2017. Vol. 188. Pp. 45–62.
5. Karttunen A. T., Herten R., Reddy J. N., Romanoff J. Shear deformable plate elements based on exact elasticity solution // Computers & Structures. 2018. Vol. 200. Pp. 21–31.
6. Fallah N. On the use of shape functions in the cell centered finite volume formulation for plate bending analysis based on Mindlin-Reissner plate theory // Computers & Structures. 2006. Vol. 84. Pp. 1664–1672.
7. Khezri M., Gharib M., Rasmussen K. J. R. A unified approach to meshless analysis of thin to moderately thick plates based on a shear-locking-free Mindlin theory formulation. Thin-Walled Structures. 2018. Pp. 161–179.
8. Тюкалов Ю. Я. Конечно-элементные модели в напряжениях для задач плоской теории упругости // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 1(77). С. 23–37. DOI: 10.18720/MCE.77.3.
9. Тюкалов Ю. Я. Равновесные конечные элементы для плоских задач теории упругости // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 7(91). С. 80–97. DOI: 10.18720/MCE.91.8
10. Тюкалов Ю. Я. Метод расчета изгибаемых плит с учетом деформаций сдвига // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 1(85). С. 107–122. DOI: 10.18720/MCE.85.9
11. Тюкалов Ю. Я. Конечно-элементная модель в напряжениях для пластин Рейснера // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 5(89). С. 61–78. DOI: 10.18720/MCE.89.6
12. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. М. : Наука, 1966. 636 с.

Исследование спектрального состава тока восьмифутового луцильного станка

В. В. Черепанов^a, А. К. Торопова^b

доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения^a

студент группы ЭиТа-1801-03-00^b

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b}

E-mail: usr00456@vyatsu.ru^a, usr22264@vyatsu.ru^b

Аннотация. В электроэнергетике существует проблема качества электрической энергии. Для оценки качества электроэнергии разработан ряд показателей, к числу которых относятся несинусоидальность формы кривой напряжения электрической сети. Источниками искажений формы кривой напряжения являются электроприемники, потребляющие ток несинусоидальной формы. К числу таких потребителей относятся луцильные станки фанерного производства. Обследуемое оборудование способно негативно воздействовать на работу других потребителей, а также ухудшать условия эксплуатации электрооборудования энергообеспечивающих организаций. Нами были исследованы токи нагрузки восьмифутового луцильного станка на действующем предприятии Кировской области. Установлено, что в спектральном составе тока содержатся высшие гармоники канонического и аномального порядков. Определены действующие значения токов высших гармоник на десятиминутном интервале осреднения и дана оценка их воздействия на напряжение электрической сети.

Ключевые слова: нелинейная нагрузка, высшие гармоники, несинусоидальность.

Введение. В настоящее время на промышленных предприятиях, связанных с деревообработкой, наблюдается тенденция внедрения высокотехнологичного и высокоэффективного электрооборудования, которое способно привести к появлению электромагнитных помех и повлиять на качество электрической энергии [1, 2]. В основном это оборудование с резкопеременным характером электрической нагрузки: краны различной модификации, корорубки, рубильные и луцильные машины и т. д., а также нелинейные нагрузки: вентиляные преобразователи, частотные приводы и др.

В процессе эксплуатации нелинейные нагрузки создают токи несинусоидальной формы, которые можно представить суммой гармонических составляющих, частоты которых кратны основной частоте питающей сети.

Наличие высших гармоник в системе электроснабжения (СЭС) приводит к следующим негативным последствиям: появляются дополнительные потери мощности в питающей и распределительной сетях, происходит ускоренное старение изоляции электрических машин, нарушается работа устройств релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи, возникают сложности осуществления компенсации реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов и

прочее [3, 4]. Таким образом, циркуляция токов высших гармоник в СЭС вызывает значительный технический и материальный ущерб. Поэтому необходимо применять технические и организационные мероприятия для снижения несинусоидальности напряжения до уровней, допустимых ГОСТ [5].

Целью работы является исследование и анализ искажений синусоидальности токов в системе электроснабжения фанерного производства при работе восьмифутового луцильного станка, а также разработка возможных мероприятий по снижению влияния высших гармоник на других потребителей.

Исходя из поставленной цели, выдвигаются следующие задачи исследования:

- изучить влияние электрических нагрузок луцильного станка на несинусоидальность формы кривой напряжения электрической сети;
- предложить мероприятия для снижения негативного воздействия нелинейных нагрузок на СЭС.

Методы исследования. Чтобы достичь поставленной цели и решить выдвинутые задачи, проведено экспериментальное исследование. В качестве объекта исследования выбран восьмифутовый луцильный станок, который расположен на одном из фанерных предприятий Кировской области. Основное назначение станка – это получение тонкой поперечной стружки – лущеного шпона из подготовленных ранее бревен (чураков). Привод станка – это двигатель постоянного тока с номинальной мощностью 154 кВт.

Измерение гармонических составляющих тока проводилось с применением переносного анализатора PQM-701 фирмы Sonel, который способен проводить прямые измерения показателей качества электрической энергии в сетях с номинальными частотами 50/60 Гц в соответствии с действующим ГОСТ [5]. Схема подключения прибора показана на рис. 1.

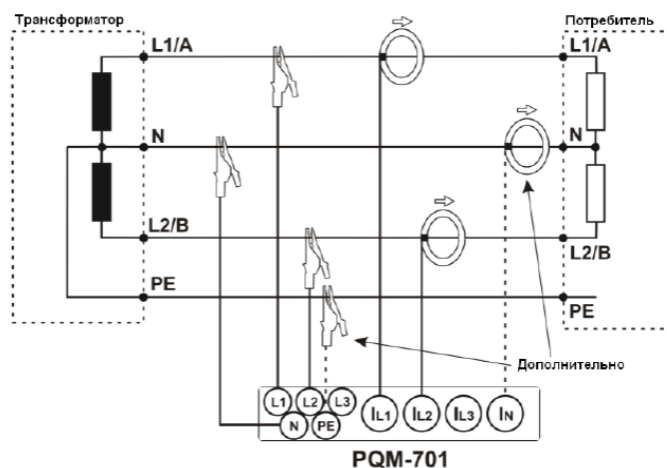


Рис. 1. Схема подключения переносного анализатора PQM-701

Прибор, используемый в ходе исследования, поверен согласно ГОСТ Р 8.656 -2009 и прошел сертификацию.

Исследование предложено проводить в следующей последовательности:

Этап 1. Внешний осмотр и знакомство с технической документацией электротехнологического оборудования.

Осуществляется сбор первоначальной информации об объекте исследования, выясняется его роль в технологическом процессе.

Этап 2. Исследование показателей качества электрической энергии с помощью анализатора, статистическая обработка результатов измерений.

На данном этапе выполняется экспериментальное исследование показателей качества электрической энергии, а именно гармонических составляющих тока, потребляемого двигателем лущильного станка.

Этап 3. Оценка результатов экспериментальных исследований и вывод.

Вывод о наличии высших гармоник в системе электроснабжения фанерного предприятия делается на основании анализа спектрального состава токов.

Результаты исследований, их обсуждение. Полученные экспериментальные значения представлены на рис. 2. На рис. 2 отображены максимальные значения токов гармонических составляющих в фазах А ($I_{L1 \text{ макс}}$), В ($I_{L2 \text{ макс}}$), С ($I_{L3 \text{ макс}}$) в период с 9:10 20.10.2021 до 8:20 21.10.21 на десятиминутном интервале осреднения.

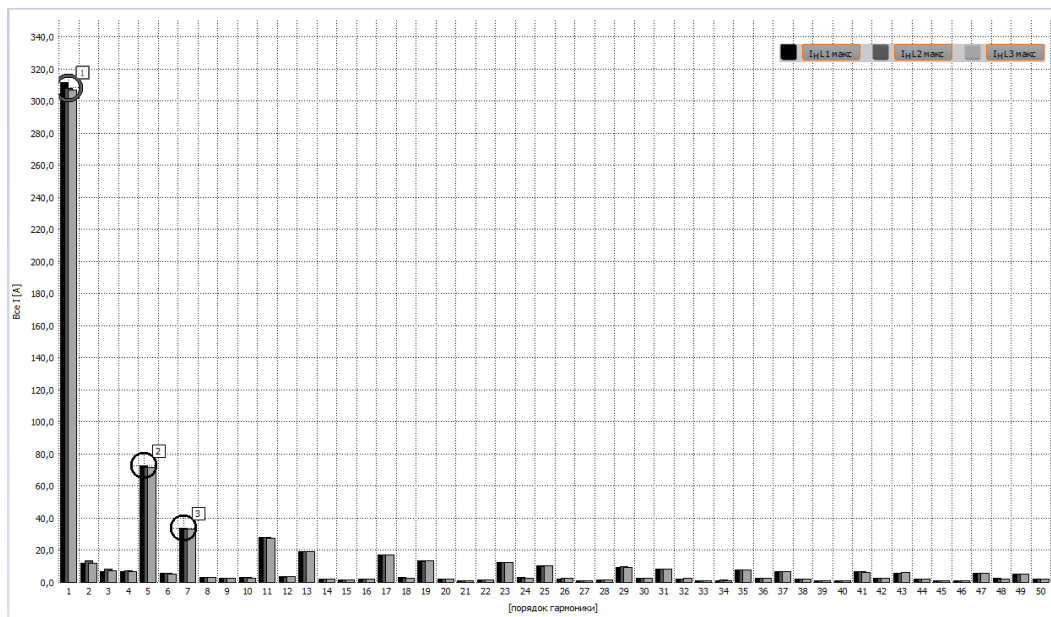


Рис. 2. Спектральный состав токов

Результаты измерений показывают, что в ходе работы лущильной машины в сеть генерируются токи высших гармоник, наибольшие значения имеют токи пятой, седьмой и одиннадцатой гармоники.

На рис. 3 показаны графики изменения значений тока пятой, седьмой и одиннадцатой гармоники совместно с током нагрузки на десятиминутном интервале осреднения. Так как нагрузка во всех фазах практически симметричная, поэтому графики приводятся только для фазы А.

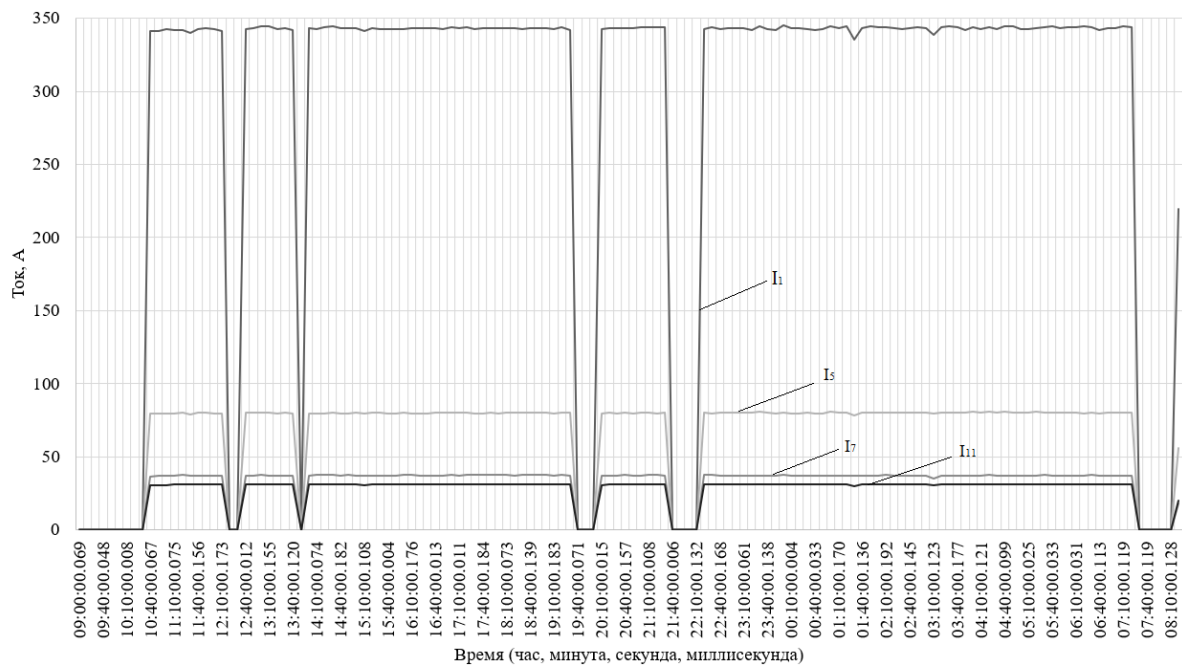


Рис. 3. График изменения значений токов, фаза А

Рис. 3 позволяет определить процентное соотношение высших гармоник в СЭС. Пятая гармоника составляет ориентировочно 23,49%, седьмая гармоника – 10,93%, одиннадцатая гармоника – 9,09%. Аналогичные вычисления можно сделать и для других гармоник тока.

Выводы. В ходе анализа экспериментальных данных выявлено, что главный привод лущильного станка потребляет несинусоидальный ток и является источником высших гармоник. Наибольшими по величине высшими гармониками являются пятая, седьмая, одиннадцатая и тринадцатая. Уровень аномальных гармоник от тока первой гармоники составляет 3,8%–0,6% и несущественно влияет на несинусоидальность напряжения электрической сети.

Исследования показали, что на рассматриваемом фанерном предприятии нормы ГОСТ [5] по показателю несинусоидальность напряжения выполняются, однако были случаи выхода из строя конденсаторных батарей, подключенных к шинам 0,4 кВ подстанции, применяемых для компенсации реактивной мощности. Причиной повреждения конденсаторных установок были резонансные явления, которые возникали вследствие наличия в СЭС высших гармоник, генерируемых лущильными станками. Поэтому на фанерном производстве для защиты батарей конденсаторов от перегрузки токами высших гармоник необходимо применять их включение последовательно с реакторами (ненастроенными фильтрами).

Библиографический список

1. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергетики на промышленных предприятиях. М. : Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. М. : ЭНАС, 2009. 456 с.
3. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях : пер. с англ. М. : Додэка-XXI, 2008. 336 с.
4. Akagi H. Active harmonic filters // Proceedings of the IEEE. 2005. Vol. 93. Is. 12. Pp. 2128–2141.
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: принят 22.07.2013; действ. с 01.07.2014. М. : Стандартинформ, 2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301?section=status> (дата обращения: 25.12.2021).

Анализ причин установки промышленными предприятиями автономных источников электроэнергии

В. В. Шаповалова^а, В. Г. Басманов^б

студент группы ЭиТа-1803-05-00^а

кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения^б
Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б}

E-mail: stud145656@vyatsu.ru^а, basmanov@vyatsu.ru^б

Аннотация. По мере развития промышленного производства возрастает потребность в электроэнергии. Большинство предприятий питаются от центрального электроснабжения, но происходит стабильная тенденция снижения надежности электроснабжения от внешних сетей. Также происходит постоянный рост цен на энергетические ресурсы, поэтому промышленные предприятия заинтересованы в применении собственных источников электрической энергии – автономных источников. Это позволит повысить эффективность применения энергетически ресурсов и снизить затраты на покупку электроэнергии. Цель работы – выявление причин необходимости установки автономных источников электроэнергии и оценка экономической целесообразности обособленного питания. В работе применяются методы анализа и синтеза. В результате исследования был произведен расчет размера экономии при планировании внедрения газопоршневой установки. Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности при планировании на промышленных предприятиях установки собственных источников электрической энергии.

Ключевые слова: автономный источник электроэнергии, энергосбережение, газопоршневая установка.

Введение. Объектом исследования выступают автономные источники электрической энергии. Предмет исследования: причины необходимости установки автономного источника электрической энергии.

Автономная система электроснабжения – это совокупность электроустановок на базе автономных источников электрической энергии (далее – электроэнергия) и предназначенных для обеспечения ею местных потребителей [1].

Каждое промышленное предприятие пытается оптимизировать свои затраты. Существует множество разных способов: модернизация производственных линий, снижение закупочных цен на сырье и материалы, реструктуризация статей затрат. У производств затраты на энергоресурсы составляют от 20 до 40% [2] себестоимости продукции.

Также предприятие сталкивается с такими проблемами:

– снижение качества электроэнергии. Отклонение показателей качества питающей сети может нарушить нормальный режим работы производственного оборудования, что может увеличить процент брака или полностью испортить продукцию;

– перебои электроснабжения. Летом начинается плановый ремонт и техническое обслуживание центральной системы электроснабжения согласно ПТЭЭП [3], что приводит к простоям технологических линий, так как предприятие не хочет рисковать продукцией и нарушать процесс производства. Также из-за устаревшего оборудования центрального электроснабжения происходят аварии, что может нарушить технологический процесс, и предприятие понесет убытки из-за брака продукции;

– рост тарифов на электроэнергию от 2 до 10% в год (пример роста цен на электроэнергию для промышленных предприятий в г. Кирове без НДС [4] приведен на рис. 1 и в табл. 1). Повышение нагрузки по оплате электроэнергии вынуждает производителя увеличивать затраты на производство продукции, снижая чистую прибыль предприятия.

Таблица 1

Стоимость электроэнергии в зависимости от потребляемой мощности предприятия

	Потребители с максимальной мощностью энергопринимающих устройств менее 670 кВт	Потребители с максимальной мощностью энергопринимающих устройств от 670 кВт до 10 МВт	Потребители с максимальной мощностью энергопринимающих устройств не менее 10 МВт
	руб/кВт·ч		
01.12.2021	7,72	7,39	7,39
01.12.2020	7,59	7,15	7,14
01.12.2019	6,96	6,76	6,76
01.12.2018	6,42	6,35	6,29

На определённом этапе развития предприятие осознает, что может уменьшить свои затраты, построив свой автономный источник выработки электроэнергии. На сегодняшний день выпускаются различные опробованные автономные источники электроэнергии: газопоршневые установки, солнечные батареи, ветрогенераторы, дизельные и бензогенераторы, аккумуляторные батареи и т. д.

Причинами проведения данных исследований являются некачественная электроэнергия и перебои в электроснабжении, постоянный рост тарифов на электроэнергию, что вынуждает потребителей рассматривать альтернативные варианты электроснабжения.

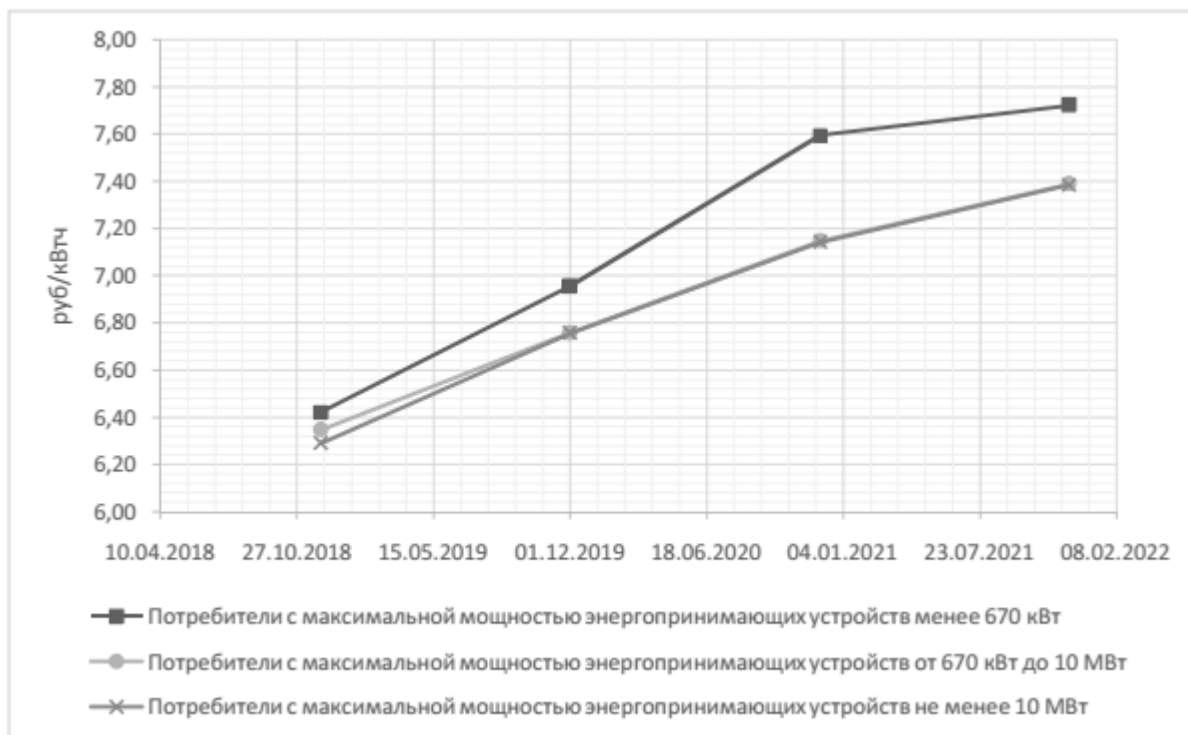


Рис. 1. Рост цен на электроэнергию

Цель исследования – выявление причин необходимости установки автономных источников электроэнергии и оценка экономической целесообразности их применения.

Задачи исследования: 1. Изучить причины необходимости установки автономного источника электроэнергии. 2. Выявить положительные и отрицательные стороны установки собственного источника питания. 3. Произвести расчет срока окупаемости газопоршневой установки.

Методы исследования. Объектом исследования являются автономные источники электроэнергии. В данной работе для решения поставленных задач применяются методы анализа и синтеза.

Результаты исследований и их обсуждение. Далее приводится расчет размера экономии электроэнергии при установке ГПУ. Исходные параметры для расчета размера экономии электроэнергии приведены в табл. 2.

Исходные параметры для расчета

Наименование	Единица	Величина
Количество газопоршневых установок	шт.	2
Количество паровых котлов	шт.	0
Установленная электрическая мощность энергокомплекса	кВт эл.	2400
Удельная проектная стоимость строительства	руб./кВт	77 568,38
Общая стоимость энергокомплекса	руб.	186 164 103,00
Тариф на электроэнергию (с НДС)	руб./кВт ч	6,10
Стоимость газа (с НДС)	руб./м ³	6,80
Расход газа в час двух газопоршневых установок TCG2020V12	м ³ /ч	578
Средняя зарплата персонала (с учётом отчислений)	руб./мес	50 000,00
Количество персонала	чел.	4
Расчетный период	лет	8
Моточасы в году (исключая сервисное обслуживание)	ч/год	8500
Средний коэффициент утилизации тепла (от 0,0 до 1,0)		0,53
Средний коэффициент загрузки		0,53
Стоимость сервисного обслуживания энергокомплекса в месяц	руб.	990 490,00
Общая стоимость сервисного обслуживания ЭК в год	руб./год	11 885 880,00

1. Плюсы автономного энергоснабжения:

– экологичность (при производстве электроэнергии из возобновляемых источников, а также преимущества за счет снижения использования ископаемого топлива и выбросов);

– независимость электроснабжения предприятия, в т. ч.:

- качество электроэнергии зависит от предприятия, на котором установлен автономный источник электроэнергии. Нет необходимости беспокоиться о непредвиденном отключении или скачке напряжения, который может вывести из строя чувствительное оборудование;

- количество электроэнергии зависит только от владельца автономного источника;

– возможность продажи излишков электроэнергии при ее производстве больше потребляемой;

– уменьшение стоимости электроэнергии.

Минусы автономных источников электроэнергии:

– большие капитальные вложения;

– самостоятельное обслуживание, стоимость обслуживания полностью ложится на владельца или на подрядную организацию;

– возобновляемые источники обладают высокой прерывистостью в генерации энергии (например, ветрогенераторы и солнечные батареи зависят от метеорологических условий), что остаётся серьёзной проблемой, согласование энергоснабжения со спросом требует диспетчеризации и гибкого энергоснабжения;

– некоторые автономные источники нельзя регулировать, например, ветровые установки вырабатывают электроэнергию при определённой скорости и продолжительности ветра;

– ограничение области применения, так как не все источники электроэнергии пригодны для использования во всех регионах России, например, необходимо заранее проводить обследование освещённости для солнечных батарей;

– дополнительная экономия, например, при использовании газопоршневой установки можно утилизировать тепло, что увеличивает экономию денежных средств;

– обойтись без центрального энергоснабжения, что требует очень больших материальных затрат, так как необходимо предусмотреть резервное питание.

При подборе автономного источника электроэнергии предприятие руководствуется несколькими моментами: возможность функционирования оборудования (например, метеорологические условия для солнечных батарей и ветровых установок), стоимость оборудования, стоимость строительства, стоимость выработки электроэнергии, затраты на эксплуатацию, сроки окупаемости, надёжность оборудования.

2. Методика расчета

Часовое потребление газа энергокомплекса, м³/час:

$$V_{\text{ч}} = V \cdot K_3, \quad (1)$$

где V – расход газа в час двух газопоршневых установок, м³/ч;

K_3 – коэффициент загрузки установки.

Производимое количество электроэнергии в год, кВт ч/год:

$$W = P_{\Sigma} \cdot K_3 \cdot h, \quad (2)$$

где P_{Σ} – суммарная электрическая мощность энергокомплекса;

h – моточасы в год, ч.

Годовое потребление газа энергокомплексом, м³/год электроэнергии:

$$V_r = V_q \cdot h. \quad (3)$$

Расходы за год эксплуатации энергокомплекса, руб./год:

$$\sum Z_p = Z_r + Z_{с/об} + Z_{зн} \quad (4)$$

где Z_r – затраты на покупку природного газа;

$Z_{с/об}$ – среднегодовые затраты на сервисное обслуживание;

$Z_{зн}$ – затраты на зарплату обслуживающего персонала.

Годовые затраты на приобретение эквивалентного количества, руб./год:

$$Z_{эк} = C \oplus W, \quad (5)$$

где C – стоимость электроэнергии, руб/(кВт⊕ч);

Годовая экономия при эксплуатации энергокомплекса, руб./год:

$$\mathcal{E} = Z_{эк} - \sum Z_p, \quad (6)$$

Стоимость выработки электроэнергии газопоршневой установкой, руб./кВт ч:

$$C_3 = \frac{\sum Z_p}{W}, \quad (7)$$

Срок окупаемости, лет:

$$T_{ок} = \frac{Z}{\mathcal{E}}, \quad (8)$$

где Z – общая сумма капиталовложений, тыс. руб. Равна общей стоимости энергокомплекса.

Далее в табл. 3 приводится пример расчетов размера экономии и срока окупаемости для объекта с двумя газопоршневыми установками.

Таблица 3

Расчет размера экономии и срока окупаемости для объекта с двумя газопоршневыми установками

Наименование	Единица измерения	Величина
Часовое потребление газа энергокомплекса	м ³ /ч	306
Производимое количество электроэнергии в год	кВт ч/год	10 812 000
Годовое потребление газа энергокомплексом	м ³ /год	2 603 890

Окончание табл.

Наименование	Единица измерения	Величина
Годовые расходы на эксплуатацию энергокомплекса:		
покупка природного газа	руб./год	17 706 452,00
среднегодовые затраты на сервисное обслуживание	руб./год	11 885 880,00
зарплата обслуживающего персонала	руб./год	2 400 000,00
Всего расходы за год эксплуатации энергокомплекса:	руб./год	31 992 332,00
Годовые затраты на приобретение эквивалентного количества:		
электрической энергии от сетей	руб./год	65 953 200,00
Годовая экономия при эксплуатации энергокомплекса:		
при производстве собственной электроэнергии	руб./год	33 960 868,00
Себестоимость электроэнергии	руб./кВт ч	2,96
Срок окупаемости энергокомплекса	лет	5,48

Таким образом, по результатам расчетов срок окупаемости мероприятий по установке двух газопоршневых установок составил 5,5 года.

Выводы. Автономные источники электроэнергии – это способ уменьшить расходы на электроэнергию, который при правильном выборе поможет сэкономить денежные ресурсы, улучшить качество электроэнергии.

Произведен расчет размера экономии электроэнергии при установке газопоршневой станции, который показывает, что проект окупится за 5,5 года, при этом нужно принять во внимание, что в расчете не была учтена выработка тепла, которая позволит дополнительно уменьшить срок окупаемости.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности при планировании установки собственного источника питания.

Библиографический список

1. Автономные системы электроснабжения. URL: <https://mensh.ru/articles/avtonomnye-sistemy-elektrosnabzheniya> (дата обращения: 04.02.2022).
2. Кудрин Б. И., Прокопчик В. В. Электроснабжение промышленных предприятий. М., 2014. 359 с.
3. ПТЭЭП Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : Приказ № 6 от 13 января 2003 года: с изменениями на 13 сентября 2018 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 04.02.2022).
4. Тарифы и нормативы для юридических лиц. URL: <https://kirov.esplus.ru/tariffs/kirov/ur/> (дата обращения: 04.02.2022).
5. Газопоршневая электростанция (ГПУ) MWM TCG 2020V12. URL: <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/mwm-tcg-2020-v12-1200-kvt/> (дата обращения: 04.02.2022).

Создание линейки электродвигателей серии ДБУ отечественного производства

А. Д. Шешин

аспирант группы ЭиТа-18044-08-00.

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация.

E-mail: stud145658@vyatsu.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос актуальности разработок бесконтактных управляемых электродвигателей. Представлен опыт АО «ЛЕПСЕ» в области создания управляемых бесконтактных двигателей. Описаны преимущества управляемых бесконтактных двигателей над коллекторными. Показаны примеры программных продуктов, используемых для расчетов и моделирования. Приведены характеристики линейки бесконтактных управляемых электродвигателей отечественного производителя. Представлены характеристики линейки бесконтактных управляемых электродвигателей зарубежного производителя. Показана сравнительная таблица характеристик (номинального напряжения, номинальной мощности, номинальной частоты вращения, номинального потребляемого тока, номинального момента, класса нагревостойкости, числа пар полюсов, момента инерции ротора, ограничения по максимальному току) данных линеек. Приведены некоторые данные о конструктивном исполнении и возможных режимах работы линейки АО «ЛЕПСЕ». Сделаны выводы об актуальности и необходимости разработок в области бесконтактных управляемых электродвигателей.

Ключевые слова: бесконтактный управляемый электродвигатель, линейка отечественного производства, оборонно-промышленный комплекс.

Введение. В настоящее время вентильные электродвигатели (ВД) становятся все более востребованными во многих сферах человеческой деятельности [1], например авиация, робототехника, морская техника, электроэнергетика, космические аппараты, техника межвидового назначения, железнодорожная техника, станкостроение, автомобилестроение. Это связано с развитием полупроводниковой техники, а также с развитием производства постоянных магнитов с высокими энергетическими показателями, позволяющими существенно повысить максимальные мощности электродвигателя. В то же время к приводам или иным исполнительным устройствам, где в качестве приводного двигателя используется ВД, предъявляются жесткие требования по обеспечению частоты вращения в широких диапазонах регулирования, малой массе, высоким энергетическим показателям, чем обеспечиваются преимущества над коллекторными электродвигателями. Данным требованиям отвечает бесконтактный управляемый электродвигатель (ДБУ).

Известно большое число иностранных разработок в области бесконтактных управляемых электродвигателей [2]. Несмотря на преимущества таких дви-

гателей над коллекторными, электродвигатели серии ДБУ начинают находить широкое применение в отечественной промышленности только в последние 10–12 лет. В настоящее время рынок таких электродвигателей представлен производителями азиатского сектора производства. Данный факт не позволяет применять такую продукцию в изделиях военной и специальной техники. В связи с этим перед отечественными предприятиями стоит задача производства электродвигателей серии ДБУ. Таким образом, их разработки актуальны.

Цель и задача – создание линейки электродвигателей серии ДБУ отечественного производства.

Методы исследования. Рассматриваются и описываются линейки отечественного и зарубежного производителей. Проводится сравнение некоторых характеристик бесконтактных управляемых электродвигателей.

Результаты исследований. Одним из предприятий, занимающихся разработкой и производством таких электродвигателей, является АО «ЛЕПСЕ». Данное предприятие имеет линейку вентильных электродвигателей серии ДБУ собственной разработки и производства. Ниже приведена сравнительная таблица некоторых параметров двигателей линейки АО «ЛЕПСЕ» и линейки одного из производителей азиатского региона [3].

Сравнительная таблица

Данные	Показатели АО «ЛЕПСЕ»	Показатели производителей азиатского региона
Номинальное напряжение, В	27–500	24–310
Номинальная мощность, Вт	46–42000	3,4–2070
Номинальная частота вращения, об/мин	1120–72000	3500–8000
Номинальный потребляемый ток, А	2,8–456	1,1–7,7
Номинальный момент, Н*м	0,030–200	0,080–6,6
Класс нагревостойкости	220	B–F
Число пар полюсов	2–5	2–5
Момент инерции ротора	$1,5e^{-7}$ – $8e^{-5}$	$0,7e^{-7}$ – $10e^{-5}$
Ограничение по максимальному току, А	15–300	0,5–30

Линейка АО «ЛЕПСЕ» позволяет использовать данные электродвигатели как в корпусном исполнении, так и в бескорпусном с внутренним ротором. Данные электродвигатели могут использоваться в качестве исполнительного органа или в составе механизма высокودинамичного рулевого электропривода,

высокодинамичных систем регулирования, систем кондиционирования воздуха. Кроме того, режим работы может соответствовать: S1 (продолжительный режим работы), S2 (кратковременный режим работы), S3 (периодический повторно-кратковременный режим работы). В качестве датчика положения ротора могут быть использованы: оптический датчик, вращающийся трансформатор, элементы холла, энкодер.

Выводы. Из анализа таблицы видно преимущество электродвигателей отечественного производства над электродвигателями производителей азиатского региона. Развитие подобных отечественных разработок позволяет увеличить силу оборонно-промышленного комплекса нашей страны. Если учесть тот факт, что для изделий оборонно-промышленного комплекса недопустимо использование комплектующих зарубежного производства, то наличие и развитие таких линеек электродвигателей является важной и актуальной задачей отечественной промышленности.

Библиографический список

1. Опыт создания вентильных индукторных машин и вентильных машин с постоянными магнитами и их применение в электротрансмиссиях / С. А. Пахомин, Ф. А. Реднов, Д. В. Крайнов и др. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. № 3. С. 5–11.
2. Brushless valve electric drive with minimum equipment excess for autonomous floating vehicle / Ya. B. Volyanskaya, S. M. Volyanskiy, O. A. Onischenko // Elektrotexnika I elektromexanika. 2017. Is. 4. Pp. 26–33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/brushless-valve-electric-drive-with-minimum-equipment-excess-for-autonomous-floating-vehicle-1> (accessed 01.02.2022).
3. Каталог электродвигателей. URL: <http://jkongmotor.com/product.html>.

Сити-ферма, или городское фермерство, и лазерные технологии будущего

Д. В. Широков^а, А. А. Муравьев^б, С. И. Фоломеев^с, А. А. Фоминых^д,
А. С. Попов^е

студент группы МРб-2801^{а, с}

студент группы МКб-1301^б

кандидат технических наук, декан электротехнического факультета^д

студент группы ТиТб-2801^е

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с, д, е}

E-mail: stud126365@vyatsu.ru^а, stud127024@vyatsu.ru^б

Аннотация. Внедрение проектной деятельности в программы университета позволяет отточить практические навыки студентов, развить творческие способности и профессионально значимые умения студентов. В данной статье представлены два реальных проекта, созданных студентами совместно с преподавателями Вятского государственного университета (ВятГУ). Первый проект направлен на решение проблем сельского хозяйства: нехватка свободной земли, непригодность различных широт для выращивания растений, а также зависимость некоторых культур от времён года, погодных условий и места посадки и т. д. Оптимальным решением данных проблем является использование сити-ферм. Они позволяют заполнить пустое и неиспользуемое пространство в городах, зданиях, домах, не зависят от природных условий, есть возможности настройки наиболее комфортных условий для посевов и мониторинга развития растения на всех его этапах. Вторым проектом является создание опытной модели лазера. Лазерные технологии повсеместно используются в разных сферах человеческой деятельности. Это связано в первую очередь с уникальной способностью лазеров концентрировать световую энергию в пространстве и широко ее использовать.

Ключевые слова: сити-ферма, Arduino Uno, лазер, прототип, проектная деятельность.

Введение. Сити-ферма, или городское фермерство, – это практика выращивания, переработки и распределения продуктов питания в городской местности или вокруг неё.

Возникло сити-фермерство в Сингапуре, где в первые была применена вертикальная система выращивания зелени на крыше небоскрёба. В дальнейшем это движение нашло своё практическое применение в Европе, США и ряде азиатских стран, так как оно решает не только проблемы ограниченности использования земель для культивации, но и множество других проблем современного сельского хозяйства. В России относительно недавно городское фермерство начало набирать популярность. Планируется развивать сити-фермы в 16 городах, а на данный момент идёт подготовка в 15, сообщает ТАСС [1]. Цель проекта – изучение и создание сити-фермы.

Вторым проектом является разработка опытного образца лазера. Сложно найти человека, который ни разу не слышал о лазерах, ведь на данный момент

множество отраслей жизнедеятельности человека связано с данным устройством.

Лазер – это оптический квантовый генератор, устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

На данный момент основными сферами применения лазеров являются:

- Производственная промышленность.
- Медицина.
- Информационная сфера.
- Военная промышленность.
- Научные направления и многое другое

Мы знаем, что с помощью света можно переносить информацию. По этому принципу работают установки с оптоволоконными проводниками, интернет-сети, различные оптические датчики. Если рассматривать коммуникативные средства Земли, то здесь всё более или менее успешно, но стоит задуматься о большем, и перед нами предстанет проблема качественной космической связи.

Что, если вместо огромных антенн и сотен киловатт энергии потребления мы возьмём маленькую лазерную указку и с помощью планшета или ноутбука передадим нужную информацию на другую сторону Солнечной системы?

Разумеется, это не так-то просто! Конечно, если собрать всю энергию сигнала, что посылает современная космическая радиостанция, в одну точку и сфокусированным лучом направить, к примеру, «Вояджеру-2», который на данный момент подошёл к границе Солнечной системы, мы смогли бы передать, а если оснастить и его, то и получить гораздо больше информации с минимальными отклонениями в точности.

Основной проблемой передачи данных является сложность сопоставления источника и приёмника такого сигнала. На данный момент в мире часто используются узконаправленные передатчики, но из-за более плотного потока и высокой энергии лазеры могут увеличить возможности обмена данных. Решение данной проблемы уже имеет место в теории.

Также данный проект можно использовать и в промышленности, цель которого – улучшить различные критерии лазерных агрегатов.

Методы исследования. В процессе изучения сити-ферм команда проанализировала несколько систем полива [2]:

1. Принцип подпора, заключающийся в том, что питательный раствор постоянно находится лишь в нижнем слое субстрата. Растения получают полезные вещества через корни.

2. Принцип периодического затопления. Работа заключается в том, что ёмкость с растением погружается на некоторое время в питательный раствор, субстрат пропитывается питательными веществами, после чего раствор сливается.

3. Принцип полива сверху. В данном случае раз в некоторое время растения поливают питательным раствором.

Наилучшим вариантом для выращивания растения являются светодиодные ленты с красным и синим спектром в соотношении 5:1 [3].

Во время работы над проектом были проведены опросы среди студентов ВятГУ с целью выяснить, насколько они осведомлены о сити-фермах (рис. 1), и узнать их отношение к появлению городского фермерства в жизни общества (рис. 2).

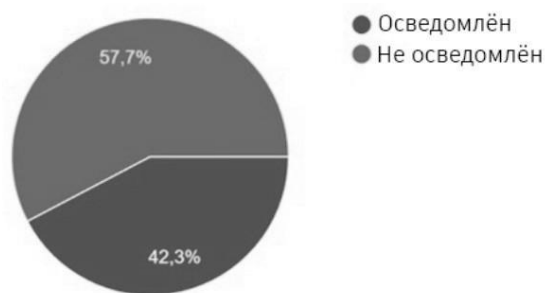


Рис. 1. Опрос осведомлённости

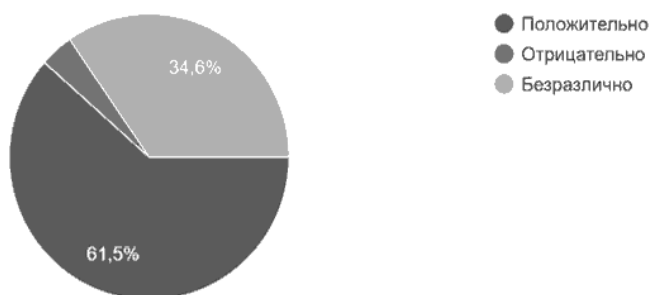


Рис. 2. Опрос отношения

В процессе изучения лазера были проведены:

1. Постройка функционального стенда.
2. Наблюдение процессов охлаждения и излучения световых волн.
3. Снятие показаний.

Результаты. В результате разработки сити-фермы был выбран компактный вариант гидропонной фермы с автоматической системой полива сверху, привязанной к датчику влажности. Вся система управляется с помощью платы Arduino Uno. Для наглядности была сделана схема конструкции (рис. 3).

Написан и загружен в Arduino скетч. С помощью него плата в зависимости от показания датчика влажности включает и выключает погружной водяной насос, а также управляет светом. По этому принципу был собран прототип данной фермы (рис. 4).

Корпус представляет собой три контейнера. В самом крупном из них будет находиться вода и к нему же будут прикреплены остальные контейнеры. В среднем будет находиться субстрат с семенами. Самый маленький прикреплен сбоку и содержит в себе электрические компоненты. Техническая часть состоит из модуля Arduino UNO, управляет датчиком влажности, светодиодной лентой и погружным насосом.

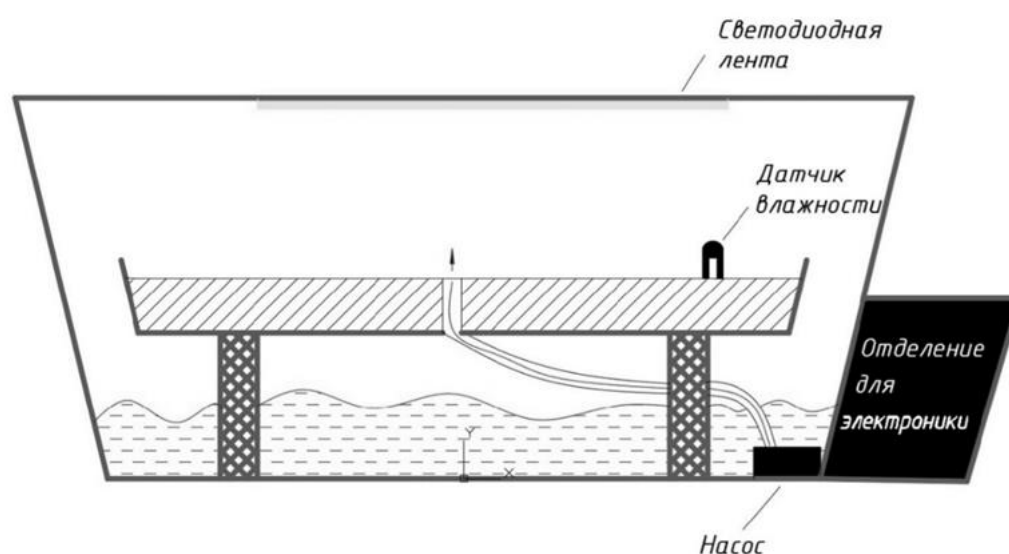


Рис. 3. Схема



Рис. 4. Прототип

Результатом второго проекта является прототип лазера, созданный в стенах ВятГУ. Студент самостоятельно занимался подбором комплектующих и их сборкой.

Главным элементом всей схемы является полупроводниковый лазерный диод мощностью 4,75 Вт. Для достижения низких температур используются термоэлектрические модули «пельтье», температура которых может достигать до -55 градусов по Цельсию [5]. Для отвода теплоты от охлаждающих модулей используется водяная система охлаждения, состоящая из двух водоблоков, расширительного бака, медно-алюминиевых радиаторов и воздушных вентиляторов.

Для повышения оптической мощности квантового генератора его рабочую температуру нужно опустить в область отрицательных значений. В случае с полупроводниковым лазерным диодом повышение мощности будет выражаться в изменении длины волны излучаемого света и повышении потребления электропитания. В данной модели созданы условия пониженной температуры для наблюдения зависимости.

На термоэлектрический прибор подаётся напряжение, вследствие чего с одной из его обкладок начинают срывать электроны и устремляться к противоположной стороне. Как мы знаем, элементарные частицы несут в себе энер-

гию и имеют определённый потенциал. Из-за этого одна плоскость модуля теряет тепло, а другая его принимает. Для лучшего отвода тепловой энергии с горячей стороны используется водяная система охлаждения, рабочим телом которой является дистиллированная вода (это снижает коррозию радиаторов и повышает срок службы системы). При более интенсивном отводе теплоты с горячей стороны холодная также снизит свою температуру. Нагретая вода отдаёт тепло в окружающую среду посредством радиаторов и принудительного обдува, после чего цикл начинается сначала. Данные модули служат для изменения рабочей температуры самой лазерной головки, что является объектом данного исследования.

Вследствие понижения температуры монохроматическое излучение генератора начинает изменять свою частоту в большую, а длину волны в меньшую сторону, стремясь в область ультрафиолетового спектра [4]. На данный момент из-за значительно высоких температур ($-23 - -25^{\circ}$) не удастся достичь теоретического результата. Пример прототипа изображен на рис. 5–6.

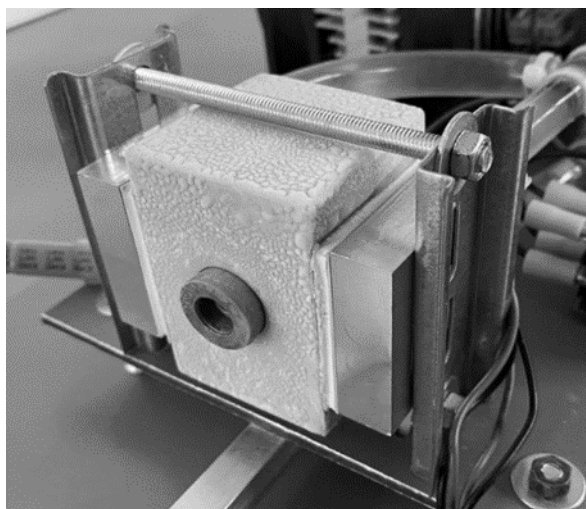


Рис. 5. Охлаждение лазерного модуля

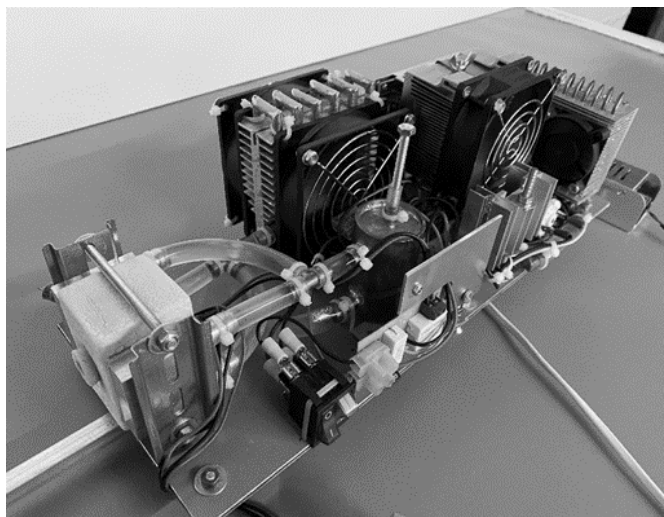


Рис. 6. Экспериментальная установка по изучению зависимости

Вывод. Прототип Сити-фермы был представлен на защите проектов Политехнического института ВятГУ в 2021 г. Более того, было произведено сравнение функционала и цены с аналогом в виде LUXBIRD (см. таблицу).

Сопоставление результатов

Характеристика	Прототип	LUXBIRD
Ёмкость для воды	3,5 литра	4,5 литра
Способ выращивания	гидропоника	Гидропоника
Высота роста	150 мм	500 мм
Свет	Светодиодная лента полного спектра 12 Вт	Светодиодный светильник полного спектра 36 Вт
Наличие нескольких режимов роста	Нет	Да
Цена	1 000 руб.	От 7 000 руб.

Проанализировав полученный результат, делаем вывод: разработанный студентами прототип сити-фермы является более дешёвым по сравнению с зарубежными аналогами, при этом имея схожий функционал.

В дальнейшем команда проекта планирует усовершенствовать прототип: добавить возможность настраивать освещённость и подачу воды, а также разработать систему управления и считывания показателей по WI-FI.

По итогу работы над проектом «Лазерные технологии будущего» был создан рабочий прототип. В ближайшее время планируется создать рабочий многофункциональный прототип аппарата для сварки и резки различных материалов на основе лазерного полупроводникового модуля. Основной упор будет сделан на безопасность, КПД и стоимость агрегата.

На данный момент все сварочные аппараты имеют различную стоимость в зависимости от назначения. Лазерные станки смогут заменить некоторые виды инверторов, а также обеспечат более безопасную работу, разумеется, с соблюдением техники безопасности при эксплуатации.

Библиографический список

1. В Worldskills Russia сообщили, что развитием сити-фермерства займутся в 16 городах России. URL: <https://tass.ru/obschestvo/7772541> (дата обращения: 19.03.2021).
2. Гидропоника: основные методы и способы выращивания огородных культур дома. URL: <https://www.rmnt.ru/story/garden/gidroponika-osnovnye-metody-isposoby-vyraschivaniya-ogorodnyx-kultur-d.588931/> (дата обращения: 15.04.2021).
3. Светодиодные ленты для растений URL: <https://leds-test.ru/svetodiodnye-lenty-dlya-rastenij/> (дата обращения: 29.04.2021).
4. Влияние температуры на когерентность излучения полупроводниковых лазеров. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-temperatury-na-kogerentnost-izlucheniya-poluprovodni-kovyh-lazero> (дата обращения: 12.5.2021).
5. Всё о модулях Пельтье. URL: <https://www.ixbt.com/cpu/peltje.html> (дата обращения: 17.4.2021).

Применение преобразователя Кука с корректором коэффициента мощности для электропривода постоянного тока

И. А. Шураков^а, Ю. Г. Пономарев^б, Н. И. Присмотров^с

младший научный сотрудник, аспирант группы ЭиЭа-2801^а

кандидат технических наук, ведущий инженер^б

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ЭПиАПУ^с

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: usr10365@vyatsu.ru^а, ponomarev@vyatsu.ru^б, prismotrov@vyatsu.ru^с

Аннотация. В статье рассматриваются пути повышения качества потребляемой электроэнергии от однофазных источников переменного напряжения с нелинейной нагрузкой. Применение преобразователя Кука с активным корректором коэффициента мощности при питании электропривода постоянного тока от однофазной сети с неуправляемым выпрямителем демонстрирует высокие показатели качества электроэнергии. В статье представлены математические модели, а также экспериментальные исследования двух систем питания электропривода постоянного тока. Продемонстрирован режим прерывистого напряжения на разделительном конденсаторе преобразователя Кука для работы в качестве активного корректора коэффициента мощности. При помощи снятия показателей качества, а также формы входного тока и анализа его гармонического состава доказана применимость данной компоновки электротехнического устройства в качестве питания постоянного тока и повышение коэффициента искажения до 0,98%.

Ключевые слова: активный ККМ, преобразователь Кука, высшие гармоники, энергосбережение, коэффициент мощности.

Введение. Современное состояние топливно-энергетического комплекса мотивирует проведение более интенсивных исследований в области энергосбережения. Все больше внимания уделяется вопросам повышения надежности и качества электроэнергии.

Наличие в электроприборах нелинейных элементов приводит к появлению высших гармоник напряжений и токов. Включение в устройство неуправляемого выпрямителя с конденсатором, служащим для накопления энергии и уменьшения пульсации в звене постоянного тока, приводит к потреблению тока из сети с содержанием высших гармоник, что, в свою очередь, ведет к снижению коэффициента мощности.

Наличие высших гармоник в сетевом токе также обостряет проблему электромагнитной совместимости (ЭМС). Для бытовых приборов и электроинструмента допустимый уровень высших гармоник должен соответствовать требованиям по ЭМС, изложенным в ГОСТ 30804.3.2-2013 [1].

Наиболее эффективным способом повышения качества энергопотребления является применение систем коррекции коэффициента мощности (ККМ) [2,

4]. Данные системы представляют собой устройство, установленное в силовые цепи электроустановок, понижающее циркуляцию реактивной мощности и искажений формы тока питающей сети.

Применение активных ККМ позволяет получить наилучшее качество входного тока. Методы активной коррекции позволяют достигнуть коэффициента мощности близкого к единице и ТНД тока менее 5%.

Появление повышающе-понижающего преобразователя Кука, как показано в исследованиях С. Кука и П. Г. Поликарпова [3], позволяет реализовать функцию ККМ с непрерывной передачей входной и выходной энергии.

Методы исследования. В классической теории энергетических процессов, определяющей циркуляцию энергии в цепях с несинусоидальными токами и напряжениями, полная мощность определяется:

$$S=UI=P^2+Q^2+D^2, \quad (1)$$

где P – активная мощность; Q – реактивная мощность; D – мощность искажений.

Реактивная мощность, или мощность сдвига Q , обусловлена сдвигом по фазе основной гармоники тока относительно напряжения питающей сети. Она не участвует в передаче мощности нагрузке, так как среднее значение мгновенной мощности за период, обусловленное этой составляющей тока, равно нулю.

Мощность искажений D обусловлена протеканием гармоник тока, не совпадающим по частоте с напряжением сети. D , аналогично реактивной мощности, не участвует в передаче мощности нагрузке, но вызывает дополнительные потери энергии в питающей сети.

К энергетическим показателям выпрямителей со стороны сети переменного тока относят: коэффициент мощности, коэффициент сдвига и гармонический состав входного тока.

Применение преобразователя Кука с функцией активного ККМ для питания электропривода постоянного тока наиболее предпочтительно рассмотреть на сравнении двух способов питания данного электропривода.

Предлагается рассмотреть системы питания двигателя постоянного тока GR 53x58 [5] при питании от однофазной сети с неуправляемым выпрямителем с понижающим преобразователем напряжения и преобразователем Кука.

Сравнение систем питания происходит посредством снятия энергетических показателей потребления электроэнергии с компьютерных моделей, выполненных в программном пакете MatLab/Simulink, представленных на рис. 1, 2.

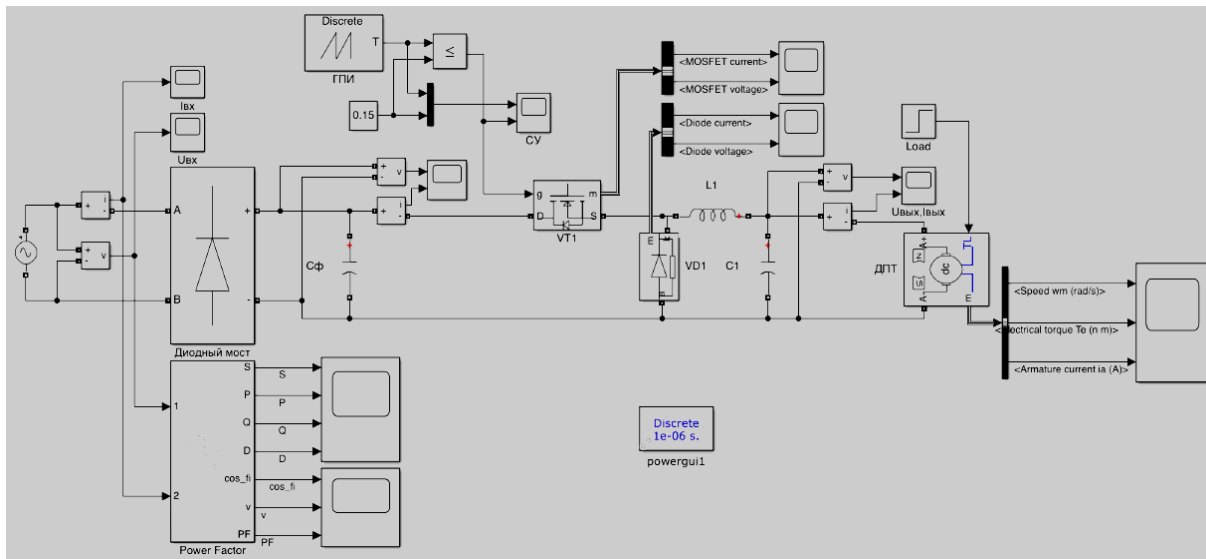


Рис. 1. Модель электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с понижающим преобразователем

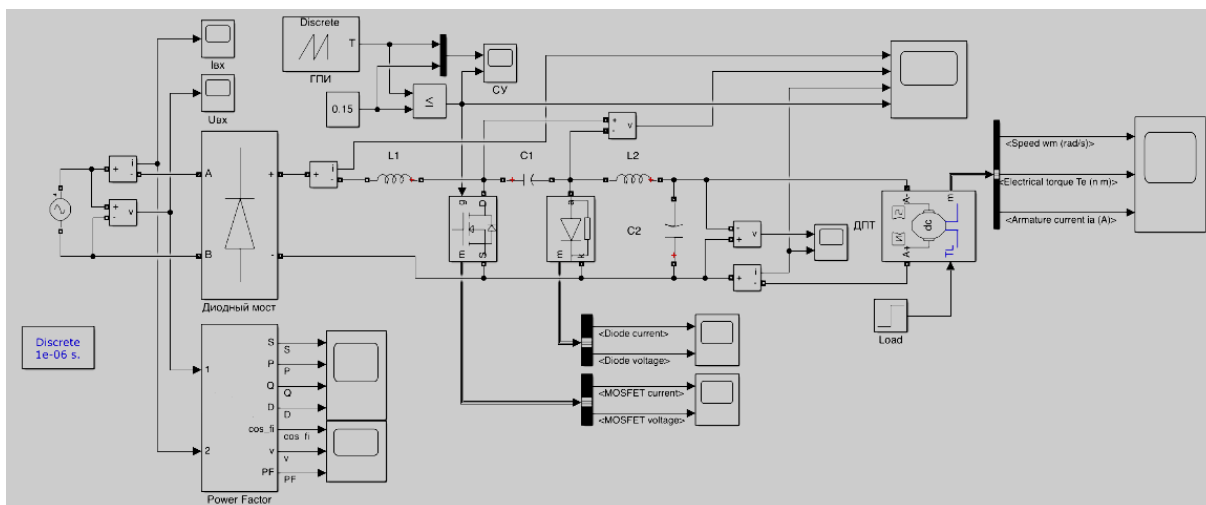


Рис. 2. Модель электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с преобразователем Кука

Результаты исследований, их обсуждение. Моделирование и анализ показателей электродвигателя постоянного тока при питании от неуправляемого выпрямителя с понижающим преобразователем демонстрируют несинусоидальность потребления тока из сети, что указывает на содержание высших гармоник тока (рис. 3).

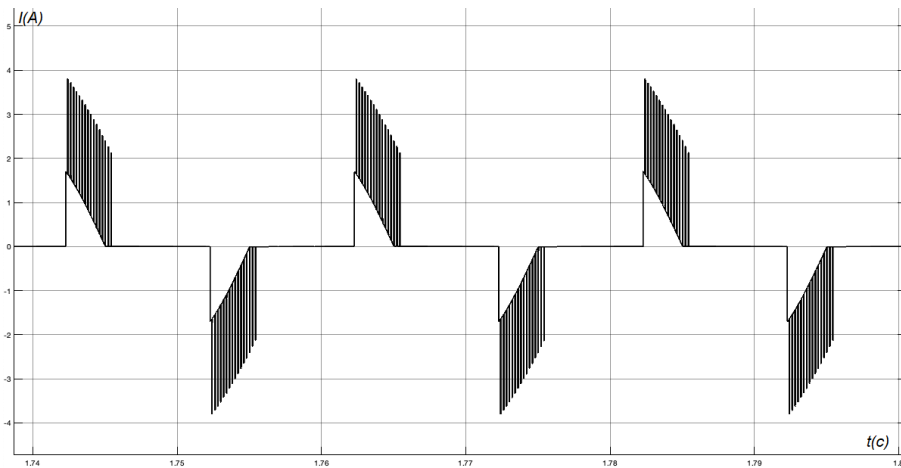


Рис. 3. Временная диаграмма входного тока электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с понижающим преобразователем

Замена понижающего преобразователя на преобразователь Кука, работающий в режиме прерывистого напряжения на разделительном конденсаторе (РПНК), рис. 4, обеспечивает форму потребляемого тока близкую к синусоидальной (рис. 5).

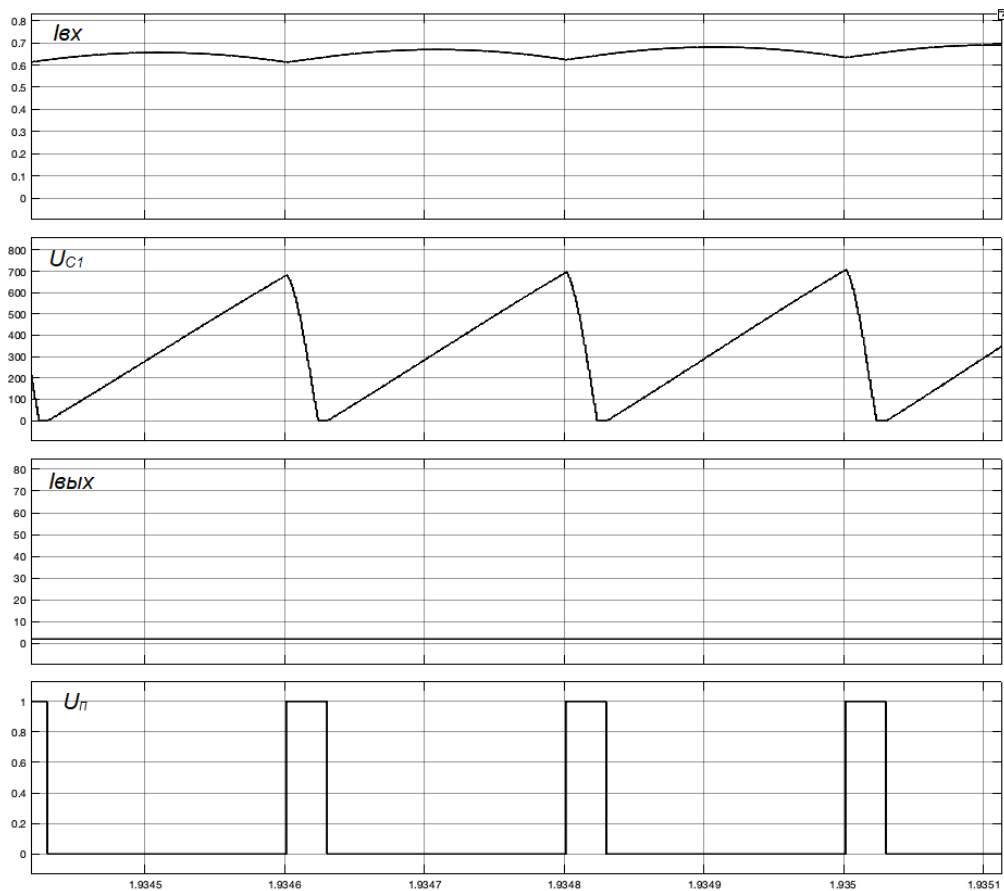


Рис. 4. Временная диаграммы токов и напряжений на реактивных элементах преобразователя Кука в РПНК

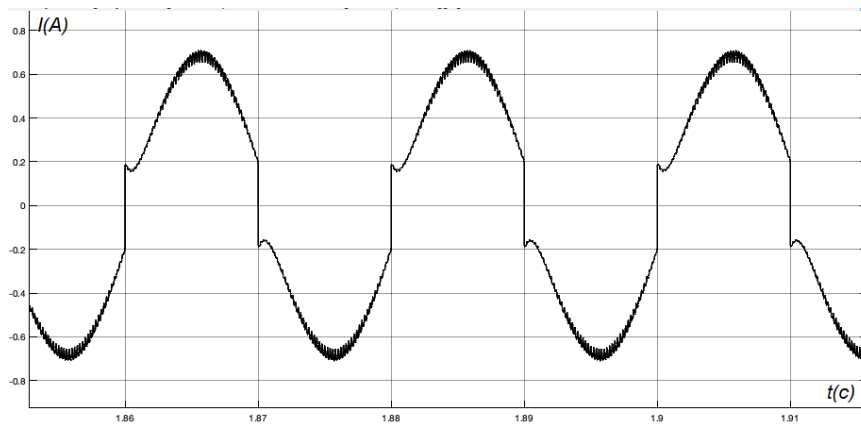


Рис. 5. Временная диаграмма входного тока электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с преобразователем Кука

Количественная оценка потребляемого тока определяется посредством разложения формы тока в ряд Фурье. Из спектрограмм (рис. 6 и 7) видно, что происходит уменьшение суммарным коэффициентом гармонических искажений (THD) с 139,40% при понижающем преобразователе до 13,27%. Данный факт подтверждает и уменьшение магнитной составляющей высших гармоник в 10 раз при преобразователе Кука с функцией ККМ, что говорит об улучшении потребляемой энергии и значительном уменьшении влияния высших гармоник тока.

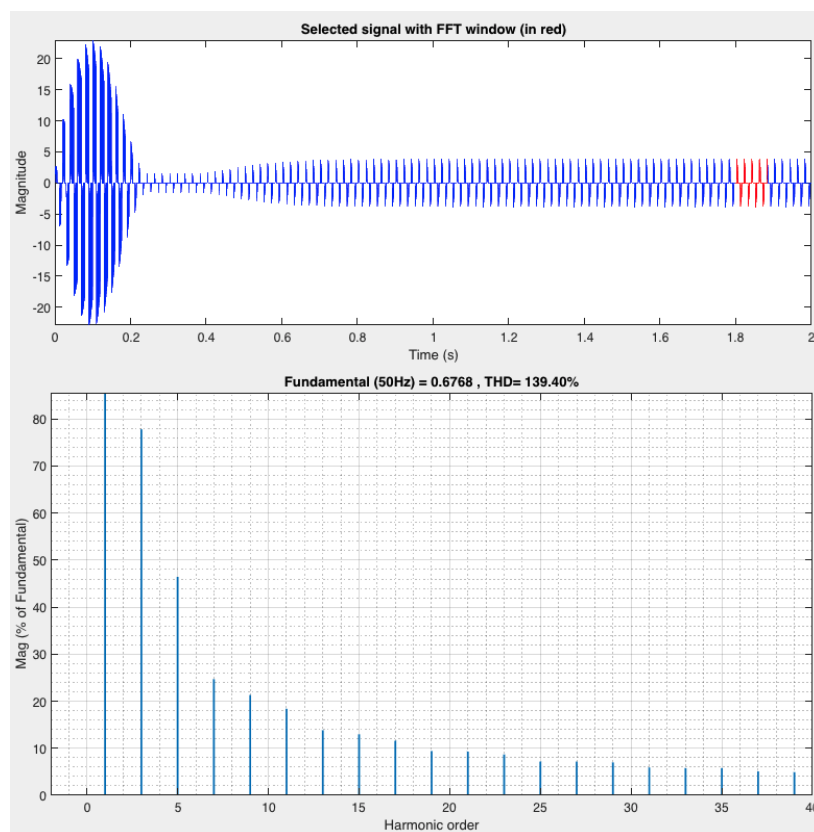


Рис. 6. Спектрограмма входного тока электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с понижающим преобразователем

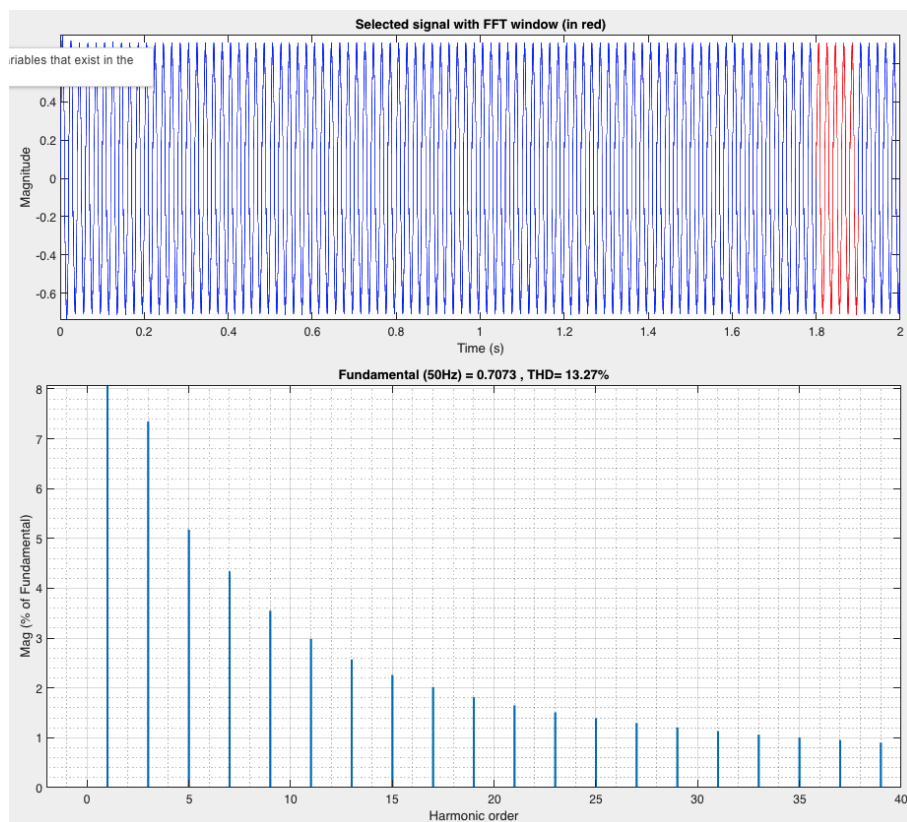


Рис. 7. Спектрограмма входного тока электропривода при питании от неуправляемого выпрямителя с преобразователем Кука

Выводы. Результаты моделирования системы с понижающим преобразователем и преобразователем Кука с ККМ показывают необходимость и важность рассмотрения качества потребления электроэнергии. Использование преобразователя Кука с ККМ в электротехнических устройствах позволяет на порядок снизить суммарные гармонические искажения (THD) потребляемого из сети тока, достичь практически полной его синфазности с питающим напряжением и, как следствие, увеличить коэффициент искажения с 0,51 до 0,98 для представленных систем.

Применение преобразователя Кука с функцией ККМ в звене постоянного тока и нелинейной нагрузкой является перспективным устройством, позволяющим обеспечить требуемое качество энергопотребления с минимальным количеством элементов построения электротехнического устройства.

Библиографический список

1. ГОСТ 30804.3.2-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2014.

2. Пономарев Ю. Г. Разработка и исследование энергоэффективных электроприводов средств малой механизации : дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2018.
3. Cuk S., Middlebrook R. D. A New Optimum Topology Switching DC To DC Converter // IEEE Power Electronics Specialists Conference. 1977. Pp. 160–179.
4. Модель корректора коэффициента мощности в составе специализированного ПЧ / Н. И. Присмотров, Ю. Г. Пономарев, Е. Н. Пировских, Н. В. Садаков // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 : в 2 т. (7–9 октября 2014 г., г. Саранск). Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т. 2. С. 246–250.
5. Каталог мехатроника. URL: http://oопromsnab.narod.ru/avtomat/katalog/mehatronika_1.pdf (дата обращения: 04.02.2022).
6. Пономарев Ю. Г., Охапкин С. И., Шураков И. А. К вопросу реализации активных корректоров коэффициента мощности для однофазной питающей сети // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems : сб. науч. ст. по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 27 августа 2021 года. Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр "Вестник науки"», 2021. С. 55–65.
7. Шураков И. А., Охапкин С. И., Пономарев Ю. Г. Применение спектрального анализа для оценки энергетических показателей частотно-регулируемого асинхронного электропривода // Результаты современных научных исследований и разработок : сб. ст. XIV Всерос. науч.-практ. конф., Пенза, 27 августа 2021 года. Пенза : Наука и просвещение, 2021. С. 37–40.

Влияние компонентов на параметры вулканизации полимерных композиционных материалов

Ю. В. Юркин^а, Р. С. Рогожкин^б, Д. А. Варанкина^с

кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и машин^а,

студент группы СТМ-2802-03-00^б,

студент группы СТМ-2801-01-00^с,

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{а, б, с}

E-mail: yurkin@vyatsu.ru^а, stud123852@vyatsu.ru^б, stud123860@vyatsu.ru^с

Аннотация. Вулканизация – это сложный технологический процесс, превращающий пластичный каучук в резину. При этом форма изделия фиксируется, материал становится более эластичным, прочным и твердым. Резину после вулканизации сложно разорвать, ее эксплуатационные характеристики улучшаются, а выносливость достигает невероятных параметров. Цель статьи – определить влияние различных компонентов на параметры вулканизации полимерных композиционных материалов. В статье приводятся исследования изменения жёсткости и времени вулканизации резиновых смесей в зависимости от количества наполнения вулканизирующего агента, пластификатора или замены базового полимера. Установлено влияние вулканизирующего агента (тиурама), пластификатора (индустриального масла), базового полимера на резиновую смесь при вулканизации. Для исследования применялся реометр Rheo-Line Moving Die Rheometer. На основании результатов испытаний, представленных в виде графиков кривой вулканизации, были сделаны выводы о влиянии различных компонентов на резиновую смесь.

Ключевые слова: вулканизация, резиновая смесь, жёсткость полимерного материала, каучук.

Введение. Основными факторами, влияющими на формирование пространственной вулканизационной структуры, являются условия проведения вулканизации (тепло- и энергоносители с различными физическими параметрами), давление, температура, продолжительность процесса и состав полимерной композиции. С точки зрения тепловых условий вулканизация протекает при переменных температурах и характеристиках теплообмена [2]. Выбор температурно-временных параметров вулканизации в значительной степени определяет качество вулканизуемых изделий, для установления которых необходимо изучение специфических свойств изделий и характеристик технологического процесса вулканизации.

Целью данной работы являлось определение влияния различных компонентов на параметры вулканизации полимерных композиционных материалов.

Методы исследования. В качестве объекта исследования для определения параметров вулканизации была выбрана резиновая смесь, состоящая из следующих компонентов (см. таблицу).

Состав базовой смеси

№	Материал	Массовая доля
1	Бутилкаучук БК-1675Н	100
2	Вулктив С-1	5
3	Нефтяное масло И-40	61,5
4	Тиурам	1,5
5	Мел	192,3
6	Технический углерод П-803	38,5
7	Микросферы	10
8	Сера молотая	1,5

Определение кинетики вулканизации резиновых смесей проводилось с помощью реометра (Rheo-Line Moving Die Rheometer (ф. Prescott)).

Результаты исследований, их обсуждение. Приготовление смесей, подготовка образцов и вулканизация проводились согласно ГОСТ 30263-96.

На графике представлена кривая вулканизации при 160 градусах Цельсия в течение 20 минут (рис. 1). Коричневая линия на графике S' является значением крутящего момента и показывает, как изменяется жесткость материала с течением времени в процессе вулканизации.

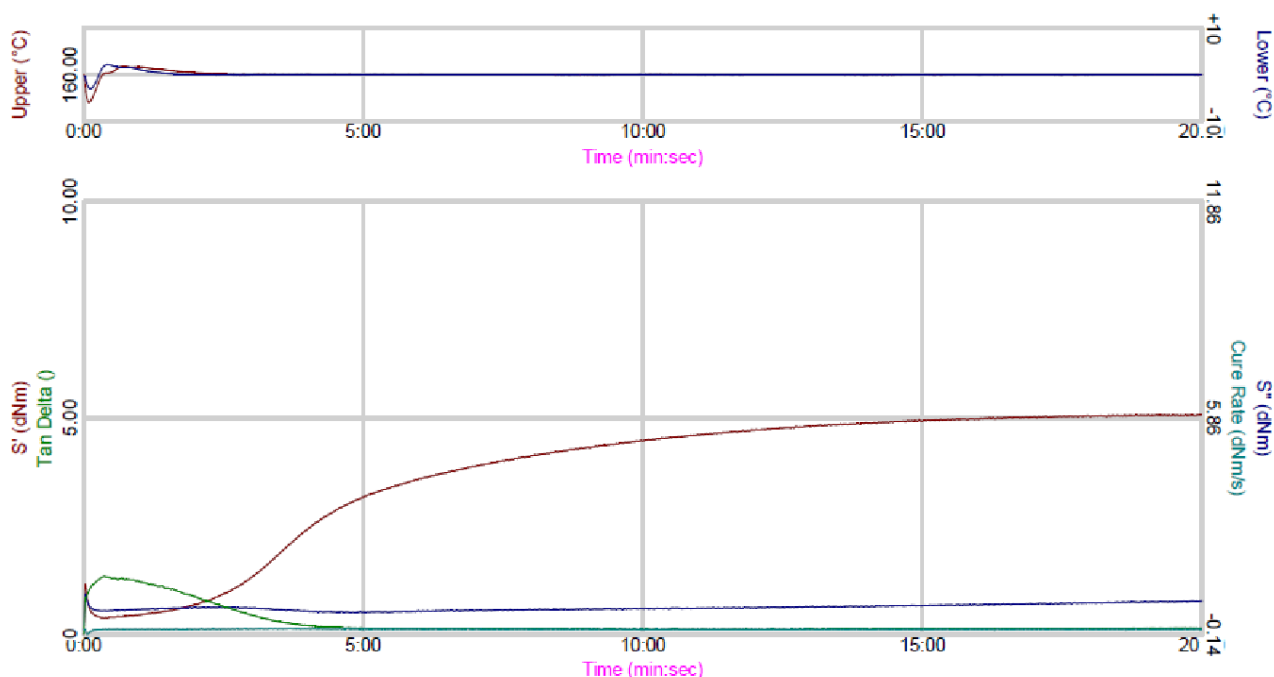


Рис. 1. Кривая вулканизации при 160 градусах Цельсия в течение 20 минут

По графику видно, что уже к 15-й минуте материал полностью вулканизовался и дальнейшего роста жесткости материала не происходит.

Далее было проведено исследование, как влияет количество вулканизирующего агента на жесткость и скорость вулканизации. Ниже представлена кри-

вая вулканизации для того же состава, что описан выше, но с количеством тиурама не 1,5, а 5 г на 100 г каучука (рис. 2).

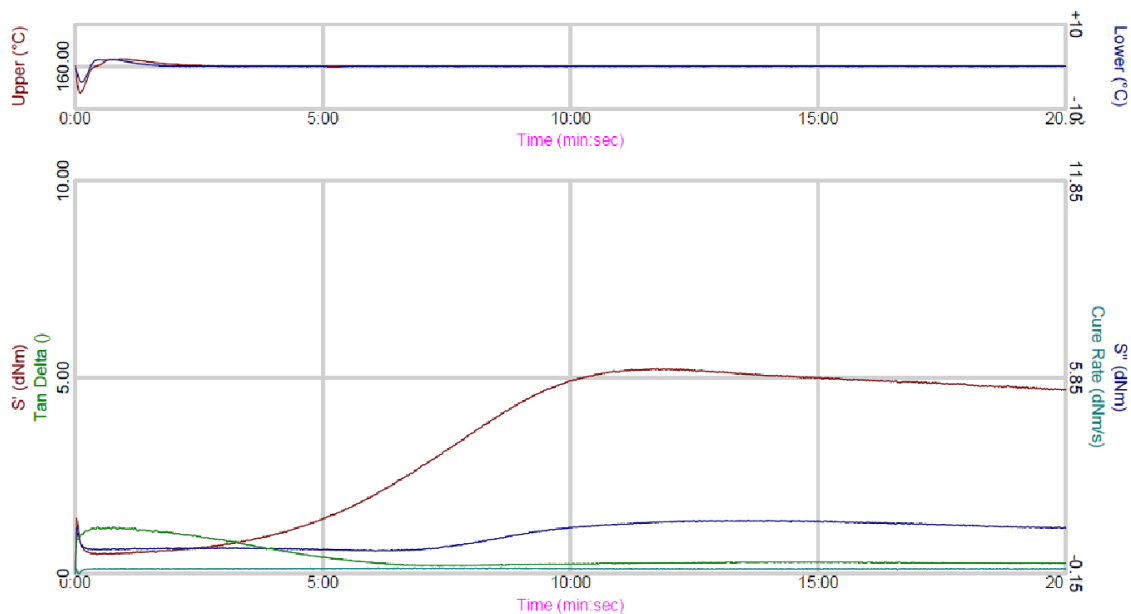


Рис. 2. Кривая вулканизации для материала с количеством тиурама 5 г на 100 г каучука

Как видно из графика, изменение количества вулканизирующего агента не повлияло на жесткость композита, однако сократило время вулканизации до 10 минут.

Затем для увеличения жесткости материала был поставлен эксперимент, в котором было в два раза снижено количество пластификатора, т. е. индустриального масла (рис. 3). Количество тиурама при этом было 5 г на 100 г каучука.

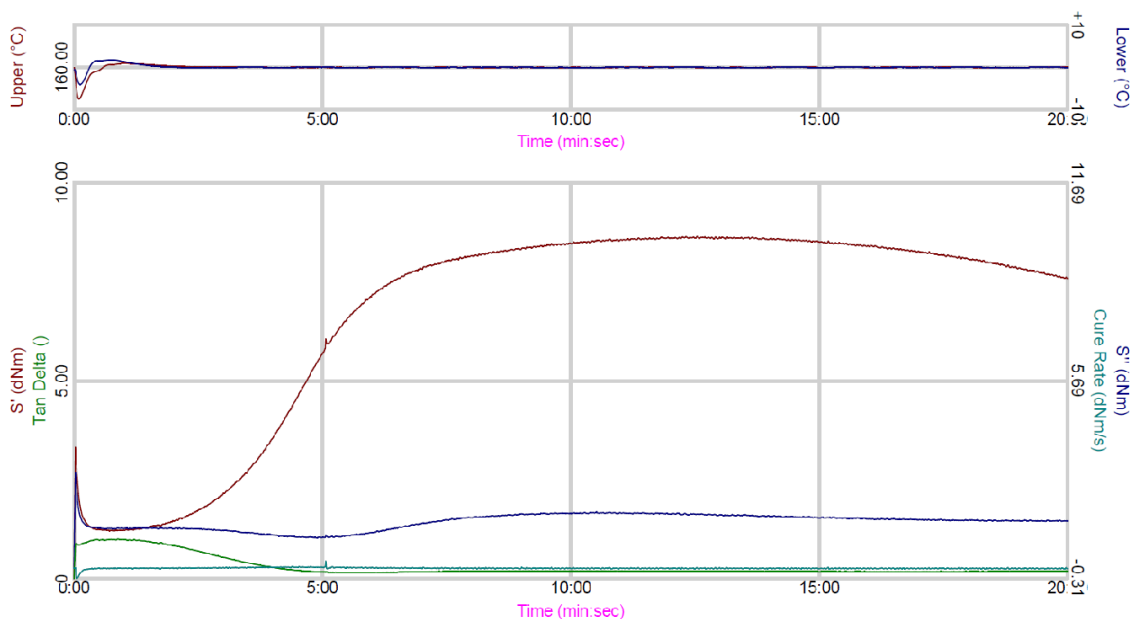


Рис. 3. Кривая вулканизации для материала с количеством тиурама 5 г на 100 г каучука и со сниженным количеством пластификатора в два раза

В результате жесткость увеличилась на 80%. Кроме того, увеличилась скорость вулканизации. Теперь материал был на 90% вулканизован уже на 7-й минуте.

Замена бутилкаучука в рецептуре на хлорбутилкаучук привела к некоторому увеличению времени вулканизации и небольшому снижению жесткости материала (рис. 4).

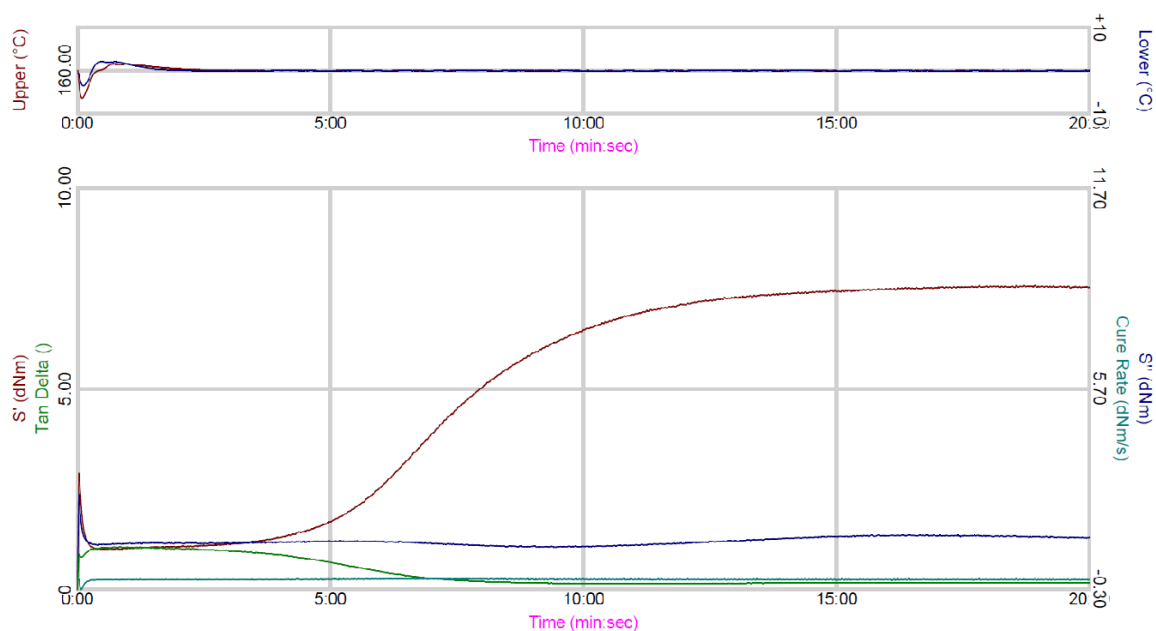


Рис. 4. Кривая вулканизации для материала на основе хлорбутилкаучука

Выводы. В результате проведенных исследований было выявлено, что увеличение количества тиурама, как и уменьшение пластификатора в композите, приводит к уменьшению времени вулканизации смеси. Уменьшение пластификатора также увеличивает жесткость композита. Сравнивая смеси на основе бутилкаучука и на основе хлорбутилкаучука, можно сделать вывод, что первый имеет меньшее время вулканизации и большую жесткость.

Библиографический список

1. ГОСТ 30263-96. Смеси резиновые для испытания. Приготовление, смешение и вулканизация. Оборудование и методы. М. : ИПК изд-во стандартов, 1996.
2. Павлов В. В. Разработка методики оптимизации тепловых режимов вулканизации гуммировочных покрытий / В. В. Павлов, Ю. Р. Осипов, С. Ю. Осипов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2008. № 3.

Изучение механических характеристик стирольных термоэластопластов

Ю. В. Юркин^a, Е. С. Широкова^b, В. В. Авдонин^c, Д. А. Варанкина^d,
Р. С. Рогожкин^e, П. А. Ковтонюк^f

кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и машин^a

кандидат химических наук, доцент^b

кандидат технических наук, доцент^c

студент группы СТм-2801-01-00^d

студент группы СТм-2802-03-00^e

аспирант группы СТa-2801-02-00^f

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c, d, e, f}

E-mail: yurkin@vyatsu.ru^a, usr06779@vyatsu.ru^b, vv_avdonin@vyatsu.ru^c,
stud123860@vyatsu.ru^d, stud123852@vyatsu.ru^e, stud127592@vyatsu.ru^f

Аннотация. Одной из актуальных задач строительной отрасли является разработка полимерных композиционных материалов на основе термоэластопластов (ТЭП), обеспечивающих эффективное гашение вибраций природного и техногенного происхождения. В данной статье проводятся механические испытания термоэластопластов на основе СИС разных марок. Цель статьи – сравнить механические характеристики ТЭП на основе СИС разных марок и выявить более перспективный материал для дальнейших исследований.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, термоэластопласты, вибропоглощение, демпфирующие материалы, строительные конструкции.

Введение. 26.10.2020 г. Владимир Владимирович Путин подписал указ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». В документе есть пункт, касающийся развития науки и технологий. В нем констатируется, что для выполнения основных задач по освоению Арктики необходимо разрабатывать и внедрять технологии, имеющие значение для освоения региона, в том числе создавать новые функциональные и конструкционные материалы для работы в природно-климатических условиях Арктики.

В условиях работы на дальнем севере мы постоянно сталкиваемся с вибрациями техногенного и природного происхождения. Однако для сохранения мерзлых грунтов в ненарушенном состоянии, дабы избежать неравномерных осадок и вследствие них разрушения различных конструкций, необходимо минимизировать механическое воздействие на них.

Для уменьшения вибраций и шума механических систем широко используются системы пассивного рассеивания энергии, или вибродемпферы [1]. Одним из видов вибродемпферов являются армированные эластомерные опоры,

которые используются более 70 лет в строительстве мостов и зданий [2]. Эластомерные демпфирующие подкладки предназначены для подавления вибрации и шума, они предотвращают структурные повреждения и устраняют затраты на ремонт и техническое обслуживание.

В настоящее время эластомерные опоры изготавливают из натурального каучука или из синтетических резиновых смесей [3]. Однако в настоящее время данный тип материалов вытесняется термоэластопластами (ТРЕ). Термоэластопласты – материалы, имеющие обратимые поперечные связи, которые могут быть произведены как термопласты и при этом обладают эластичными свойствами вулканизированных традиционных эластомеров. Основными преимуществами ТРЕ являются: упрощенная обработка с меньшим количеством этапов производства (исключается стадия вулканизации), гораздо более короткие циклы и вследствие этого меньшее потребление энергии [4].

Одной из основных групп ТЭП является группа стирольных блок-сополимеров. Такие ТЭП основаны на двухфазных блок-сополимерах с твердыми и мягкими сегментами. Блоки стирольных концов обеспечивают термопластичные свойства, а бутадиеновые средние блоки обеспечивают эластомерные свойства [5].

Целью данной статьи является сравнение механических характеристик стирольных блок-сополимеров на основе СИС различных марок.

Методы исследования. Для разработки данных композиционных материалов были приняты базовые составы, приведенные в таблице.

Составы образцов

Компоненты	Состав термоэластопласта на основе		Плотность (г/см ³)
	СИС Vector 4113NS	СИС Vector 4111NS	
	Массовая доля (г)	Массовая доля (г)	
СКЭПТ 50	20	20	0,86
СИС Vector 4111NS	–	80	0,92
СИС Vector 4113NS	80	–	0,92
Индустриальное масло И-40	20	20	0,9
Мел	40	40	2,44
Силика	30	30	2,1
Стеариновая кислота	2,5	2,5	0,94

Смешение компонентов происходило в микросмесителе типа Брабендер при температуре 120°C в течение 20 минут. Затем материал помещался в термопластавтомат, где расплавлялся при температуре 190°C и отливался в пресс-формы для дальнейших испытаний.

Механические испытания тестовых образцов (рис. 1) проводились на испытательной машине AG-5 KNX (ф. Shimadzu) со скоростью 500 мм/мин на образцах в форме гантелей в соответствии с условиями, описанными в ГОСТ 270.

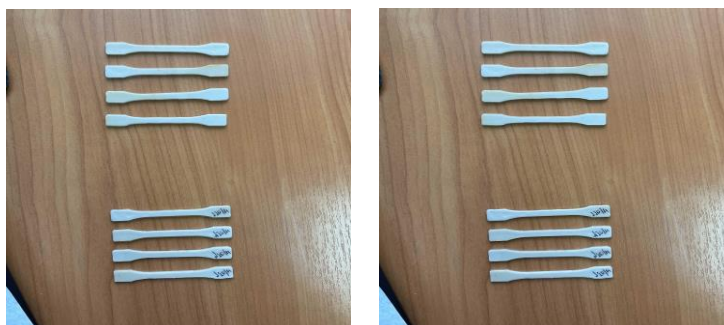


Рис. 1. Образцы в форме гантелей

Результаты исследований, их обсуждение. Сравнивая механические характеристики (удельная демпфирующая способность, эквивалентная жёсткость при 100%-м удлинении, максимальное относительное удлинение и максимальная прочность) стирольных блок-сополимеров на основе СИС различных марок можно сделать вывод, что материал на основе СИС Vector 4113NS показывает более перспективные результаты для дальнейших исследований (рис. 2–5).

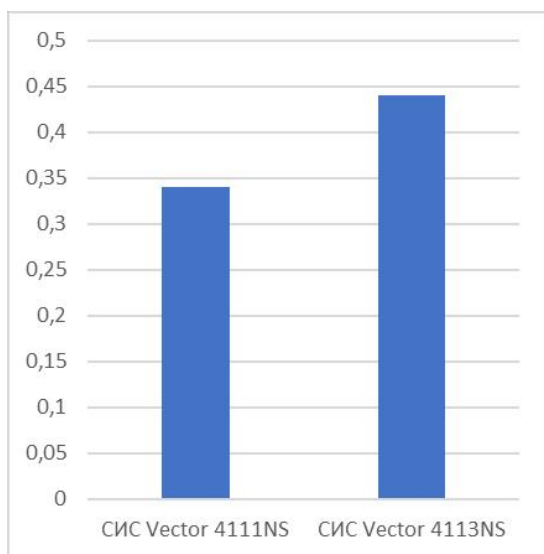


Рис. 2. Удельная демпфирующая способность

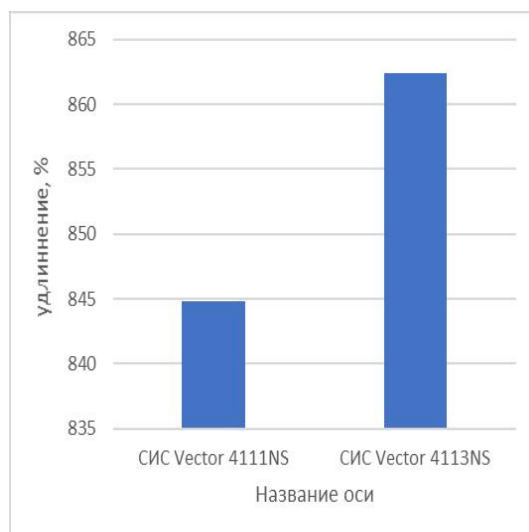


Рис. 3. Максимальное относительное удлинение

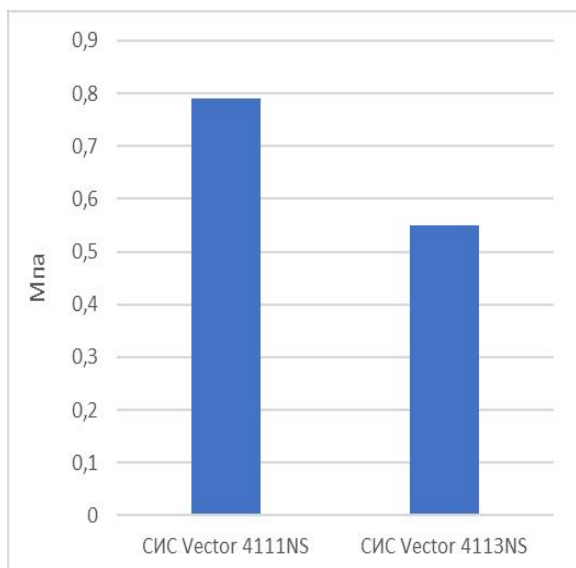


Рис. 4. Прочность при 100%-м удлинении

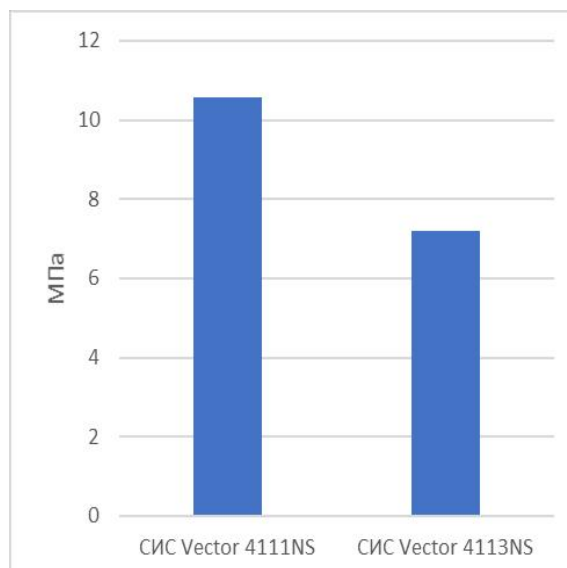


Рис. 5. Эквивалентная жёсткость при 100%-м удлинении

Выводы. В ходе работы были исследованы следующие механические характеристики материалов: удельная демпфирующая способность, эквивалентная жёсткость при 100%-м удлинении, максимальное удлинение и максимальная прочность.

Испытания показали, что стирольные блок-сополимеры на основе СИС имеют большой потенциал для их использования в качестве демпфирующих материалов: у них достаточно высокая прочность, высокие эластические свойства и, самое главное, высокие вибропоглощающие свойства. При этом материал на основе СИС Vector 4113NS является более перспективным для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Kim H. S., Kim B., Park S. K., Lee S. H. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2012. 48. Pp. 919–931.
2. Kelly J. M. Earthquake resistant design with rubber. 2nd ed. L. : Springer, 1997.
3. Wei W., Yuan Y., Igarashi A. et al. Experimental investigation and seismic fragility analysis of isolated highway bridges considering the coupled effects of pier height and elastomeric bearings // Engineering Structures. 2021. 233 (15). P. 111926.
4. Kaliyathan A. V., Rane A. V., Kanny K. et al. Thermoplastic Elastomers for Shock Absorbing Application // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier. 2021.
5. Свойства бутадиен стирольных блок сополимеров / А. В. Лобанов, А. А. Алексеенко, В. С. Глуховской, В. С. Осипчик // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 3. С. 82–86.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00301, <https://rscf.ru/project/21-79-00301/>

Библиотека моделей деталей универсально-сборных приспособлений

Л. Н. Якурнова^a, Д. С. Ануфриев^b, С. П. Грачев^c

студент группы ПТКс-3801-02-00^a

инженер-исследователь кафедры информационных технологий в машиностроении^b
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении^c

Вятский государственный университет, Киров, Российская Федерация^{a, b, c}

e-mail: stud115647@vyatsu.ru^a, usr21111@vyatsu.ru^b, grachev@vyatsu.ru^c

Аннотация. Одной из особенностей современного производства является периодическая смена изготавливаемых изделий, постоянная необходимость внедрения в производство новых изделий в кратчайшие сроки. Это требует новых подходов к конструкторской и технологической подготовке производства, которые позволяют увеличить производительность и сократить расходы. Системы автоматизированного проектирования активно применяются при подготовке производства и позволяют собрать сборку приспособления в цифровой среде, используя параметрические модели деталей и модели стандартных изделий, который выбираются из библиотеки.

Целью работы является разработка элементов библиотеки деталей универсально-сборных приспособлений. В статье описан алгоритм создания пользовательской библиотеки в системах автоматизированного проектирования, рассмотрен процесс создания библиотеки на примере системы Autodesk Inventor. Аналогичный подход может использоваться и в других современных системах автоматизированного проектирования. Инженеры могут создавать библиотеки типовых деталей и сборок, имеющих актуальность на данном производстве.

Ключевые слова: параметрическая модель, библиотека стандартных изделий, Autodesk Inventor, САПР, универсально-сборное приспособление.

Введение. Одной из особенностей современного производства является периодическая смена изготавливаемых изделий, необходимость внедрения в производство новых изделий в кратчайшие сроки. Это требует новых подходов к конструкторской и технологической подготовке производства, позволяющих увеличить производительность и сократить расходы.

При подготовке серийного производства разрабатываются и создаются специальные приспособления, что является долгим и дорогостоящим процессом, поэтому при внедрении новых изделий зачастую используются переналаживаемые универсально-сборные приспособления (УСП). Их преимуществом является возможность использования одних и тех же элементов в различных приспособлениях [1]. Трудоёмкость работ по созданию приспособления при использовании типовых (унифицированных) деталей УСП значительно снижается, что отображено на рис. 1 [2, с. 153].



Рис. 1. Зависимость между удельной трудоёмкостью (отношение трудоёмкости к важнейшему параметру) изготовления объекта и уровнем его унификации

С другой стороны, предприятия активно используют системы автоматизированного проектирования (САПР) для конструкторской и технологической подготовки производства. САПР позволяют собрать сборку приспособления в цифровой среде, используя модели деталей и модели стандартных изделий, которые выбираются из библиотеки.

Модели деталей УСП обычно не включены в библиотеку стандартных изделий. Это снижает производительность работы конструктора при проектировании технологической оснастки.

Для решения данной проблемы предлагается разработать библиотеку деталей УСП, в которой детали будут сгруппированы по назначению.

Цель работы – разработка элементов библиотеки деталей УСП в системе автоматизированного проектирования Autodesk Inventor.

Задачи работы:

- описание алгоритма создания пользовательской библиотеки в системах автоматизированного проектирования;
- создание пользовательской библиотеки элементов УСП в программе Autodesk Inventor;
- наполнение библиотеки параметрическими моделями.

Объектом исследования является создание элементов библиотеки параметрических моделей деталей универсально-сборных приспособлений в программе Autodesk Inventor.

Методы исследования. Основным методом работы над созданием библиотеки является моделирование твердотельных параметрических моделей.

Параметрическая твердотельная модель представляет собой трёхмерную модель с заданными параметрами. Параметризация позволяет управлять моделью с помощью переменных и их связей, выраженных уравнениями. Для создания таких моделей в САПР предусмотрены различные инструменты. Например, iLogic в Autodesk Inventor, работа с которым описана в статье [3].

Алгоритм создания пользовательской библиотеки изделий в общем случае состоит из следующих шагов:

- создание новой библиотеки, доступной для редактирования;
- создание категорий (семейств, групп) и подкатегорий изделий;
- моделирование параметрических деталей;
- добавление (публикация) деталей в библиотеку;
- внесение изменений в таблицы параметров деталей.

При создании библиотеки был использован каталог деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений с пазами 12 мм (УСП-12). Данный каталог разработан сотрудниками Межотраслевого головного конструкторско-технологического бюро (МГКТБ) для нужд производства. Составляющие элементы каталога могут быть использованы для сборки новых компоновок приспособлений, предназначенных для обработки различных деталей [4].

Создание пользовательской библиотеки. Редактирование библиотек компонентов в системе Autodesk Inventor выполняется на начальном экране в окне «Проекты» после нажатия кнопки «Настройка Библиотек компонентов», расположенной в правом вертикальном меню. Окно настройки библиотек содержит список всех доступных на данном устройстве библиотек, отображает статус их использования в текущем проекте и параметр доступа. Входящие в пакет установки Inventor библиотеки имеют доступ только для чтения.

После нажатия кнопки «Создать библиотеку...» необходимо в появившемся окне ввести имя будущей библиотеки, например «Элементы УСП-12». Новая библиотека автоматически подключается в проект и имеет доступ для чтения и записи. На рис. 2 показано окно настройки библиотек.

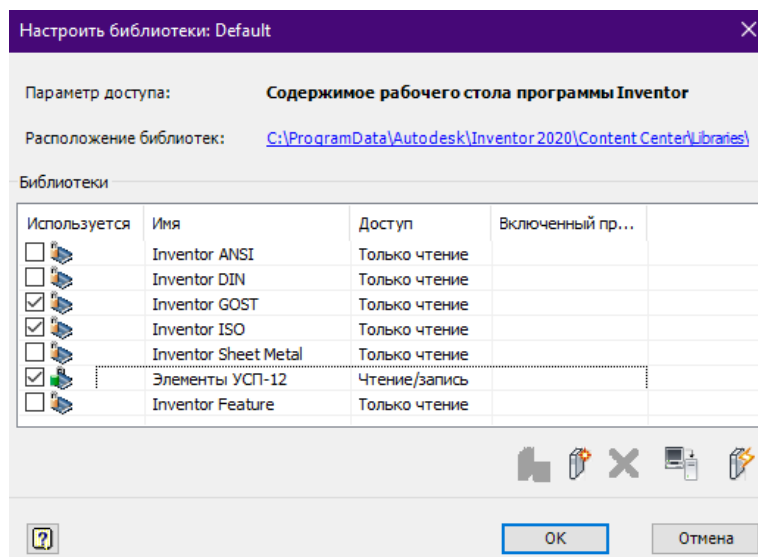


Рис. 2. Окно настройки библиотек Autodesk Inventor

Дальнейшая работа с библиотекой выполняется при помощи окна «Редактор Библиотеки компонентов...», которое открывается на вкладке «Инструменты». Редактор позволяет создавать и редактировать категории и семейства элементов подключённых библиотек. Из выпадающего списка «Вид библиотеки» необходимо выбрать пользовательскую библиотеку, после чего становится доступным создание категорий. В общем случае структура библиотеки может иметь следующий вид:

- Категория 1.
 - Подкатегория 1.
 - Семейство деталей 1.
 - Семейство деталей 2.
 - Семейство деталей n.
 - Подкатегория 2.
 - Подкатегория n.
- Категория 2.
- Категория n.

В данной работе создана категория «Элементы УСП-12» и подкатегории в соответствии с каталогом УСП-12 (рис. 3). После создания категорий подготовка библиотеки к наполнению её элементами завершена.

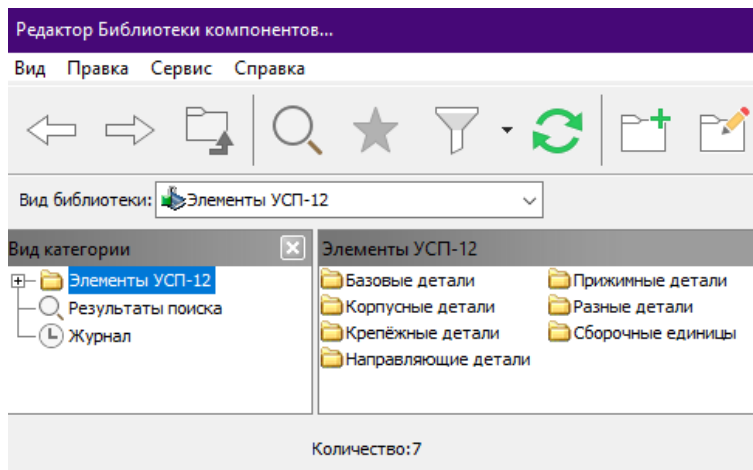
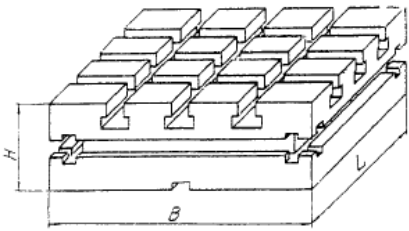


Рис. 3. Окно редактора с выбранной пользовательской библиотекой

Моделирование параметрической детали. Рассмотрим процесс создания модели детали на примере квадратной плиты, входящей в категорию базовых деталей. Основные размеры плиты приведены в таблице.

Размеры семейства деталей Плита квадратная

Наименование	Эскиз	ГОСТ	Основные размеры LxVxH, мм
Плита квадратная		15185-70	180x180x60 240x240x60 300x300x60 360x360x60 420x420x60

Моделирование детали начинается с создания пользовательских параметров, которые будут управлять размерами и количеством элементов модели. Помимо основных размеров, к ним будут относиться количество пазов, отверстий и число шагов между ними. Итоговая таблица параметров плиты квадратной показана на рис. 4.

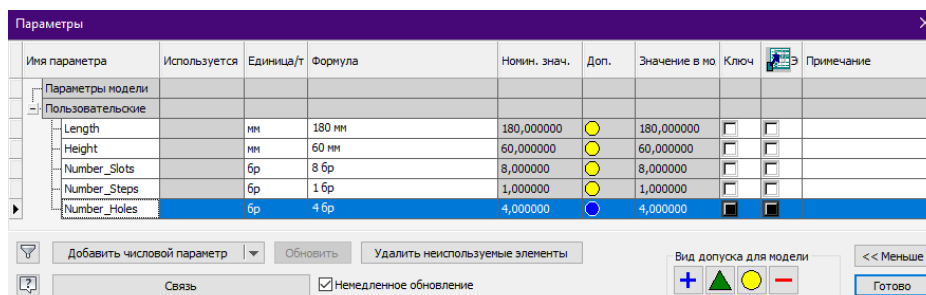


Рис. 4. Окно параметров детали

При моделировании созданные параметры используются в качестве размеров на эскизах и в свойствах операций моделирования. Так, число элементов при создании прямоугольного массива пазов на верхней плоскости детали определяется уравнением, зависящим от общего числа пазов детали.

После завершения моделирования одной детали семейства необходимо перейти на вкладку «Управление» и в разделе «Разработка» выполнить команду «Создать параметрическую деталь». Пользовательские параметры автоматически заносятся в таблицу. Кроме того, при помощи таблицы можно подавить элементы модели, которые отсутствуют в той или иной конфигурации детали. Например, дополнительные рёбра жёсткости могут присутствовать только на крупных деталях семейства (рис. 5).

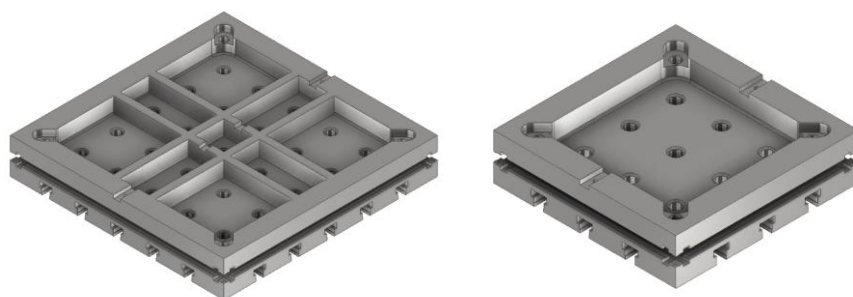


Рис. 5. Детали одного семейства с разным набором элементов

Параметрический ряд семейства может быть настроен в окне создания параметрической детали либо отредактирован после публикации детали в библиотеку.

Публикация детали в библиотеку. Добавление детали в пользовательскую библиотеку выполняется на вкладке «Управление» в разделе «Библиотека компонентов» после выбора команды «Публикация детали». Из выпадающего списка выбирается библиотека (для выбора доступны библиотеки, имеющие доступ для записи), затем категория, к которой относится деталь, и ключевые параметры, по которым пользователь будет выбирать конкретную деталь из параметрического ряда. Для детали Плита квадратная выбран параметр Part Number (Обозначение). Далее указывается имя и описание семейства деталей, изображение семейства.

После публикации детали параметры семейства могут быть отредактированы в редакторе библиотеки компонентов при выборе команды «Таблица се-

мейства». Таблица представляет собой файл в формате XLSX и содержит список всех элементов параметрического ряда деталей. Столбцы таблицы являются переменными параметрами. После внесения изменений таблица принимает вид, показанный на рис. 6.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	Элемент	Габаритные размеры	Length	Number_Slots	Number_Steps	Number_Holes	Выдавливание7	FILENAME	MATERIAL	DESIGNATION
3	Плита квадратная 180	180x180x60	180	8	1	4	true	Плита квадратная 180	Сталь, легированная	180x180x60
4	Плита квадратная 240	240x240x60	240	10	2	9	true	Плита квадратная 240	Сталь, легированная	240x240x60
5	Плита квадратная 300	300x300x60	300	12	3	16	false	Плита квадратная 300	Сталь, легированная	300x300x60
6	Плита квадратная 360	360x360x60	360	14	4	25	false	Плита квадратная 360	Сталь, легированная	360x360x60
7	Плита квадратная 420	420x420x60	420	16	5	36	false	Плита квадратная 420	Сталь, легированная	420x420x60

Рис. 6. Таблица параметров детали в библиотеке компонентов

После сохранения изменений в редакторе деталь может быть вставлена в сборку из библиотеки компонентов. При вставке появляется окно, в котором доступен выбор конкретной конфигурации детали семейства (рис. 7).

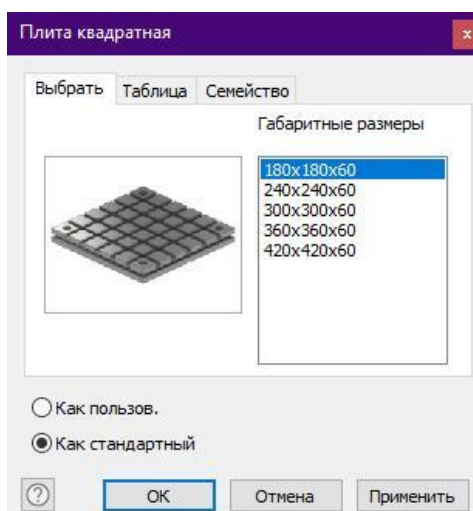


Рис. 7. Окно вставки детали из библиотеки

Аналогичным образом создаются все необходимые модели и публикуются в библиотеку для дальнейшей работы.

Выводы. В результате проведенной работы был описан алгоритм создания пользовательской библиотеки в САПР Autodesk Inventor, с использованием каталога деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений созданы твердотельные параметрические модели – элементы библиотеки.

Описанный в данной работе подход может применяться на предприятиях всех отраслей промышленности, использующих в проектно-конструкторской деятельности различные системы автоматизированного проектирования.

Инженеры могут создавать и использовать библиотеки не только стандартизованных изделий, но и типовых деталей и сборок, имеющих актуальность на данном производстве.

Библиографический список

1. Фатхутдинов Р. А. Стратегический маркетинг : учеб. М. : ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2000. 640 с.
2. Сергеев М. Е., Темнова Н. И., Османова В. Ю. Применение универсально-сборных приспособлений (УСП) в машиностроительном производстве // Старт в науку: инновационные технологии в технике и дизайне : сб. ст. М., 2016. С. 38–42.
3. Петраков Е. А., Самойлова А. С. Применение технологии iLogic в Autodesk Inventor для создания параметрической 3D-модели зубчатого колеса и проведения исследований // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 109–119.
4. Каталог деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений с пазами 12 мм (УСП-12) / под ред. В. А. Епихин, В. Н. Ярмушевская. М., 1975. 72 с.

Электронное научное издание

**ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ
(НПК-2022)**

Сборник статей

**XXII Всероссийская
научно-практическая конференция
11 апреля – 29 апреля 2022 г.**

Том 2

Химико-биологические, технические и физико-математические науки

Редактор *Ю. Н. Болдырева*
Технический редактор *Л. А. Кислицына*

Электронное издание сетевого распространения

Объем издания: 15 Мб

Дата подписания к использованию: 30.06.2022

Вятский государственный университет
610000, г. Киров, ул. Московская, 36
www.vyatsu.ru, www.vestnik43.ru
Тел. (8332) 20-89-64 (Научное издательство ВятГУ)