



**Вятский
государственный
университет**



**Студенческое
научное общество
ВятГУ**

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2023)

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XXIII ВСЕРОССИЙСКОЙ (НАЦИОНАЛЬНОЙ)
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПРИУРОЧЕННОЙ К 60-ЛЕТИЮ ВЯТГУ
12 АПРЕЛЯ - 22 ИЮНЯ 2023 Г.**

**ТОМ 2
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

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

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2023)

Сборник материалов

**XXIII Всероссийской (национальной)
научно-практической конференции,
приуроченной к 60-летию ВятГУ**

12 апреля – 22 июня 2023 г.

Том 2

Технические и естественные науки

**Киров
2023**

*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); **А. Н. Чикишева**, канд. экон. наук, начальник Отдела аспирантуры, докторантуры и НИРС (секретарь); **И. В. Смольняк**, канд. ист. наук, директор Научного издательства; **Л. К. Патрушева**, канд. пед. наук, доц., руководитель Центра публикационной активности; **М. В. Кожина**, начальник Отдела интеллектуальной собственности; **Д. В. Седов**, проректор по информатизации и цифровому развитию; **Л. В. Капитурова**, заведующая Научной библиотекой; **М. В. Садакова-Ильина**, начальник Управления информационной работы и коммуникаций; **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; **А. Е. Караваева**, специалист Отдела аспирантуры, докторантуры и НИРС; **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; **Д. В. Опарина**, председатель Студенческого научного общества ВятГУ.

Редакционная коллегия сборника:

О. В. Байкова, д-р филол. наук, проф.; **Г. И. Березин**, канд. биол. наук, доц.; **Э. В. Бушкова-Шиклина**, канд. социол. наук, доц.; **Е. В. Быкова**, канд. искусствоведения, доц.; **О. Ю. Беспярых**, д-р биол. наук, доц.; **О. М. Бузикова**, канд. биол. наук; **М. П. Голенок**, канд. культурологии, доц.; **С. П. Грачев**, канд. техн. наук, доц.; **С. П. Горячих**, канд. экон. наук, доц.; **А. В. Казаков**, канд. филол. наук, доц.; **А. Б. Коновалова**, канд. юрид. наук, доц.; **Е. А. Мартинсон**, канд. филол. наук, доц.; **А. А. Машковцев**, д-р ист. наук, доц.; **Е. В. Разова**, канд. пед. наук, доц.; **О. А. Рублева**, д-р техн. наук, доц.; **В. Н. Тимошенко**, канд. техн. наук, доц.; **О. Н. Соболева**, канд. экон. наук, доц.; **К. С. Лицарева**, канд. филол. наук, доц.; **А. А. Злобин**, канд. филол. наук; **Н. С. Жуйкова**, канд. пед. наук; **А. Г. Маслова**, д-р филол. наук, доц.; **Ю. Н. Юркин**, канд. техн. наук, доц.; **Е. В. Щербинина**, канд. культурологии.

О-285 Общество. Наука. Инновации (НПК-2023) : сб. материалов XXIII Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., приурочен. к 60-летию ВятГУ. 12 апр. – 22 июня 2023 г. : [в 2 т.] Т. 2. Технические и естественные науки. – Киров : Вятский государственный университет, 2023. – 243 с. – URL: <http://vestnik43.ru/assets/mgr/docs/conferences/NPK-2023-tom-2.pdf>. – ISBN 978-5-98228-267-5. – ISBN 978-5-98228-269-9 (Т. 2). – Текст : электронный.

ББК Ч215.16(082)

Минимальные системные требования

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<i>Басманов Владислав Геннадьевич, Бессолицын Алексей Витальевич, Вальс Роман Павлович</i> Фазовая погрешность цифрового измерительного органа, реализующего алгоритм первого порядка с усреднением замера.....	7
<i>Басманов Владислав Геннадьевич, Сунцов Кирилл Алексеевич</i> Устройство, описание и особенности эксплуатации газопоршневых установок.....	12
<i>Бузиков Шамиль Викторович</i> Определение целевой функции свойств смесевых топлив для применения в тракторном дизеле.....	17
<i>Головенкин Валерий Алексеевич, Абрамов Алексей Андреевич, Червоткин Николай Юрьевич</i> Расчет магнитных проводимостей воздушных зазоров магнитной системы привода электрического аппарата	21
<i>Изотов Анатолий Иванович, Изотов Сергей Анатольевич, Фоминых Антон Анатольевич, Тимошенко Вячеслав Николаевич, Губин Илья Вячеславович, Харин Алексей Николаевич</i> Исследование возможности применения антифрикционных композиционных вкладышей для токосъемных щеток электрических машин	26
<i>Кривошеин Игорь Леонидович, Тимшин Алексей Иванович, Демидов Дмитрий Вячеславович</i> Экспериментальные исследования вторичной обмотки катушки Теслы	30
<i>Леготин Александр Борисович, Суворов Василий Николаевич</i> Исследование асинхронного двигателя с питанием от преобразователя частоты мощностью 3,8 кВт	35
<i>Лыскова Екатерина Алексеевна, Суворов Дмитрий Михайлович</i> Исследование изменения температуры теплоносителя при транспортировке по трубопроводам водяных тепловых сетей при различных исходных температурных графиках.....	40
<i>Новиков Алексей Викторович, Новоселова Ольга Александровна, Хорошнина Елена Николаевна, Светлаков Андрей Александрович</i> Результаты испытаний умных разъединителей в рамках программы «Цифровая трансформация» в Кировской области	45
<i>Попов Максим Георгиевич, Вильнер Александр Викторович, Плешкова Татьяна Алексеевна, Зыков Владислав Евгеньевич</i> Основные аспекты поиска критерия экспресс-оценки статической устойчивости энергосистем	49
<i>Сысоев Юрий Алексеевич</i> Обзор специфики создания электрических машин морского исполнения	54
<i>Тиманов Андрей Алексеевич</i> Передача энергии по гибричному оптическому кабелю	58
<i>Тимошенко Вячеслав Николаевич, Тимина Наталья Владимировна, Карандин Григорий Анатольевич</i> Использование электронных таблиц MS Excel при проектировании двигателей постоянного тока с различными способами возбуждения.....	62

<i>Тимошенко Вячеслав Николаевич, Тимина Наталья Владимировна, Горынцев Артур Александрович</i>	
Использование электронных таблиц MS Excel при проектировании асинхронных двигателей с фигурными пазами	66
<i>Хорошавин Валерий Степанович, Грудинин Виктор Степанович, Гордиенко Михаил Владимирович</i>	
Эффективные по быстродействию и точности управления в квазилинейных задачах	71
<i>Шестаков Александр Вячеславович</i>	
Моделирование и экспериментальное исследование коллекторного двигателя переменного тока для привода электроинструмента	75
<i>Шешин Антон Дмитриевич</i>	
Влияние смещения щеток в двигателях постоянного тока на степень искрения	80
<i>Шишулькин Станислав Юрьевич, Девятков Артем Геннадьевич, Буянтуев Сергей Лубсанович, Шайдоров Анатолий Алексеевич</i>	
Плазменный способ дезактивации стойких органических загрязнителей на мусоросжигательных заводах	84
<i>Шишулькин Станислав Юрьевич, Шайдоров Анатолий Алексеевич, Буянтуев Сергей Лубсанович, Девятков Артем Геннадьевич</i>	
Моделирование аэродинамики воздушного канала плазмотрона.....	89
<i>Шураков Иван Александрович, Малышев Евгений Николаевич, Пономарев Юрий Геннадьевич, Охупкин Сергей Иванович, Мокрушин Сергей Александрович</i>	
Формирование предельных режимов вентильного электропривода	93
<i>Шураков Иван Александрович, Малышев Евгений Николаевич, Пономарев Юрий Геннадьевич, Охупкин Сергей Иванович, Мокрушин Сергей Александрович</i>	
Проектирование математической модели электропривода на базе вентильного двигателя в среде Simulink	98
<i>Юдин Сергей Алексеевич</i>	
Повышение энергоэффективности систем электропривода	102

МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Власов Вячеслав Александрович, Поляков Сергей Михайлович</i>	
Экспериментальные исследования роликов приводных цепей.....	106
<i>Гущин Максим Дмитриевич, Невиницына Валерия Сергеевна, Остальцева Дарья Владимировна, Погудина Анастасия Сергеевна, Маринин Евгений Анатольевич, Сергеев Денис Геннадьевич</i>	
Формирование формулы и методики расчета интенсивности процесса лазерной обработки	111

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Ашихмин Станислав Эдуардович, Тюкалов Юрий Яковлевич</i>	
Анализ напряженно-деформированного состояния стыка сборных железобетонных элементов с использованием композитной арматуры.....	116
<i>Соболева Ирина Альффридовна, Мкртычан Юлия Артуровна</i>	
Градостроительное развитие города Уржума с 1784 по 2023 г.....	121
<i>Чаганов Алексей Борисович, Шмаков Сергей Дмитриевич, Черепанов Андрей Викторович</i>	
Разработка датчика нового типа для измерения напряжения в теле бетона	126

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мотовилова Марина Владимировна

Снижение уровня токсичных компонентов в отработавших газах дизеля при применении ресурсосберегающих технологий.....	130
---	-----

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Клевцова Юлия Юрьевна

О законах сохранения стационарных мер для стохастической модели Лоренца.....	135
--	-----

Козлов Андрей Анатольевич, Частиков Александр Вениаминович

Исследование алгоритма автоматической регулировки усиления	137
--	-----

Колупаев Александр Владимирович, Лисянский Павел Олегович

Методы создания операционной системы.....	142
---	-----

Устюжанинов Илья Леонидович, Бызов Виктор Александрович

Применение нейросетевых моделей для определения привлекательности человека по фото	146
--	-----

Харина Наталья Леонидовна, Чернядьев Сергей Юрьевич, Земцов Антон Валерьевич

Алгоритм выделения рисунка вен ладони на основе многомерного марковского процесса	150
---	-----

ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Барамзин Михаил Николаевич

Выявление генов транслугтаминаз в геномах штаммов и почвенных изолятов стрептомицетов	154
---	-----

Бёрдов Данила Алексеевич, Скворцов Александр Иванович

Влияние химического состава на твердость и структуру закаленных сплавов на основе Al–49%Zn	158
--	-----

Бурков Андрей Алексеевич, Краев Александр Дмитриевич,

Шестакова Ульяна Андреевна, Бояринцев Данил Алексеевич

Получение и исследование композиции на основе полилактида и натурального каучука	162
---	-----

Козлов Кирилл Евгеньевич, Шабалкина Светлана Вениаминовна

Особенности древостоя и подлеска насаждений памятника природы «Яранская берёзовая роща» (г. Яранск Кировской области).....	165
--	-----

Коньшев Илья Владимирович, Бывалов Андрей Анатольевич,

Загоскин Максим Андреевич

Оценка силы взаимодействия между Psa-антигеном и комплементарными антителами с помощью лазерной ловушки	170
---	-----

Корпакова Татьяна Николаевна, Кадомцева Алёна Викторовна,

Гуленова Марина Валентиновна, Пискунова Марина Сергеевна

Жаропонижающие средства синтетического и растительного происхождения: определение качественного и количественного состава.....	174
--	-----

Коришунуова Татьяна Юрьевна, Кузина Елена Витальевна,

Мухаматдярова Светлана Ринатовна,

Искужина Миляуша Галимьяновна

Штаммы, стимулирующие рост растений, в загрязненной гербицидом почве	177
--	-----

Лисовская Ольга Борисовна, Кускова Татьяна Александровна

Закономерности формирования структуры бронзы BrCuH3Ц2C15 в зависимости от условий кристаллизации	182
--	-----

<i>Маслова Анастасия Антоновна, Козвонин Валерий Анатольевич, Тупицын Вадим Константинович, Еликов Антон Вячеславович</i> Возможность использования метода биохемилюминесценции для определения антиоксидантной активности растительного сырья (листья аронии черноплодной)	186
<i>Морозова Надежда Александровна, Дудина Любовь Геннадьевна</i> Участие липополисахарида и рН6 антигена в рецепции бактериофага Л-413С.....	190
<i>Олькова Анна Сергеевна, Товстик Евгения Владимировна, Шуплецова Ольга Наумовна</i> Эколого-токсикологические и микробиологические показатели почвы в зависимости от внешних условий	195
<i>Опарина Дарья Васильевна, Широкова Евгения Сергеевна</i> Оценка адгезионных свойств битума, модифицированного добавкой «Honeywell Titan 7686».....	199
<i>Плюснин Евгений Сергеевич, Пащенко Марина Алексеевна</i> Влияние криогенной обработки на количество остаточного аустенита в инструментальных сталях	203
<i>Позолотина Надежда Владимировна, Базарбаева Виктория, Кошкина Марина Олеговна, Дормидонтова Софья Михайловна</i> Скрининг лактобактерий, продуцирующих поверхностные биосурфактанты	208
<i>Пушкарева Анастасия Валерьевна, Гасанова Вероника Алексеевна</i> Технологии общественного питания и их использование для морепродуктов	212
<i>Рогожкин Сергей Олегович, Герасимов Андрей Сергеевич, Сазанова Евгения Витальевна</i> Дизайн и сборка генов для получения рекомбинантной пептидной вакцины против коронавирусной инфекции COVID-19 на основе мутантной формы дифтерийного токсина CRM197.....	217
<i>Тарбеева Наталья Александровна, Рублева Ольга Анатольевна</i> Определение факторов комбинированной обработки, влияющих на качество облицовочных изделий из низколиквидной древесины	222
<i>Устюжанинова Людмила Васильевна, Леушина Анна Дмитриевна</i> Исследование условий гидролиза молочной сыворотки для проведения дальнейшего сбраживания.....	227
<i>Шилов Иван Борисович, Шестакова Ульяна Андреевна, Бояринцев Данил Алексеевич, Эткеева Ксения Сергеевна</i> Применение комбинации наполнителей в резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука	231
<i>Широких Ирина Геннадьевна, Боков Никита Александрович</i> Влияние бинарных культур стрептомицинов на их антагонистическую активность по отношению к фитопатогенным грибам и бактериям	236

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Сморкалова Элина Дмитриевна, Олькова Анна Сергеевна</i> Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) Кировской области	241
--	-----

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Фазовая погрешность цифрового измерительного органа, реализующего алгоритм первого порядка с усреднением замера

Басманов Владислав Геннадьевич^a, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭПС

Бессолицын Алексей Витальевич^b, кандидат технических наук, доцент

Вальс Роман Павлович^c, аспирант

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

Аннотация: многие практические задачи электроэнергетики требуют определение фазы синусоидальной величины. В данной работе проводится оценка погрешности определения фазы, возникающей при работе цифрового измерительного органа (ЦИО). Рассматриваемый ЦИО реализует алгоритм первого порядка с усреднением замера. Для определения величины погрешности вычисления фазы проводится численный эксперимент в программной среде MATLAB. Установлено, что при использовании восьмибитного АЦП с низкой частотой дискретизации, погрешность не превышает трех электрических градусов, если амплитуда сигнала не ниже 25% от диапазона преобразования. Результаты исследования могут быть применены в проектной деятельности студентов при проектировании и изготовлении как цифровых средств измерений, так и устройств релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: аналогово-цифровое преобразование, фазовая погрешность, алгоритм первого порядка с усреднением замера, фаза синусоидального сигнала, цифровой измерительный орган

Введение. Одно из главных отличий цифровых измерительных устройств от аналоговых заключается в природе их взаимодействия с контролируемым параметром. В аналоговых устройствах последний непосредственно воздействует на измерительную систему того или иного типа, и по изменению ее состояния возможно сделать вывод о величине параметра. Цифровые устройства осуществляют измерение путем математических преобразований над мгновенными значениями сигнала или т.н. выборками.

В электроэнергетике существует необходимость постоянного контроля таких параметров, как напряжение и ток, которые изменяются по синусоидальному закону. Это требует применения определенных методов измерения. В [1] дана общая характеристика ЦИО, применяемых для нахождения параметров синусоидальных величин. В [2], [3] рассматривается задача определения фазовой погрешности более сложных методов, использующих операции «подгонки» под синусоиду и интерполированное преобразование Фурье. Настоящая работа

ставит своей целью оценку точности определения фазы при реализации простейшего алгоритма первого порядка с усреднением замера и применении восьмибитного АЦП. Результаты исследования амплитудной погрешности, указанного алгоритма, приведены в статье [4]. В настоящей работе оценивается возможность применения такой аппаратно-программной конфигурации в учебном проектировании.

Рассматривается случай, для которого частота измеряемого сигнала составляет 50 Гц, а частота дискретизации равна 600 Гц, что соответствует взятию 12 выборок за период.

Методы исследования. Функция, отражающая зависимость от времени синусоидального сигнала, имеет следующий вид:

$$u_a(t) = U_m \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \varphi_0),$$

где U_m и f – амплитуда и частота сигнала соответственно,

φ_0 – фаза сигнала в нулевой момент времени.

Расчет ведется для различных случаев отношения размаха сигнала к полной шкале АЦП. Диапазон преобразования последнего предполагается равным единице. Выражение, которому соответствует выходной код АЦП в момент времени $t = nT_d$, записывается как:

$$u(nT_d) = \left[u_a(nT_d) \cdot 2^m \right],$$

где $[x]$ – операция округления аргумента x к ближайшему целому,

$m=8$ – разрешающая способность АЦП, бит.

При реализации алгоритма первого порядка с усреднением замера вычисление вектора, характеризующего измеряемый параметр, изменяющийся по синусоидальному закону [1], осуществляется по следующему выражению:

$$\underline{u}(nT_d) = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{\pi} + j \right) \cdot u(nT_d) + \frac{1}{2} \left(j - \frac{N}{\pi} \right) \cdot u((n-1)T_d),$$

где N – число выборок за период,

$u(nT_d)$ – мгновенное значение напряжения (код АЦП) в момент времени

$t = nT_d$,

$u[(n-1)T_D]$ – мгновенное значение напряжения (код АЦП) в момент времени $t = (n-1)T_D$.

Мгновенное значение фазы синусоидального сигнала, представленного комплексной величиной, с учетом известных соотношений находится по выражению:

$$\varphi_{\text{мгн}} = \arctg \frac{\underline{U}(nT_D)_{IM}}{\underline{U}(nT_D)_{RE}},$$

где $\underline{U}(nT_D)_{IM}$ – мнимая часть комплексной величины, характеризующей синусоидальный сигнал,

$\underline{U}(nT_D)_{RE}$ – действительная часть комплексной величины, характеризующей синусоидальный сигнал.

Чтобы вычислить фазу сигнала в нулевой момент времени, необходимо из ее рассчитанного мгновенного значения вычесть угловое расстояние, пройденное вектором с момента начала измерений:

$$\varphi(i)_{0\text{ расч}} = \varphi(i)_{\text{мгн}} - 2 \cdot \pi \cdot (i - 0,5) / N$$

где N – число выборок за период,

i – номер выборки,

$\varphi(i)_{\text{мгн}}$ – мгновенное значение фазы сигнала.

Представив истинную и рассчитанную фазы в виде комплексных величин, с помощью функции *angle* в программной среде MATLAB можно вычислить абсолютную погрешность определения фазы для рассматриваемого ЦИО в градусах:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \text{angle} \frac{\cos(\varphi_0) + j \cdot \sin(\varphi_0)}{\cos(\varphi_{0\text{ расч}}) + j \cdot \sin(\varphi_{0\text{ расч}})}.$$

Результаты исследований, их обсуждение. Из формулы, математически описывающей алгоритм ЦИО с усреднением замера, следует, что на величину погрешности оказывают влияние частота дискретизации, разрешающая способность АЦП и уровень сигнала. В рассматриваемом случае первые два фактора

являлись неизменными величинами, расчеты проводились для различных вариантов уровня сигнала. На рис.1 приведены результаты расчета погрешностей для четырех случаев с различным отношением размаха сигнала к полной шкале АЦП, составляющим 90%, 60%, 40%, и 25% соответственно.

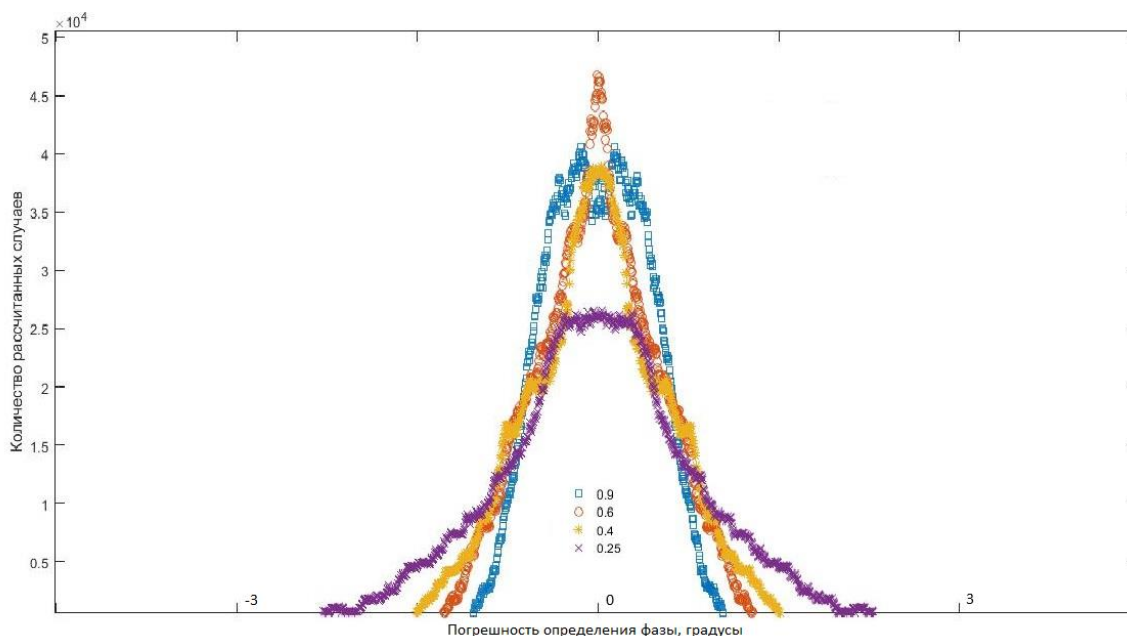


Рисунок 1 – Результаты расчета погрешности определения фазы

Необходимо отметить, что начальная фаза является случайной величиной и в общем случае может принимать любое значение. С учетом данного факта в программной среде MATLAB был выполнен расчет фазовой погрешности ЦИО, реализующего рассматриваемый алгоритм, для 10^6 вариантов начальной фазы, которая задавалась случайным образом в промежутке $[-\pi; \pi]$. Для каждого случая при расчете выполнялось вычисление начальной фазы для одиннадцати моментов времени.

Данные, приведенные на рис.1, позволяют сделать вывод о том, что алгоритм с усреднением замера не обладает тенденцией к завышению или занижению значения фазы. Среднее значение абсолютной погрешности определения фазы практически равно нулю. С увеличением уровня измеряемого сигнала величина максимально возможного модуля абсолютной погрешности определения фазы снижается, что может быть объяснено более точным аналогово-цифровым преобразованием при данной разрешающей способности АЦП.

Если отношение размаха сигнала к полной шкале АЦП превышает 25%, то максимальный модуль погрешности расчета фазы не превысит трех электрических градусов.

Выводы. Рассмотренный алгоритм обладает приемлемой точностью, и применим в случае необходимости измерения фазы сигнала с погрешностью, не превышающей трех электрических градусов. Точность определения фазы можно повысить при помощи технических средств увеличением отношения размаха измеряемого сигнала к полной шкале АЦП. Данный алгоритм может быть использован в целях учебного проектирования при изготовлении цифровых измерительных приборов, таких как ваттметр, варметр, счетчик электрической энергии и т. п.

Библиографический список

1. Никитин А. А. Цифровая релейная защита. Основы синтеза измерительной части микропроцессорных реле. Чебоксары, 2014. 241 с.
2. Ramos P. M., Da Silva F., Cruz Serra V. Improving sine-fitting algorithms for amplitude and phase measurements phase measurements // Proc. of XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik, June 2003. P. 614–619.
3. Agrez D. Improving Phase Estimation With Leakage Minimization // IEEE Trans. Instrum. Meas. 2005. Vol. 54. No.4. P. 1347–1353.
4. Бессолицын А. В., Вальс Р. П. Оценка погрешности определения амплитуды синусоидального сигнала по данным восьмибитного АЦП // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. XXI Всерос. науч.-практ. конф. Т. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 354–358.

Устройство, описание и особенности эксплуатации газопоршневых установок

Басманов Владислав Геннадьевич^а, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭПС

Сунцов Кирилл Алексеевич^б, аспирант
Вятский государственный университет^{а, б}, Киров

Аннотация: статья посвящена обзору опыта эксплуатации газопоршневых когенерационных установок марки MWMTSG 2020 на машиностроительном предприятии. Тема актуальна ввиду растущего потребления предприятиями электроэнергии, при её постоянно растущей цене.

Путём анализа реального графика генерации электрической мощности, рассмотрены достоинства и недостатки использования газопоршневых генераторов. Полученные результаты могут быть применены при выборе подобных агрегатов любым предприятием, заинтересованным в установке газопоршневых когенерационных устройств.

Ключевые слова: когенерация, газопоршневые генерирующие установки, надёжность, экономическая эффективность.

Введение. Одним из вариантов повышения надёжности как электроснабжения, так и теплоснабжения является установка автономных источников тепловой и электрической энергии. Такие источники не имеют связи с централизованными системами снабжения и устанавливаются непосредственно на территории предприятия.

Тема использования автономных источников энергии актуальна ввиду непрерывно растущего спроса на электроэнергию, зачастую счета на оплату таковой для предприятий достигают нескольких миллионов рублей в месяц. Такой объём потребления рождает спрос на возможные варианты экономии, одним из которых и является установка собственных генерирующих устройств.

В данной статье речь пойдёт об опыте использования газопоршневых когенерационных установок марки MWMTSG 2020, на машиностроительном предприятии. Внешний вид газопоршневой когенерационной установки марки MWMTSG 2020, взятый из [2], приведен на рис. 1.

Целью исследования является выяснение актуальности установки когенерационных установок.

Основными задачами исследования является описание достоинств и недостатков газопоршневых генераторов и их практическое подтверждение.

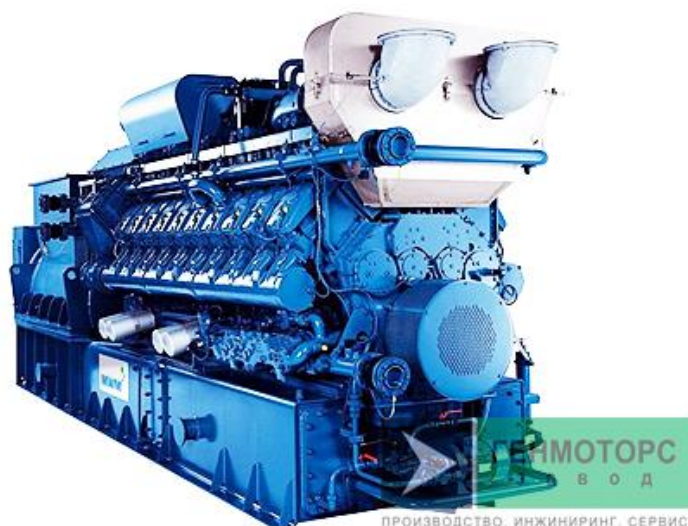


Рисунок 1. Газопоршневая установка MWMTCG 2020.

Методы исследования. Основной метод исследования – аналитический. Анализ графиков генерации позволит многое сказать о работе рассматриваемых установок: условиях их работы, режимах, надёжности.

Устройство

Газопоршневые установки (ГПУ) характеризует внешнее смесеобразование, наличие камеры сгорания и искрового зажигания. Конструктивно, он аналогичен двигателю внутреннего сгорания [3].

Рассматриваемая ГПУ имеет современный V-образный 20-цилиндровый двигатель, оснащённый турбонаддувом и двухступенчатым охлаждением смеси. На каждый цилиндр приходится одна катушка зажигания, каждой из которых управляет микропроцессорный блок управления [4].

Мощность данного двигателя составляет 2055 л.с. при скорости вращения коленчатого вала 1500 об/мин. Двигатель вращает генератор с максимальной мощностью 2 МВт [4].

Особенности эксплуатации

Преимуществами ГПУ являются:

1. Высокий электрический КПД. При сравнении с аналогичными установками, такими как газотурбинные или паропоршневые установки, КПД газопоршневой установки на 10% выше, и этот уровень практически не падает при снижении мощности [5];

2. Относительно низкая цена. Газотурбинные электростанции дороже газопоршневых в 2–3 раза при одинаковой мощности;

3. Небольшое потребление газа и относительно небольшой выхлоп [6].

Результаты исследований, их обсуждение. Машиностроительное предприятие, на котором установлены рассматриваемые газопоршневые установки марки MWMTSG 2020, располагает 3 агрегатами.

Все установки находятся в работе 24 часа, распределение нагрузки осуществляется автоматически.

На рисунке 2 показаны реальные графики генерации электрической энергии за 2019 год. Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, как изменяется суммарная генерация при переходе от холодных месяцев к более тёплым и наоборот. Прежде всего такая тенденция обуславливается использованием отопления и связанных с ним устройств циркуляции теплоносителя.

Таблица 1

Электроденергия, выработанная ГПУ за 11 месяцев 2019 года

Ме- сяц	№	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
	ГПУ-1	433839	0	277538	440495	0	0	367273	672785	383245	114	274254
	ГПУ-2	400980	0	269686	807325	1005903	1081928	1066687	1139024	1113600	1208691	1220886
	ГПУ-3	474934	852598	820059	692479	562934	849974	709838	992354	924261	1123322	1137279
Итого		1309753	852598	1367283	1940299	1568837	1931902	2143798	2804163	2421106	2332127	1495140

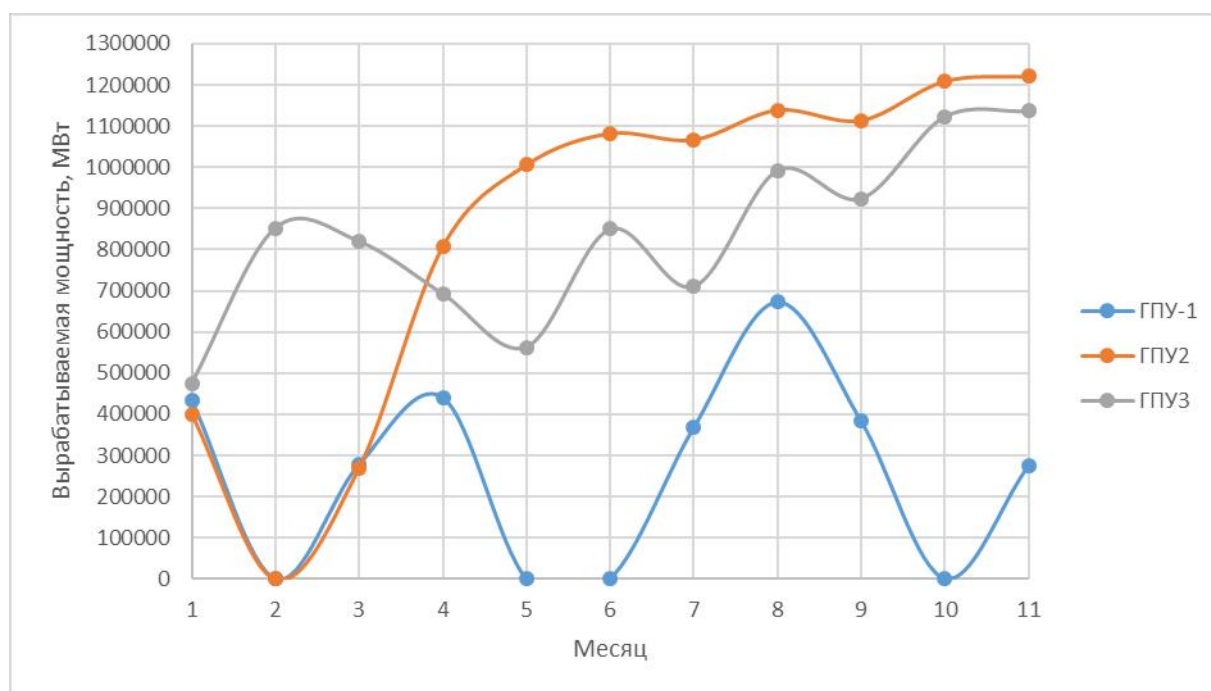


Рисунок 2. Графики генерации ГПУ за 2019 г.

Обращая внимание на график ГПУ-1 и ГПУ-2, можно заметить области с нулевыми значениями. Так, для ГПУ-1 данное значение было неизменно в течение всего мая. Данное явление обусловлено главным недостатком газопоршневых установок – большим количеством подвижных частей. Зачастую большинство поломок удаётся исправить в течение нескольких часов, однако стоит отметить, что такое явление как поломка возникает регулярно, непредсказуемо и по разным причинам. Наиболее частые это нарушения работы системы топливоподачи и системы охлаждения [1].

Но не всегда удаётся оперативно устранить неисправность. Так в случае с ГПУ-1, возникшая поломка маслососа, обеспечила простой агрегата в течение всего мая. Это связано с тем, что производство данных установок и запчастей находится в Германии, таким образом, вопрос доставки затягивает процесс ремонта, особенно в современных реалиях.

Безусловно, установка подобного рода устройств связана с капитальными затратами как на разработку проекта подключения мини теплоэлектроцентрали, так и на строительство объектов инфраструктуры. Однако, несмотря на невысокую надёжность, эти затраты окупаются в первые несколько лет за счёт использования дешёвого природного газа в качестве топлива [2].

Выводы. Таким образом, установка мини-ТЭЦ на базе газопоршневых двигателей MWMTCG 2020 экономически перспективна в качестве основного источника электроэнергии. Высокий КПД в совокупности с невысокой ценой природного газа обуславливают низкую цену 1 кВт·ч. Окупаемость данных устройств, при достаточном энергопотреблении, составляет около двух лет. Такие достоинства демонстрируют экономическую выгоду для установки на предприятиях иного профиля.

Библиографический список

1. Соколов В. Ю., Наумов С. А., Садчиков А. В. Особенности когенерационной выработки энергии газопоршневыми электростанциями // Сельский механизатор. 2016. № 11. С. 30–33.
2. Газовый генератор MWMTCG 2020 V20 (2000 кВт). URL: <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/mwm-tcg-2020-v20-2000-kvt/> (29.03.2023).
3. Газопоршневые и газотурбинные электростанции – в чем разница? URL: <https://www.ek-prometey.ru/articles/gazoporshnevaya-ili-gazoturbinnayaelektrostantsiya.html> (28.03.2023).

4. Газовый генератор MWMTCG 2020 V20 (2000 кВт). URL: <https://www.mwm.net/en/gas-engines-gensets/gas-engine-tcg-2020/> (29.03.2023).

5. Что лучше, надежнее, экономичнее для автономной электростанции: газопоршневые или газотурбинные силовые агрегаты? URL: https://manbw.ru/analytics/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html (11.01.2020)

6. Кромин Ю. В. Попутный газ – топливо для газопоршневых ТЭЦ // Турбины и дизели. 2007. № 5.

Определение целевой функции свойств смесевых топлив для применения в тракторном дизеле

Бузиков Шамиль Викторович, кандидат технических наук, доцент
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: определение целевой функции, связывающей в себе различные численные значения свойств смесового топлива является актуальной задачей. Определение целевой функции осуществлялось исходя из определения так называемого принципа «бутылочного горлышка». Расчёт критерия оптимизации видов и составов смесевых топлив, применяемых в тракторном дизеле марки Д-245.5S2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 показал, что наиболее оптимальным по применимости является рапсовое масло с возможной добавкой его к дизельному топливу до 69 %. Среди эфиров растительных масел наиболее оптимальным является этиловый эфир рапсового масла с возможной добавкой его к дизельному топливу до 56 %. Среди низших спиртов – этиловый спирт с возможной добавкой его до 51 %, соответственно.

Ключевые слова: тракторный дизель, альтернативное топливо, смесовое топливо, целевая функция.

Введение. Работа тракторного дизеля на различных видах и составах смесового топлива, в первую очередь связана с рядом проблем, возникающих из-за того, что числовые значения свойств альтернативных топлив отличаются от дизельного топлива [1]. А в результате их смешивания в различных пропорциях с получением смесового топлива, возникают иные числовые значения этих свойств [2]. В ряде случаев некоторые свойства смесового топлива не подчиняются условиям аддитивности, поэтому нарушается прямая корреляция между свойствами смесового топлива, его компонентов и их концентраций. Также стоит отметить что некоторые свойства смесового топлива связаны между собой и в некоторых случаях являются производными друг друга [3]. Поэтому для определения целевой функции, связывающей в себе различные численные значения свойств смесового топлива, необходимо задаться определенным критерием оптимизации. Основным условием оптимальности данного критерия является такая возможная числовая область концентраций альтернативного топлива в смесовом топливе, обеспечивающая условие работоспособности тракторного дизеля. Тогда из вышесказанного определили элементы оптимизации. Во-первых, внутренние параметры объекта оптимизации являются численные значения свойств смесового топлива, обозначенные в виде n -мерного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Во-вторых, выходные параметры объекта оптимизации являют-

ся численные значения диапазонов концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе, обозначенные в виде m -мерного вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$.

Методы исследования. В общем виде детерминированную модель объекта оптимизации задали в следующем виде:

$$Y = F(X) \quad (1)$$

Тогда требования к объекту оптимизации сформулировали в виде системы неравенств:

$$\begin{cases} x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i \in [1, n] \\ y_j^- \leq y_j \leq y_j^+, j \in [1, m] \end{cases} \quad (2)$$

где x_i^- и x_i^+ – минимальное и максимальное числовое значение свойства смесевое топлива;

i – порядковая переменная свойств смесевое топлива;

n – количество свойств смесевое топлива;

y_j^- и y_j^+ – минимальное и максимальное числовое значение концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе;

j – порядковая переменная числового значения концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе;

m – количество числовых диапазонов концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе.

Т. к. уже было сказано ранее некоторые свойства смесевое топлива коррелируют между собой. Поэтому область значений концентрации альтернативного топлива в смесевом топливе для одного свойства смесевое топлива может ограничивать значение концентрации альтернативного топлива в смесевом топливе для другого свойства смесевое топлива.

Отсюда следует, что наиболее целесообразно определить целевую функцию исходя из определения так называемого «бутылочного горлышка», т. е. определить такой числовой диапазон значений концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе, который не будет ограничивать значения концентраций альтернативного топлива в смесевом топливе для всех числовых значений диапазонов свойств смесевое топлива.

Математически это выразили в следующем виде:

$$\begin{cases} y_j^+ - y_j^- = \min, j \in [1, m] \\ x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i \in [1, n] \end{cases} \quad (3)$$

Тогда детерминированная модель объекта оптимизации выглядела следующим образом:

$$\begin{cases} Y_{\min} = F(X), X \in D \\ D = \{x; x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i \in [1, n]\} \end{cases} \quad (4)$$

Используя систему уравнений (4) проводили поиск оптимальных решений, задаваясь определенными условиями.

Результаты исследований, их обсуждение. Произведем расчёт критерия оптимизации состава смесевых топлив, применяемых в тракторном дизеле марки Д-245.5S2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 используя выражения (4). Результаты теоретических расчётов применимости различных видов и составов смесевых топлив представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты теоретических расчётов
оптимальной применимости различных видов и составов
смесевых топлив для тракторного дизеля марки Д-245.5S2
размерностью 4ЧН 11,0/12,5**

Название альтернативного топлива	Сокращённое название	Содержание в СТ, %
Рапсовое масло	РМ	0 – 65
Сурепное масло	СМ	0 – 61
Редьковое масло	РедьМ	0 – 62
Льняное масло	ЛМ	0 – 61
Горчичное масло	ГМ	0 – 52
Метиловый спирт	М	0 – 35
Этиловый спирт	Э	0 – 45
Пропиловый спирт	П	0 – 42
Бутиловый спирт	Б	0 – 42
Амиловый спирт	А	0 – 39
Метиловый эфир рапсового масла	МЭРМ	0 – 39
Этиловый эфир рапсового масла	ЭЭРМ	0 – 36
Метиловый эфир льняного масла	МЭЛМ	0 – 41
Метиловый эфир горчичного масла	МЭГМ	0 – 39
Метиловый эфир сурепного масла	МЭСМ	0 – 37
Рапсовое масло	РМ	0 – 65

Анализ полученных расчётных данных (таб. 1) показал, что для тракторного дизеля марки Д-245.5S2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 среди видов альтернативного топлива, как растительные масла наиболее оптимальным по применимости является рапсовое масло с возможной добавкой его к дизельному топливу до 69 %. Среди эфиров растительных масел наиболее оптимальным является этиловый эфир рапсового масла с возможной добавкой его к дизельному топливу до 56 %. Среди низших спиртов – этанол с возможной добавкой его до 51 %.

Выводы. Проведённый расчёт критерия оптимизации видов и составов смесевых топлив, применяемых в тракторном дизеле марки Д-245.5S2 размерностью 4ЧН 11,0/12,5 показал, что для среди видов альтернативных топлив, таких как растительные масла наиболее оптимальным по применимости является рапсовое масло с возможной добавкой его к дизельному топливу до 69 %. Среди эфиров растительных масел наиболее оптимальным является этиловый эфир рапсового масла с возможной добавкой его к дизельному топливу до 56 %. Среди низших спиртов – этиловый спирт с возможной добавкой его до 51 %, соответственно.

Библиографический список

1. Плотников С. А., Заболотских Г. Э. Анализ физико-химических свойств новых смесевых топлив для автотракторных дизелей // Общество. Наука. Инновации (НПК-2022) : сб. ст. XXII Всерос. науч.-практ. конф. : в 2 т. Киров, 11–29 апреля 2022 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 435–439.
2. Денежко Л. В., Новопащин Л. А., Садов А. А. Растительные масла как биокомпонент смесевых топлив для дизелей // Научно-технический вестник: технические системы в АПК. 2019. № 4 (2.1.9). С. 57–64.
3. Арефьев А. С., Свистула А. Е. Анализ теплофизических и моторных свойств альтернативных моторных топлив // Совершенствование быстроходных двигателей : сб. материалов науч-техн. конф. студ., аспирантов и профессорско-преподавательского состава кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Барнаул, 23–24 мая 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2019. С. 85–92.

их магнитных проводимостей имеет повышенные трудоемкость и погрешность. Авторами проведен расчет магнитных проводимостей рабочих воздушных зазоров тремя методами. Расчеты проводимостей при компьютерном моделировании осуществлялось по разработанной авторами методике.

Методика исследования. Поток рабочих воздушных зазоров состоит из основного потока с торцевых поверхностей полюсов и потоков рассеяния с боковых поверхностей полюсов, их ребер и углов. Магнитная проводимость с торцевых поверхностей полюсов при аналитическом расчете рассчитывалась по известным формулам, полученным аналитическим путем и дающим незначительную погрешность. Магнитная проводимость с боковых поверхностей, ребер и углов полюсов рассчитывалась методом разбивки сложных полей на объемные магнитные трубки простой конфигурации [2]. Результаты расчетов данным методом и двумя последующими приведен в таблице 1.

При компьютерном моделировании проводимости с торцевой поверхности воздушных зазоров рассчитывались по формуле:

$$G_{\pi, \text{ср}} = \frac{\Phi_{\pi, \text{ср}}}{U_{\mu, \text{ср}}} = \frac{\Phi_{\pi, \text{ср}}}{\Phi_{\mu i} - \Phi_{\mu j}}, \quad (1)$$

где $\Phi_{\pi, \text{ср}}$ – средний поток торцевой поверхности зазора, Вб; $U_{\mu, \text{ср}}$ – среднее значение магнитного напряжения в зазоре, А.

Полные проводимости воздушных зазоров рассчитывались по формуле:

$$G_{\delta i, \text{ср}} = \frac{\Phi_{\delta i, \text{ср}}}{U_{\mu, \text{ср}}} = \frac{\Phi_{\delta i, \text{ср}}}{\Phi_{\mu i} - \Phi_{\mu j}}, \quad (2)$$

где $\Phi_{\delta i, \text{ср}}$ – средний поток зазора, Вб.

Значения потоков в формулах (1) и (2) определялись при помощи программного обеспечения (ПО) ANSYS Maxwell.

Здесь и далее рассмотрение методик осуществляется на примере зазора $\delta 1$.

Полный поток $\Phi_{\delta i, \text{ср}}$ определялся по трем точкам, равномерно расположенным по сечению якоря на расстоянии $(1,5 \dots 2)\delta$ от зазора (рис. 2).

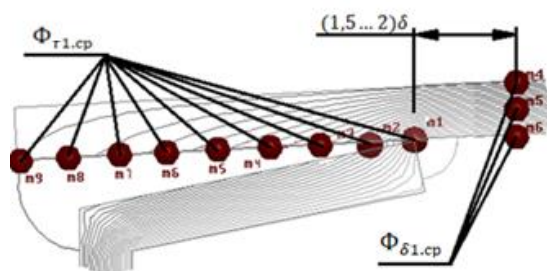


Рисунок 2. Точки для измерения потоков в зазоре δ_1 при компьютерном моделировании

Корректировка областей исследования проводимости зазоров осуществлялась методом последовательного приближения границ до маркера, использования которого в качестве границы позволяло получить равенство значений проводимости, рассчитанных аналитически и по формуле (1) (рис. 3).

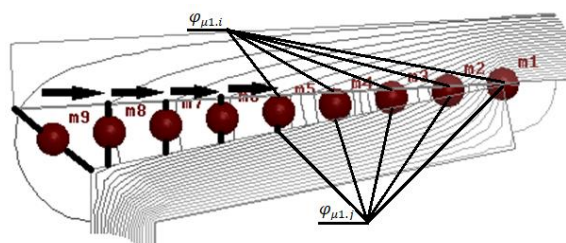


Рисунок 3. Сдвиг границы рабочего воздушного зазора δ_1

Магнитное напряжение рассчитывалось между лежащими на поверхностях якоря и полюса конечными точками линий, проходящих через маркеры, по которым измерялся магнитный поток в зазоре (рис. 3).

Рассмотренный аналитический метод трудоемок, а компьютерное моделирование сопровождается погрешностью при определении потоков с торцевой поверхности зазоров, потоков рассеяния и разности магнитных потенциалов в зазоре.

Авторы предлагают использовать комбинированный метод расчета проводимостей зазора, сущность которого заключается в следующем:

- проводимость с торцевой поверхности полюсов воздушных зазоров $G_{\text{т}}$ определять аналитическим путем по известным формулам;
- полную проводимость воздушных зазоров G_{δ_1} рассчитывать по формуле:

$$G_{\delta i} = G_T \cdot K_{si}, \quad (3)$$

где K_{si} – коэффициент рассеяния.

Коэффициент K_{si} определяется с помощью компьютерного моделирования по формуле:

$$K_{si} = \frac{\Phi_{\delta i, \text{cp}}}{\Phi_{\tau i, \text{cp}}}, \quad (4)$$

Формула (4) исключает погрешность при определении потоков.

Результаты исследования. Результаты расчетов проводимостей рабочих воздушных зазоров описанными методами представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение результатов расчета различными методами

Величина	Аналитический метод	Компьютерное моделирование	Комбинированный метод
$G_{\tau 1}$	$1,094 \cdot 10^{-6}$	$1,065 \cdot 10^{-6}$	$1,094 \cdot 10^{-6}$
K_{s1}	–	–	1,12
$G_{\delta 1}$	$1,1662 \cdot 10^{-6}$	$1,192 \cdot 10^{-6}$	$1,225 \cdot 10^{-6}$
$G_{\tau 2}$	$1,275 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$	$1,275 \cdot 10^{-6}$
K_{s2}	–	–	1,06
$G_{\delta 2}$	$1,326 \cdot 10^{-6}$	$1,335 \cdot 10^{-6}$	$1,351 \cdot 10^{-6}$
$G_{\tau 3}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,0933 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$
K_{s3}	–	–	1,68
$G_{\delta 3}$	$0,163 \cdot 10^{-6}$	$0,1567 \cdot 10^{-6}$	$0,168 \cdot 10^{-6}$

Выводы. Все рассмотренные методы дают достаточную для инженерных расчетов точность.

Аналитический метод расчета проводимостей рабочих воздушных зазоров наиболее длительный и трудоемкий из рассмотренных, однако, такая методика проверена множеством расчетов.

Методика расчета проводимостей воздушных зазоров путем компьютерного моделирования магнитного поля МС позволяет значительно экономить время. Однако, использование этого варианта должно сопровождаться наличием профильной системы автоматизированного проектирования.

Комбинированный метод является наиболее предпочтительным. Он сочетает в себе точность аналитического расчета, скорость компьютерного моделирования и дает наиболее точный результат, так как исключает:

- погрешность при определении G_{Ti} компьютерным моделированием;
- погрешность при определении $\Phi_{\delta 1.ср}$ и $\Phi_{T1.ср}$ компьютерным моделированием, используя не сами потоки, а их отношение при расчете K_{si} по формуле (4);
- погрешность, вносимую при определении $U_{\mu 1.ср}$ компьютерным моделированием, так как в данном методе оно не используется.

Библиографический список

1. Перспективный коммутационный аппарат и расчет его электромагнитного привода / В. А. Головенкин [и др.] // Общество, наука, инновации. (НПК-2022) : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. : сб. материалов, 11–29 апреля 2022 г. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2022. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Учебное пособие для вузов по специальности «Электрические и электронные аппараты» направления «Электротехника, электромеханика и электротехнология». М. : Академия, 2005. 336 с. ISBN 5-7695-2064-7

Исследование возможности применения антифрикционных композиционных вкладышей для токосъемных щеток электрических машин

Изотов Анатолий Иванович^a, кандидат технических наук, профессор
Изотов Сергей Анатольевич^b, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Фоминых Антон Анатольевич^c, кандидат технических наук, декан
Тимошенко Вячеслав Николаевич^d, кандидат технических наук,
и. о. заведующего кафедрой
Губин Илья Вячеславович^e, аспирант
Харин Алексей Николаевич^f, студент
Вятский государственный университет^{a, b, c, d, e, f}, Киров

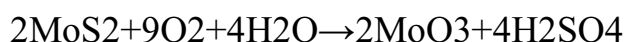
Аннотация: в работе сделана попытка натурным экспериментом на коллекторном двигателе переменного тока шлифовальной машины оценить техническую эффективность приема использования антифрикционных цилиндрических вкладышей на основе определенной марки порошка оксида цинка спеченного со связующим в серийно выпускаемых электрощетках ГЗЗИ. Использование твердо-смазывающих антифрикционных вкладышей, расположенных в середине контактной поверхности щеток параллельно друг другу и перпендикулярно контактной поверхности щетки является сравнительно простым и эффективным методом по снижению износов, позволяющим осуществлять стандартный контроль обслуживающего электромашины персонала.

Ключевые слова: износ щеток, ротапринтное твердое смазывание, электрические машины, коллекторы и токосъемные кольца.

Введение. В настоящее время в мире и в большей степени в России находятся в эксплуатации значительное количество электромеханических мощных преобразователей энергии (ЭМПЭ) с узлами скользящего контакта (УСТ). Одним из направлений снижения эксплуатационных износов элементов УСТ может являться применение в них твердых смазок. Часто необходимость увеличением антифрикционного эффектов УСТ связано с отсутствием или недостатком условий для образования политурной пленки, выполняющей в определенной степени роль твердой смазки. Существование на дорожке скольжения электрической машины ненадлежащих условий смазывания часто приводит к повышенному износу щеток и металла коллекторов (токосъемных колец), что особенно ощутимо для электрических машин большой мощности имеющих дорогостоящие контактные материалы [1–2]. Противодействие данному негативному процессу может осуществляться за счет принудительного наведения ротапринтным способом на поверхности скользящего контакта пленки инородно-

го полупроводника, обладающего антифрикционными свойствами [3–4]. Это может быть возможно за счет внедрения в саму штатную электрощетку перпендикулярно поверхности скольжения композиционных твердо-смазывающих вкладышей [5].

Данный подход к методу ротапринтного смазывания в настоящее время реализуется в УСТ коллекторных машинах, работающих в высотных разряженных по влаге и кислороду средах, в которых отсутствуют условия окисления серосодержащих твердых смазок, которым относится, в частности, дисульфид молибдена. В этом случае в электрических коллекторных машинах дисульфид молибдена устанавливают (внедряют) в щетки (ВТ-5) в виде специальных стержней (цилиндрических вкладышей) [6]. Следует, однако, отметить, что в наземных условиях особенно при повышенной влажности при воздействии кислорода воздуха дисульфид молибдена начинает окисляться даже при невысоких температурах, причем в результате этих химических превращений дисульфид молибдена постепенно трансформируется в оксид по реакции:



Это снижает эффективность применения дисульфида молибдена в наземных условиях эксплуатации электрических машин. Также следует отметить, что в настоящее время отечественная промышленность практически не выпускает дисульфид молибдена и более 80 процентов поставок в Россию осуществляется из США и Германии.

Поиск новых эффективных твердо-смазочных порошковых составов более термоустойчивых к окислению чем дисульфид молибдена и имеющих более низкую стоимость особенно применительно к электрическим машинам высокой мощности наземной эксплуатации, несомненно, представляет актуальную задачу.

Методы исследования. Для исследования возможности снижения износов щеток использовали модификацию щетки Г-33И цилиндрическими вкладышами на основе порошка оксида цинка со связующим. Исследован вариант, в котором в середине углеродистой щетки Г-33И с поперечным сечением $7,5 \times 15$ выполнено два отверстия равноудаленных от краев щетки и от друг друга пер-

пендикулярно контактной поверхности. Глубина отверстия 15 мм, диаметр отверстия 2 мм. Предварительно спеченная порошковая масса оксида цинка с связующим формировалась с определенным давлением на пресс-форме в брикеты и подвергалась термонормализации с последующим вырезанием из брикетов цилиндрических вкладышей и размещением их в отверстия щётки (рис. 1)

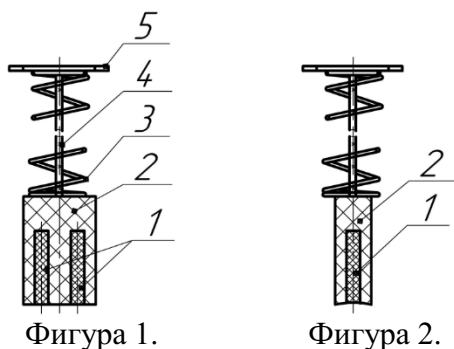


Рисунок 1. Модифицированная щетка с антифрикционными вкладышами:
1. Антифрикционные цилиндрические вкладыши; 2. Углеграфитовая часть электрощетки;
3. Щеточная пружина; 4. Щеточный металлический проводящий канатик;
5. Токосоводная тарелка
На фигуре 1 изображена щетка, общий вид; на фигуре 2-то же, вид сбоку.

Предложенные модифицированные и штатные щетки испытаны на двигателе высоконагруженной серийно выпускаемой машине МШУ-2.2-230 в течение 250 часов.

Результаты исследований, их обсуждение. Предварительно прикатанные щетки, расположенные на одной дорожке скольжения при напряжении 120В испытывали под напряжением 160В течение 250 ч.

Таблица 1

**Сравнительные измерения износов штатных щеток ГЗ3И и ГЗ3И
с цилиндрическими твердосмазывающими вкладышами
из оксида цинка со связующим**

Средние износы штатных и модифицированных щёток МШУ-2.2-230, частота вращения 19700 об/мин.				
Марка электрощетки	Г-33И(1)	ГЗ3И(2)	Г-33И(1) мод	Г-33И(2)мод
Износ по массе, г/ ч	0,01	0,013	0,003	0,004
Износ по высоте, мм /ч	0,04	0,047	0,014	0.018
Изменение износа по массе (раз)			Уменьшение в 3.3 раз	Уменьшение в 3.2 раз
Изменение износа по высоте (раз)			Уменьшение в 2,8 раз	Уменьшение в 2,6 раз

Согласно таблице 1 было достигнуто уменьшение износов модифицированных щеток в сравнении с штатными в 3,2–3,3 раза по массе и в 2,6–2,8 раза по высоте.

Выводы. Экспериментальные исследования по оценке возможности снижения износов щёточных материалов на основе использования цилиндрических твердо-смазывающих вкладышей в серийно выпускаемых ГЗЗИ на электрических коллекторных машинах переменного тока привода МШУ-2.2-230 показали достаточно высокую эффективность технического мероприятия. Применение модифицированных щеток в течении цикла 250 ч позволяет уменьшить их износы по сравнению с штатными щетками в среднем до 3 раз при полном отсутствии выработки контактной поверхности медного коллектора. По результатам исследований подана заявка на полезную модель.

Библиографический список

1. Самородов Ю. Н. Риски повреждения турбогенераторов. Библиотечка электротехника. Выпуск 3. Часть 1. М. : НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2011. 80 с.
2. Ростик Г. В. Оценка технического состояния турбогенераторов : учеб.-практ. пособие / Федер. агентство по образованию ; Ин-т повышения квалификации гос. служащих, каф. "Эксплуатация энергет. объектов и энергосбытовая деятельность", сектор "Техн. перевооружение, модернизация и ремонт в энергетике". М. : ИПК госслужбы, 2008. 489 с.
3. Семенов А. П. Высокотемпературные твердые смазные вещества // Трение и износ. 2007. Т. 28. № 5. С. 525–538.
4. Современная трибология: итоги и перспективы / под ред. К. В. Фролова. М. : ЛКИ, 2008. 480 с.
5. Броуден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел / пер. с англ. М. : Машиностроение, 1968.
6. Фиалков А. С., Вилькин М. А. Работа щеток марки ВТ-5 в условиях больших высот // Вестник электропромышленности. 1962. № 1. С. 44.

Экспериментальные исследования вторичной обмотки катушки Теслы

Кривошеин Игорь Леонидович^a, доцент
Тимшин Алексей Иванович^b, студент
Демидов Дмитрий Вячеславович^c, студент
Вятский государственный университет^{a, b, c}, Киров

Аннотация: статья посвящена экспериментальным исследованиям, а именно измерению скорости распространения электромагнитной волны в проводе катушки Тесла. Целью исследования был поиск и проверка оптимальной методики. По результатам экспериментов было получено, что непосредственное измерение погонной индуктивности прибором «Е7-15» не целесообразно из-за большой погрешности. Однако формулы расчета погонных параметров, приведенные в первой части статьи, могут быть использованы для расчета скорости распространения электромагнитной волны в проводнике обмотки. Представленная ниже методика измерения позволяет с достаточной точностью определить реальную частоту четвертьволнового резонанса конкретной катушки.

Ключевые слова: Катушка Теслы, волновой резонанс, скорость распространения, вторичная обмотка.

Введение: При изготовлении катушки Теслы важно обеспечить наложение электрического резонанса и резонанса, обусловленного стоячей волной в проводе вторичной обмотки. Задачей исследования является экспериментальное нахождение скорости распространения электромагнитной волны в катушке, для последующего вычисления частоты четвертьволнового резонанса.

Методы исследования: Анализ существующих методик измерения скорости распространения электромагнитной волны по катушке показал, что данную величину возможно косвенно измерить. Также есть возможность измерить погонные параметры непосредственно, при помощи точного прибора.

Измерение погонных параметров можно произвести на модели, для построения которой используются те же материалы, что и в самой катушке. Волна распространяется по проводнику, свёрнутому в катушку, при этом соседние витки влияют на скорость ее распространения через емкостную связь. Таким образом был собран следующий макет. На трубе из того же пластика, на котором намотана катушка, наматываются три витка провода, не имеющие электрической связи. Два крайних витка необходимо соединить между собой перемычкой. Производятся измерения индуктивности среднего витка, а также емкости между центральным и крайними витками. В результате измерений прибором

«Измеритель иммитанса Е7-15» [1] были получены следующие значения. Сопротивление витка R_B составило 26 мОм, индуктивность витка $L_B = 0,5$ мкГн, ёмкость витка $C_B = 82$ пФ.

Определим скорость распространения электромагнитной волны c'' , м/с, с использованием измеренных параметров.

$$c'' = \frac{1}{\sqrt{C_B \cdot L_B}}, \quad (1.1)$$

$$c'' = \frac{1}{\sqrt{82 \cdot 10^{-12} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}} = 156173761,9 \text{ м/с.}$$

Тогда время задержки сигнала t'_3 , мкс, составит:

$$t'_3 = \frac{L_H}{c''}, \quad (1.2)$$

где L_H – длина намотки, равная 246,540 м,

$$t'_3 = \frac{246,540}{156173761,9} \cdot 10^6 = 1,579 \text{ мкс.}$$

Для нахождения скорости распространения электромагнитной волны по катушке экспериментально, предлагается измерить время задержки электрического сигнала. Для этого будет использоваться генератор коротких импульсов [2] и двухканальный осциллограф «С1-83» [3].

Схема генератора коротких импульсов представлена на рисунке 1.

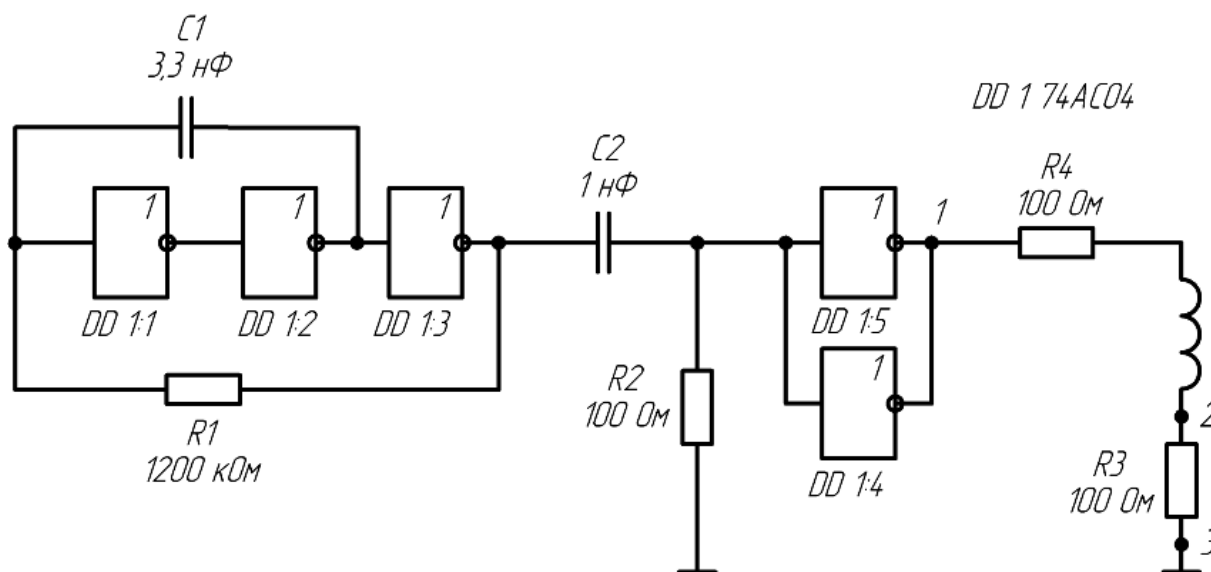


Рисунок 1 – Схема генератора коротких импульсов

Данная схема состоит из генератора прямоугольного сигнала частотой 136 кГц на элементах DD1.1-DD1.3, дифференцирующей RC цепочки, создающей очень короткий импульс напряжения, и двух параллельно подключенных элементов НЕ, усиливающих и одновременно с тем инвертирующих короткий импульс напряжения.

Двухканальный осциллограф подключается землей в точку 3 (рисунок 1), первым каналом в точку 1 (рисунок 1), вторым каналом в точку 2 (рисунок 1). Такое подключение позволяет наблюдать входящий в катушку и прошедший катушку сигналы. Осциллограмма сигналов представлена на рисунке 2.

Такая осциллограмма получается при внесении внутрь катушки заземленной трубы из алюминиевой фольги. Это не дает существенной погрешности, однако осциллограмма выходного сигнала становится более четко выраженной из-за снижения влияния внешних электромагнитных помех и приближения волнового сопротивления обмотки к сопротивлению нагрузки и генератора.

Сопротивления нагрузки и генератора импульсов могут быть отличны от волнового сопротивления катушки. Тогда электрический сигнал многократно отражается и искажается. При разложении его в ряд Фурье можно заметить ярко выраженные гармонические составляющие. При одноканальном режиме работы генератора будут ярко выражены чётные гармоники, поэтому следует также проверить, не попадают ли они в запрещённые частоты [4]. Амплитуда каждой последующей гармоники меньше основной кратно её порядку, а значит существенное влияние может иметь вторая гармоника и в меньшей степени четвертая. Частота второй гармоники больше частоты основной в два раза и составляет 608 кГц. Частота четвертой гармоники – 1216 кГц. Эти частоты не являются запрещенными в РФ, а значит помехи, генерируемые прибором, не будут «засорять» важные радиоканалы связи.

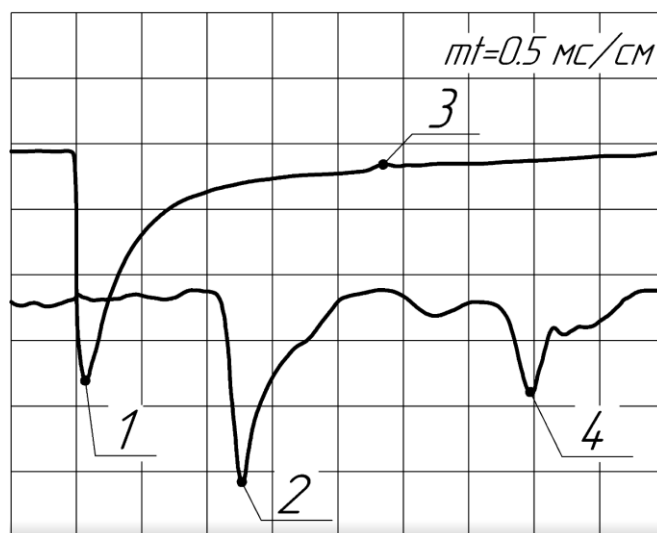


Рисунок 2 – Осциллограмма сигналов (1 – отправленный импульс, 2 – прошедший импульс, 3 – отраженный от конца импульс, 4 – вернувшийся в начало и повторно прошедший вперед импульс)

Задержка сигнала согласно измерениям осциллографом равна 1,13 мкс. Таким образом можно найти действительную скорость распространения электромагнитной волны c'_3 , м/с.

$$c'_3 = \frac{L_{\text{н}}}{t_3^3}, \quad (1.3)$$

где t_3^3 – измеренное экспериментально время задержки равное 1,13 мкс.

$$c'_3 = \frac{246,540}{1,13} \cdot 10^6 = 218176991,2 \text{ м/с.}$$

Сравним скорость распространения волны и время задержки, полученные разными способами в таблице 2.

Таблица 1

Сравнение расчетных и эмпирических данных

	c' , м/с	Погрешность c' относительно c'_3 , %	t_3 , мкс	Погрешность t_3 , относительно t_3^3 , %
Расчет	178970048,7	17,97%	1,378	21,95%
«Е7-15»	156173761,9	28,42%	1,579	37,73%
«С1-83»	218176991,2	–	1,130	–

Результаты исследования и обсуждения:

По результатам исследования выяснилось, что измерение погонных параметров обмотки прибором «Е7-15» не эффективно ввиду низкой чувствительности прибора к измерениям малых индуктивностей. Погрешность расчета скоро-

сти волны по предложенным формулам в первой части статьи составляет 17,97%, что позволяет предварительно намотать катушку под конкретную частоту волнового резонанса.

Выводы: 1. Формулы расчета погонных параметров, приведенные в первой части статьи, подходят для расчета скорости распространения электромагнитной волны в проводнике обмотки. Использование этих формул позволяет сэкономить много времени и предварительно изготовить катушку с параметрами, близкими к идеальным.

2. Использование прибора «Е7-15» для определения малой погонной индуктивности не целесообразно из-за большой погрешности измерения.

Библиографический список

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации измерителя иммитанса «Е7-15», 2.724.014 ТО. Кн. 1. 1992. 122 с.
2. Бирюков С. А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах, М., 1990. 129 с.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации осциллографа универсального «С1-83». Альбом № 1. 1983. 127 с.
4. Постановление Правительства РФ от 18 сентября 2019 г. № 1203-47 "Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации "; принято 04.05.2021. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Исследование асинхронного двигателя с питанием от преобразователя частоты мощностью 3,8 кВт

Леготин Александр Борисович^a, доцент
Суворов Василий Николаевич^b, бакалавр
Вятский государственный университет^{a, b}, Киров

Аннотация: разработка частотно-управляемого асинхронного двигателя для подъемно-транспортных механизмов мощностью 3,8 кВт является одной из задач, решаемых на ОАО «Лепсе», г. Киров. Цель статьи – выбрать геометрию и размеры пазов статора и ротора, оценить влияние размеров диаметров проводов обмотки статора на характеристики двигателя для получения наибольших энергетических показателей. Исследуются также характеристики двигателя при разных частотах управления.

При расчете геометрических размеров двигателя применялся закон полного тока для магнитной цепи. Расчет параметров двигателя, рабочих и механических характеристик производился исходя из схем замещения фаз обмоток статора и ротора. В качестве основного закона регулирования частоты вращения выбран закон пропорционального регулирования питающего напряжения и частоты $U_\alpha / f_\alpha = const$, где $U_\alpha = \alpha \cdot U_H$, U_H – номинальное напряжение, $\alpha = f_\alpha / f_H$ – относительное значение частоты; f_α – фактическая частота; f_H – номинальное значение частоты. Полученные результаты расчетов соответствуют номинальным значениям, заданным в техническом задании.

Разработанный двигатель рекомендуется принять к изготовлению на ОАО «Лепсе» с вариантом диаметра провода статора, предложенным на кафедре электрических машин и аппаратов ВятГУ.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотное регулирование, рабочие характеристики, механические характеристики, энергетические показатели.

Введение. Асинхронные двигатели с управлением от автономных преобразователей частоты находят широкое применение благодаря возможности плавного пуска и регулирования частоты вращения в широком диапазоне.

Так как повышение энергоэффективности частотно-регулируемого электропривода с асинхронными двигателями (АД) является актуальной задачей, то этому посвящено большое количество научных публикаций.

В [1] рассмотрены основные законы регулирования питающего напряжения и частоты с точки зрения уменьшения энергопотребления и сделан вывод, что наибольший КПД и $\cos \varphi$ обеспечивается при управлении по закону постоянства потокосцепления ротора $\psi_R = const$. Цель настоящей статьи – разработка асинхронного двигателя с питанием от преобразователя частоты мощностью 3,8 кВт с высокими энергетическими показателями.

Методы исследования. В качестве исходных данных разрабатываемого двигателя ОАО «Лепсе» были предложены следующие: активная длина магнитопровода, внутренний и наружный диаметры статора, диаметр элементарного проводника обмотки статора $d = 0,9$ мм, номинальная полезная мощность $P_{2H} = 3,8$ кВт; номинальное напряжение $U_H = 16$ В; номинальная частота сети $f_H = 120$ Гц; номинальная частота вращения $n_H = 3500$ об/мин, номинальный момент на валу $M_{2H} = 10,4$ Н · м.

Выбор электромагнитных нагрузок проводился по [2, с.340]. Расчет формы и размеров пазов статора выполнялся по [2, с.356], формы и размеров пазов ротора по [2, с.368]. Магнитная цепь рассчитана по [2, с.385]. Расчеты активных и индуктивных сопротивлений фазы обмотки статора, приведенных активных и индуктивных сопротивлений фазы обмотки ротора, сопротивления взаимной индуктивности и сопротивления, эквивалентного потерям в стали выполнялись по [2, с.396]. Потери и КПД рассчитаны по [2, с.411]. Рабочие характеристики рассчитаны по [2, с.418]. Электромагнитный момент рассчитывался на основании схем замещения для закона $U/f = \text{const}$ по формуле

$$M_{\text{ЭМ}\alpha} = \frac{m_1 \cdot U_{\alpha}^2 \cdot R_R}{s_x \cdot \omega_{1\alpha} [(R_S + c_1 \cdot R_R / s_x)^2 + (X_S + c_1 \cdot X_R)^2]}, \quad (1)$$

где m_1 – число фаз; при частоте f_{α} индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора $X_S = \alpha \cdot X_{SH}$, приведенное индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки ротора $X_R = \alpha \cdot X_{RH}$, активное сопротивление фазы обмотки статора – R_S , приведенное активное сопротивление фазы обмотки ротора – R_R , s_x – скольжение, соответствующее расчетной частоте; $\omega_{1\alpha} = 2\pi f_{\alpha} / p$ – синхронная частота вращения магнитного поля при частоте f_{α} ; p – число пар полюсов; $c_1 = \left| 1 + \frac{R_S + jX_S}{R_m + jX_m} \right|$ – коэффициент рассеяния; R_m – сопротивление, эквивалентное потерям в стали, оно изменяется по закону $R_m = R_{mH} \cdot \alpha^{1,5}$ (R_{mH} – сопротивление, эквивалентное потерям в стали при номинальной частоте f_H); X_m – сопротивление взаимоиндукции, оно изменяется по закону $X_m = \alpha \cdot X_{mH}$ (X_{mH} – сопротивление взаимоиндукции при номинальной частоте f_H).

Расчет электромагнитного момента при скольжениях s_x , рассчитываемых по формуле (16) [1, с. 17], приводит к заниженным по значениям электромагнитным моментам (меньше номинального момента на валу). Поэтому при расчете электромагнитного момента по (1) при номинальной частоте $f_H = 120$ Гц необходимо брать скольжение s_x , полученное при расчете рабочих характеристик при мощности $P_{2H} = 3,8$ кВт.

С целью получения более высоких энергетических показателей (КПД, $\cos \varphi$) осуществлен перерасчет двигателя в тех же габаритах (активная длина магнитопровода, внутренний и наружный диаметры статора), но при другом диаметре элементарного проводника обмотки статора $d = 1,32$ мм. При этом увеличились размеры паза статора и изменилась геометрия магнитной системы статора.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты расчета рабочих характеристик и энергетические показатели, полученные при диаметре элементарного проводника обмотки статора $d = 0,9$ мм, приведены в табл.1.

Таблица 1

**Рабочие характеристики и энергетические показатели
при диаметре элементарного проводника обмотки статора $d = 0,9$ мм**

s_x	$f_\alpha, \text{Гц}$	$I_1, \text{А}$	$P_1, \text{кВт}$	$P_2, \text{кВт}$	η	$\cos \varphi$	$\eta \cdot \cos \varphi$
0,164	30	137,2	1,478	0,653	0,442	0,894	0,395
0,088	40	112,1	1,698	1,05	0,618	0,891	0,55
0,048	60	109,6	2,331	1,746	0,749	0,887	0,664
0,029	90	105,5	3,361	2,767	0,823	0,885	0,728
0,0207	120	104,3	4,433	3,8	0,857	0,885	0,728
0,017	140	103,1	5,107	4,5	0,881	0,884	0,779

В табл. 1: I_1 – ток, потребляемый двигателем; P_1 - активная мощность, потребляемая из сети; P_2 - полезная мощность на валу, s_x – скольжение; η – КПД; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Расчет показал, что двигатель обеспечивает постоянный электромагнитный момент $M_{\Sigma M\alpha} \approx 10,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, найденный по (1), в диапазоне частот $f_\alpha = 30 - 140$ Гц. При частоте $f_\alpha = 10$ Гц двигатель развивает $M_{\Sigma M\alpha} = 3,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$; при частоте $f_\alpha = 20$ Гц $M_{\Sigma M\alpha} = 8,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При этом полез-

ный момент на валу M_2 изменяется от $8,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при частоте $f_\alpha = 30 \text{ Гц}$ до $10,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при $f_\alpha = 140 \text{ Гц}$.

Параметры схемы замещения: $R_S = 0,00996 \text{ Ом}$; $X_{SH} = 0,0136 \text{ Ом}$; $R_{mH} = 0,0362 \text{ Ом}$; $X_{mH} = 0,4513 \text{ Ом}$; $R_R = 0,0032 \text{ Ом}$; $X_{RH} = 0,0129 \text{ Ом}$.

Результаты расчета рабочих характеристик и энергетические показатели, полученные при диаметре элементарного проводника обмотки статора $d = 1,32 \text{ мм}$, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рабочие характеристики и энергетические показатели при диаметре элементарного проводника обмотки статора $d = 1,32 \text{ мм}$

s_x	$f_\alpha, \text{Гц}$	$I_1, \text{А}$	$P_1, \text{кВт}$	$P_2, \text{кВт}$	η	$\cos \varphi$	$\eta \cdot \cos \varphi$
0,237	20	130,6	0,879	0,31	0,353	0,841	0,2969
0,071	40	108,4	1,53	1,104	0,723	0,881	0,637
0,043	60	104,3	2,2	1,77	0,805	0,878	0,7068
0,027	90	102,7	3,25	2,77	0,854	0,879	0,7506
0,0197	120	102,6	4,34	3,8	0,876	0,881	0,772
0,0167	140	102,9	5,09	4,5	0,885	0,882	0,7806

Двигатель с увеличенным диаметром элементарного проводника развивает электромагнитный момент $M_{эм\alpha} \approx 10,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ в диапазоне частот $f_\alpha = 20 - 140 \text{ Гц}$. При частоте $f_\alpha = 10$ электромагнитный момент $M_{эм\alpha} = 5,54 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Полезный момент на валу изменяется от $6,47 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при частоте $f_\alpha = 20 \text{ Гц}$ до $10,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при частоте 120 Гц . Параметры схемы замещения: $R_S = 0,00658 \text{ Ом}$; $X_{SH} = 0,0137 \text{ Ом}$; $R_{mH} = 0,0462 \text{ Ом}$; $X_{mH} = 0,439 \text{ Ом}$; $R_R = 0,0032 \text{ Ом}$; $X_{RH} = 0,0129 \text{ Ом}$.

Из сравнения результатов расчета (см. табл.1 и табл.2) следует, что коэффициент эффективности, т.е. произведение КПД и коэффициента мощности ($\eta \cdot \cos \varphi$) получается больше при диаметре элементарного проводника статора $d = 1,32 \text{ мм}$.

Выводы: 1. В связи с лучшими энергетическими показателями рекомендуется к внедрению на ОАО «Лепсе» двигатель с диаметром элементарного проводника обмотки статора $d = 1,32 \text{ мм}$ и геометрией статора, соответствующей этому диаметру проводника.

Библиографический список

1. Соколова Е. М., Мощинский Ю. А. Оценка классических законов управления частотно-регулируемых асинхронных двигателей // Электричество. 2019. № 12. С. 14–20.
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.

Исследование изменения температуры теплоносителя при транспортировке по трубопроводам водяных тепловых сетей при различных исходных температурных графиках

Лыскова Екатерина Алексеевна^a, студент
Суворов Дмитрий Михайлович^b, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
Вятский государственный университет^{a, b}, Киров

Аннотация: произведено исследование остывания теплоносителя для подающего и обратного трубопроводов для различных температурных графиков водяной тепловой сети ТЭЦ. Исследование проводилось на основании данных отопительной нагрузки и длительности стояния наружных температур воздуха для г. Кирова. Установлена линейная зависимость остывания теплоносителя в подающем трубопроводе от температуры наружного воздуха, а также его существенная зависимость от максимальной температуры теплоносителя. Определено также, что коэффициент распределения остывания теплоносителя между подающим и обратным трубопроводами существенно зависит от максимальной температуры теплоносителя, но слабо зависит от температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: температурный график, удельные тепловые потери, остывание теплоносителя, коэффициент распределения.

Введение. Одной из главных задач энергетики является обеспечение комфортной жизни населения. Путем регулирования отопительной нагрузки необходимо обеспечить заданную в нормативных документах температуру воздуха в жилых и общественных зданиях [1]. При транспортировке теплоносителя по тепловым сетям часть тепловой энергии теряется. Потери тепловой энергии зависят от температуры наружного воздуха, температурного графика, длины трубопроводов и расхода теплоносителя.

Целью данной работы является проведения сравнительного анализа остывания теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети при различных исходных температурных графиках для модельной ТЭЦ г. Кирова.

Из цели вытекает постановка следующих задач: 1. Рассчитать величину остывания теплоносителя в сети подающего трубопровода для исследуемых температурных графиков. 2. Построить графики зависимости остывания сетевой воды от температуры наружного воздуха. 3. Рассчитать коэффициент K_p отношения остывания в подающих трубопроводах к суммарному остыванию теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах в зависимости от наружной температуры.

Методы исследования. Методологической основой расчета удельных тепловых потерь послужил метод, представленный в работах Пятина А. А. [2; 3]. Данный метод позволяет учесть не только тепловые потери теплоносителя, но и учесть их зависимость от многих параметров. Основная зависимость, характеризующая данный метод, указана в [1, формула (2)].

Исследование проведено для трех вариантов исходных температурных графиков с максимальными температурами 150, 130 и 110 °С при различных температурах наружного воздуха. Данные графики рассчитаны только на нагрузку отопления, с основными параметрами: расчетная отопительная нагрузка $Q_{от} = 220 \text{ МВт}$; расчетная температура для проектирования систем отопления $t_{но} = -33 \text{ °С}$. Расчет вели для трубопроводов подземной канальной прокладки с диаметрами $d_y = 600 \text{ мм}$ и $d_y = 250 \text{ мм}$ (Рисунок 1).

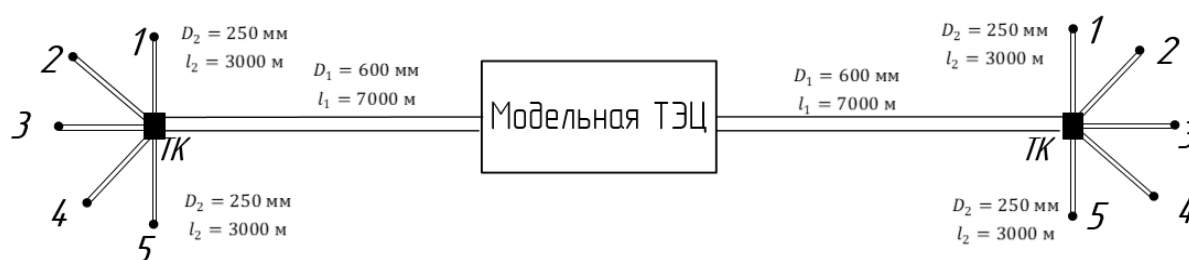


Рисунок 1 – схема магистральных трубопроводов от ТЭЦ:
ТК-тепловая камера; 1–5 тепловые потребители.

Результаты исследования, их обсуждение.

Опираясь на ранее проведенные исследования, рассмотрим пример расчета для исходного температурного графика (ИТГ) 150/70°С. Расчет произведен для каждого целочисленного значения наружной температуры. При этом использованы исходные данные и формулы из предыдущих работ [1; 4; 5]. На первоначальном этапе определены удельные тепловые потери в трубопроводах. Далее определены суммарные тепловые потери теплоносителя в трубопроводах с учетом их длины и количества. На конечном этапе, рассчитаны остывание теплоносителя и коэффициент распределения. Полученные в ходе расчета результаты представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1

Результаты расчета остывания теплоносителя при исходном температурном графике 150/70 °С для подающего трубопровода

t_n , °С	Температурный график 150/70								
	dy=600 мм					dy=250 мм			
	$q_{уд.пр}$, Вт/м	$Q_{пот}$, кВт	$\Delta t_{ост}$, °С	K_p	$q_{уд.пр}$, Вт/м	$Q_{пот}$, кВт	$\Delta t_{ост}$, °С	K_p	$\Delta t_{ост.сум}$, °С
8	52,86	370,0	0,136	0,683	28,58	428,6	0,158	0,683	0,294
0	84,61	592,2	0,215	0,689	45,73	685,9	0,237	0,689	0,464
-10	123,01	861,6	0,313	0,693	66,53	997,9	0,362	0,693	0,675
-20	160,76	1125,3	0,410	0,696	86,90	1303,5	0,465	0,696	0,886
-30	197,87	1385,1	0,508	0,699	106,96	1604,3	0,589	0,699	1,097
-33	208,94	1462,6	0,535	0,699	112,94	1694,1	0,619	0,699	1,154
-36	220,02	1540,1	0,541	0,707	188,93	1783,94	0,627	0,707	1,168

В таблице 1 использованы следующие обозначения параметров:

t_n — температура наружного воздуха, °С; $q_{уд.пр}$ — удельные тепловые потери, Вт/м;

$Q_{пот}$ — тепловые потери, кВт; $\Delta t_{ост}$ — величина остывания теплоносителя в сети, °С;

K_p — коэффициент распределения удельных тепловых потерь;

$\Delta t_{ост.сум}$ — суммарная величина остывания теплоносителя в подающих трубопроводах.

По полученным данным наглядно видно, что коэффициент распределения одинаков для трубопроводов обоих исследованных диаметров. Далее по аналогии выполнены расчеты для температурных графиков 130/70 и 110/70. Результаты расчетов представлены далее (Рисунки 2, 3).

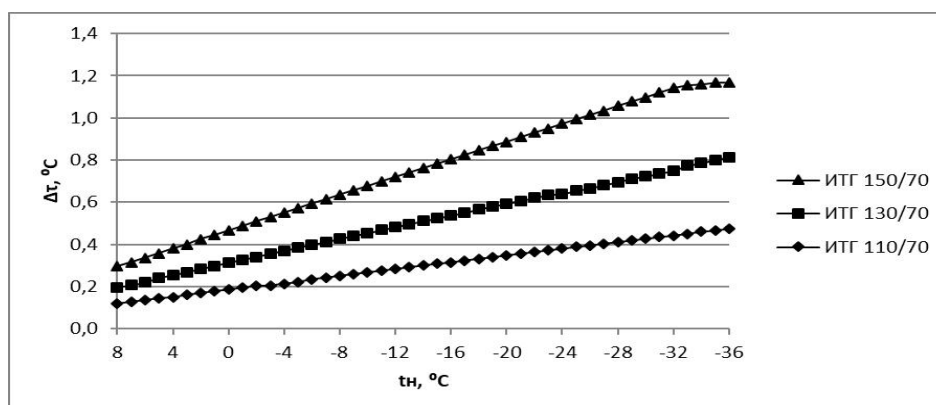


Рисунок 2. Зависимость суммарного остывания теплоносителя $\Delta t_{сум}$ в подающих трубопроводах dy=600 мм и dy=250 мм от температуры наружного воздуха.

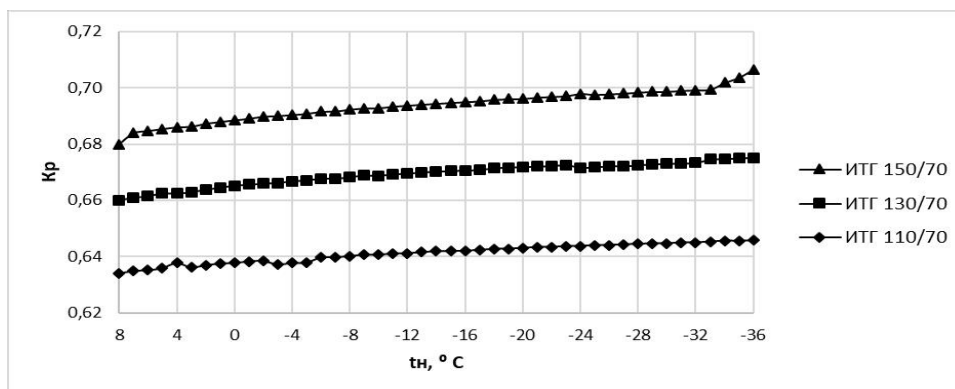


Рисунок 3. Зависимость коэффициента распределения остывания теплоносителя K_p от температуры наружного воздуха при различных температурных графиках.

Выводы. В результате исследования установлена линейная зависимость остывания теплоносителя в подающем трубопроводе от температуры наружного воздуха, а также его существенная зависимость от максимальной температуры теплоносителя. При температурном графике 150/70 остывание теплоносителя примерно в 2,5 раза выше, чем при графике 110/70. Таким образом, учитывать остывание теплоносителя в большей степени необходимо при более высоком температурном графике.

Коэффициент K_p , равный отношению остывания теплоносителя в подающем трубопроводе к суммарному остыванию теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, для исследованных температурных графиков слабо зависит от температуры наружного воздуха, и в ориентировочных расчетах его допустимо принимать как постоянную для данного графика величину. В то же время установлено, что для температурного графика с более высокой максимальной температурой теплоносителя в подающем трубопроводе значение этого коэффициента более высокое, чем для графиков с более низкими температурами.

Библиографический список

1. Лыскова Е. А., Суворов Д. М. Сопоставительный анализ остывания теплоносителя при транспортировке по трубопроводам тепловых сетей при расчете по различным методикам // Вопросы фундаментальных и прикладных научных исследований. Омск, 2023. С. 39–43.
2. Пятин А. А., Рублева В. В. Практическое уравнение режимов отопления. Часть 3. Учет потерь в отопительной сети // ЭКО-ТЭК. 2017. № 3(64). С. 44–52.
3. Пятин А. А. Уравнение режимов отопления здания. Часть 2. Вывод и проверка соответствия // Общество, наука, инновации (НПК-2015): Всерос. ежегодная науч.-практ. конф. : сб. материалов: Общеуниверситетская секция, БФ, ХФ, ФСА, ФАМ, ЭТФ, ФАВТ, ФПМТ, ФЭМ, ФГСН, ЮФ, Киров, 13–24 апреля 2015 года / ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет». Киров : Вятский государственный университет, 2015. С. 873–878.

4. Лыскова Е. А., Суворов Д. М. Эффективность работы системы теплоснабжения при утвержденном и пониженном температурных графиках // Вестник науки. Уфа, 2021. С. 49–58.
5. Лыскова Е. А., Суворов Д. М. Исследование охлаждения теплоносителя за счет нормативных тепловых потерь при его транспортировке по тепловым магистралям // Вестник науки. Уфа, 2022. С. 79–86.

Результаты испытаний умных разъединителей в рамках программы «Цифровая трансформация» в Кировской области

Новиков Алексей Викторович^a, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭС
Новоселова Ольга Александровна^b, старший преподаватель
Хорошнина Елена Николаевна^c, старший преподаватель
Светлаков Андрей Александрович^d, инженер 1-й категории
Сев. участка СРЗАИиМ
Вятский государственный университет^{a, b, c}, Киров
Филиал ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Кировэнерго»^d, Киров

Аннотация: анализируются проблемы внедрения управляемых разъединителей в Кировской области. В ходе приёмки оборудования возникла необходимость его испытаний в разных режимах. В статье приводятся результаты испытаний и вопросы как к разработчикам этих аппаратов, так и к подрядной организации, осуществлявшей их монтаж и наладку.

Ключевые слова: умный разъединитель, индикатор короткого замыкания, реклоузер, бестоковая пауза, выдержка времени.

В рамках реализации программы «Цифровая трансформация» в Кировской области к концу 2022 года приобретено 96 реклоузеров, 56 управляемых разъединителей и 169 индикаторов короткого замыкания. При формировании заказа на перечисленное оборудование учитывались указанная заводами-изготовителями область применения, возможность его адаптации к существующей схеме сетевого района и особенности эксплуатации.

По данным завода-изготовителя дистанционный управляемый разъединитель напряжением 6–10 кВ с автоматизированным приводом и индикаторами короткого замыкания (ИКЗ) предназначен для:

- 1) включения и отключения обесточенных участков электрической цепи;
- 2) отключения токов холостого хода трансформаторов и зарядных токов воздушных и кабельных линий.

ИКЗ реагируют на междуфазные короткие замыкания и однофазные замыкания на землю. Управление разъединителями осуществляется с помощью оборудования, расположенного в шкафах управления. ИКЗ позволяют изменять ток срабатывания и время задержки с учетом автоматического повторного включения (АПВ).

Использование разъединителей позволяет отключить поврежденные участки сети во время бестоковой паузы цикла АПВ. Применение ИКЗ позво-

ляет по направлению токов КЗ определить место аварии, отключить поврежденный участок и восстановить работу сети. Состояние разъединителя отображается на пульте управления диспетчера и на блоке управления разъединителя с помощью флажка и индикаторных ламп.

Удалённое отключение разъединителя с пульта управления диспетчера выполняется с помощью управляющих сигналов через SCADA-систему по протоколу МЭК-6087-5-104.

Индикаторы ИКЗ-ВЗ4Л закрепляются непосредственно на проводах линии электропередачи с помощью штанги, позволяющей производить работы без отключения линий. Комплект состоит из трёх индикаторов, каждый из которых измеряет токи и напряжения в конкретном проводе, фиксирует межфазные короткие замыкания (КЗ), однофазные замыкания на землю, определяет направление аварии и передает информацию по радиоканалу.

На основании анализа данных, полученных от всех индикаторов, блок контроля сбора и передачи данных (КСПД) определяет тип аварии и передаёт информацию через GSM-модуль в SCADA-систему пользователя по протоколу МЭК-6087-5-104.

Состояние комплекта можно определить визуально при обходе линии по ярко светящимся светодиодам, вспыхивающим при срабатывании, или по радиоканалу с помощью переносного пульта. Дистанционное состояние комплекта контролируется с помощью GSM-модуля, позволяющего передать данные напрямую в SCADA-систему и на пульт управления диспетчера. Перечисленные особенности конструкции управляемых разъединителей (их часто называют умными) присутствуют в материалах завода-изготовителя.

В качестве пилотного проекта по реализации программы «Цифровой трансформации» была выбрана Юрьянская районная эксплуатационная служба (РЭС) [1]. Проект по внедрению элементов распределенной автоматизации в Юрьянском районе предусматривает установку:

- 26 умных разъединителя;
- система контроля тока ТОРАЗ ОСТУ, производства ООО «ПиЭлСи Технолоджи»;

- система телемеханики TOPAZ TM MTU5 с функцией автоматического отключения разъединителя в бестоковую паузу, производства ООО «ПиЭлСи Технолоджи»;

- сервер доступа к данным TOPAZ IEC DAS.

Контроллер управления УПС (управляемый пункт секционирования) реализует функции автоматики отключения УПС после КЗ на линии в бестоковую паузу в случае неуспешной работы первого цикла АПВ.

Автоматика работает в случае последовательного появления событий:

- фиксация факта наличия тока КЗ;
- фиксация первой бестоковой паузы (снижения контролируемого тока до значения близкого к нулю, отсутствие напряжения на выходе ТСН).
- повторная фиксация факта наличия тока КЗ в течении времени, установленного в конфигурации (свидетельствует о неуспешном АПВ);
- фиксация второй бестоковой паузы;

После этого формируется сигнал на отключение коммутационного модуля. Общее время отключения УПС должно составляет не более 3 сек. При возникновении указанных событий по отдельности автоматика не срабатывает.

Однако, в ходе приёмки оборудования выявилось, что в проекте данные настройки не проработаны, отсутствует описание логики работы.

С целью определения логики работы, был произведен комплекс испытаний УРЛ (умный разъединитель), который выявил следующие проблемы:

1. При повторном АПВ реклоузер не отключался и отключение УРЛ происходило не в бестоковую паузу, а при протекании тока КЗ.

2. При использовании на конкретном участке сети однократного АПВ, УРЛ не сбрасывал фиксацию первого КЗ, а ждал повторное. При установке выдержки времени повторного АПВ равной нулю происходил сброс фиксации КЗ и отказ в срабатывании УРЛ.

3. При отключении и обратном подключении оптического датчика на блоке TOPAZ происходило отключение УРЛ.

4. Многие параметры, в том числе уставку наличия/отсутствия напряжения, оказалось возможным менять только при помощи программного обеспече-

ния TOPAZ HWCONFIG. При вводе в эксплуатацию, или по какой-либо другой причине, для изменения уставок необходим выезд на место установки УРЛ. Хотелось бы иметь возможность выполнять эти операции дистанционно.

Выводы:

1. По результатам работ выявлены существенные замечания в функционировании оборудования TOPAZ.
2. Ввод в работу УРЛ возможен после комплекса мероприятий:
 - устранение выявленных несоответствий и разъяснение причин их возникновения;
 - предоставление исполнительной документации, поясняющей логику работы оборудования TOPAZ.

Библиографический список

1. Проблемы и перспективы цифровой энергетики Кировской области / А. В. Новиков, Е. Н. Хорошина, О. А. Новоселова, Р. П. Вальс // Общество. Наука. Инновации : сб. ст. по материалам XXI Всерос. науч.-практ. конф. Т. 2. Киров, 2021. С. 531–538.

Основные аспекты поиска критерия экспресс-оценки статической устойчивости энергосистем

Попов Максим Георгиевич^a, доктор технических наук, профессор

Вильнер Александр Викторович^b, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭЭС

Плешкова Татьяна Алексеевна^c, кандидат технических наук, доцент

Зыков Владислав Евгеньевич^d, аспирант

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

Аннотация: доклад содержит описание проблемы трудоёмкости исследований статической устойчивости современных энергообъединений с использованием численных методов расчета системы линейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: статическая устойчивость, QR-разложение, критерий устойчивости, вычислительная сложность.

Современные тенденции развития энергетики и промышленности Российской Федерации предполагают концентрацию электропотребления в крупных городах при ограниченной пропускной способности питающих электрических сетей. Увеличение пропускной способности при сохранении оптимальной надёжности электроснабжения, как правило, приводит к значительному усложнению структуры таких энергосистем. Как следствие, значительно усложняются задачи прогнозирования и управления режимами работы энергосистем.

Для эффективного решения упомянутых задач важно иметь возможность быстрого и достоверного определения диапазона допустимых режимов, что подразумевает обязательную оценку статической устойчивости электрической сети. Если говорить о системах автоматического управления, то под «быстрым определением» будет пониматься скорость вычислений относительно быстроты протекания контролируемых процессов.

Сложность и трудоёмкость задачи исследований статической устойчивости обусловлена двумя основными факторами. Во-первых, необходимостью рассмотрения огромного многообразия схемно-режимных условий даже для одной энергосистемы. При этом объём обрабатываемых данных жестко связан с протяженностью энергосистемы и сложностью её структуры. Во-вторых, применяемыми методами расчета и математическими моделями. Исследование статической устойчивости энергосистемы с применением уточненных моделей

приводит к формированию системы дифференциальных и алгебраических уравнений высокой математической размерности. Для крупных энергосистем размерность таких систем уравнений может достигать десятков тысяч [7]. Даже если учесть, что современные матричные методы анализа устойчивости не подразумевают непосредственно решения этой системы уравнений, объем необходимых вычислений оказывается внушительным даже для современных вычислительных машин [2].

Покажем сложность решения задачи на примере оценки вычислительных затрат численного метода определения собственных значений матрицы коэффициентов системы дифференциально-алгебраических уравнений. При этом устойчивому состоянию исследуемой системы соответствует расположение в комплексной плоскости всех собственных значений (корней системы) левее мнимой оси [2, 6].

Математическое описание слабозмущенного состояния энергосистемы, представленной на рисунке 1, представляет собой систему дифференциально-алгебраических уравнений 21-го порядка. В результате её преобразования путём исключения алгебраических уравнений порядок системы уменьшается до 12. Следует подчеркнуть, что это одна из простейших тестовых схем. На практике же приходится работать с намного более сложными схемами, даже с учетом их возможного эквивалентирования.

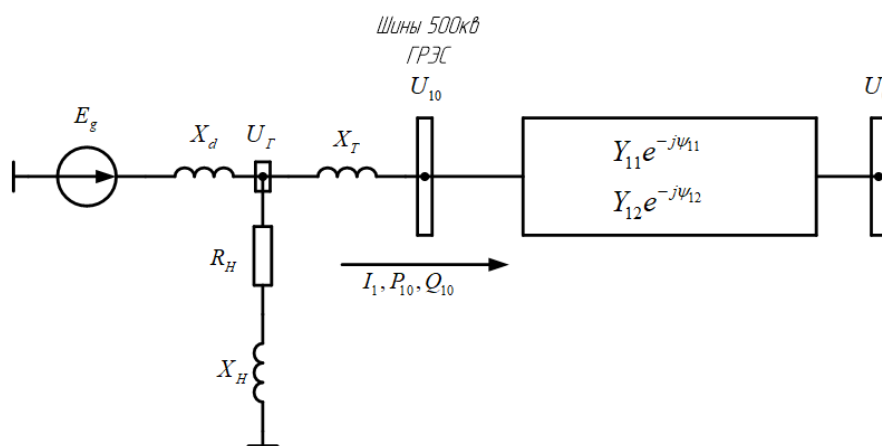


Рисунок 1. Эквивалентная расчетная схема электрической сети.

Определение корней системы уравнений слабовозмущенного состояния энергосистемы производится численным методом QR-разложения. Вычислительная сложность последовательного алгоритма QR-разложения известна и равняется $3n^3 + n^2$ за одну итерацию алгоритма, т.е. $N \times O(n^3)$, где N – количество итераций, необходимых для триангуляции матрицы, а n – количество элементов входной матрицы.

Таким образом, можем получить количество вычислительных операций необходимых для определения собственных значений в зависимости от объема входных данных.

Таблица 1

**Количество вычислительных операций
метода QR разложения в зависимости от порядка
входной матрицы и кол-ва итераций**

Порядок матрицы	n	Количество итераций метода QR-разложения					
		1	10	100	1000	3000	10000
5	25	15625	156250	1562500	15625000	46875000	1,56E+08
12	144	2985984	29859840	2,99E+08	2,99E+09	8,96E+09	2,99E+10
20	400	64000000	6,4E+08	6,4E+09	6,4E+10	1,92E+11	6,4E+11
50	2500	1,5625E+10	1,56E+11	1,56E+12	1,56E+13	4,69E+13	1,56E+14
100	10000	1E+12	1E+13	1E+14	1E+15	3E+15	1E+16

Зная количество операций можем определить процессорное время на выполнение алгоритма [таблица 2], принимая производительность процессора равной $32 \cdot 10^9$ операций/с.

Таблица 2

**Расчетное процессорное время выполнения
алгоритма QR – разложения при производительности
процессора $32 \cdot 10^9$ операций/с**

Порядок матрицы	Объём данных	Расчетное процессорное время, с					
		1	10	100	1000	3000	10000
5	25	4,8828E-08	4,88E-07	4,88E-06	4,88E-05	0,000146	0,000488
12	144	9,3312E-06	9,33E-05	0,000933	0,009331	0,027994	0,093312
20	400	0,0002	0,002	0,02	0,2	0,6	2
50	2500	0,04882813	0,488281	4,88	48,828	146,48	488,28
100	10000	3,125	31,25	312,5	3125	9375	31250

Можно заметить, что уже при размерности системы уравнений (порядке матрицы) равной 100 расчет одной итерации QR-разложения занимает несколько секунд. Для сложных энергообъединений, описываемых системами уравнений большего порядка, время расчета существенно возрастёт.

В условиях, когда время принятия решения ограничено скоростью развития нежелательных для энергосистемы электромеханических переходных процессов, для совершенствования автоматических средств обеспечения устойчивости является актуальным максимальное уменьшение времени, затрачиваемого на анализ статической устойчивости при адекватной мощности применяемых вычислительных машин. Наиболее эффективным путём достижения такой цели видится максимальное уменьшение итоговой трудоёмкости самой задачи за счёт применения упрощенных математических моделей и совершенствования самих методов анализа статической устойчивости.

Одним из перспективных направлений является развитие методов, основанных на структурном подходе к устойчивости ЭЭС, предложенном и обоснованном профессором А. А. Рагозиным [5]. Значительное развитие данный подход получил [1, 3, 4] в области совершенствования численных методов расчета и критериев структурной устойчивости. Это позволило расширить возможности применения в рамках структурного подхода упрощённых математических моделей, а также выдвинуть и обосновать новый структурный критерий статической устойчивости, основанный на контроле характера изменения свободного члена характеристического уравнения системы линеаризованных дифференциальных уравнений относительного электромеханического движения.

Полученные ранее результаты в [1, 3, 4] предопределяют возможность существования обобщенных критериев устойчивости, основанных на контроле изменения системы дифференциальных и алгебраических уравнений, т.е. коэффициентов этой системы, с целью выявления её вырождения. Такие критерии, в теории, позволят выявить неустойчивые режимы уже на этапе анализа структуры математического описания задачи исследований статической устойчивости. Оценка потенциально устойчивых режимов в этом случае производится на предварительном этапе без детального моделирования переходных процессов, что значительно сократит вычислительные затраты при исследовании задачи

обеспечения устойчивого состояния энергосистем по условиям колебательной устойчивости.

Библиографический список

1. Захарова Е. В. Критерий экспресс-оценки статической устойчивости объединенных энергосистем: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02. СПб., 2016. 180 с.
2. Методы и программное обеспечение для расчетов колебательной устойчивости энергосистем / под ред. И. А. Груздева. СПб. : Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1992. 108 с.
3. Попов М. Г. Развитие методов и программного обеспечения исследований динамических свойств электроэнергетических систем : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02. СПб., 2001. 168 с.
4. Попов М. Г., Захарова Е. В. Поисковые исследования структурных критериев статической устойчивости сложных объединенных энергосистем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. № 1(537). С. 37–43.
5. Рагозин А. А. Обобщенный анализ динамических свойств энергообъединений на основе структурного подхода : дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.02. СПб., 1998. 353 с.
6. Филиппова Н. Г. Развитие и совершенствование методов анализа статической устойчивости и синтеза динамических свойств объединенных энергосистем // Электричество. 2007. № 9. С. 26–33.
7. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах : учеб. пособие / Ю. В. Хрущев, К. И. Заповодников, А. Ю. Юшков ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 9–10.

Обзор специфики создания электрических машин морского исполнения

Сысоев Юрий Алексеевич, аспирант
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: в настоящее время электрические машины охватывают все более широкий спектр областей применения. Специальные электрические машины применяются в авиации, в атомной энергетике, в космосе, ракетостроении. В данной статье пойдет речь о морском исполнении электрических машин: исследованы положительные и отрицательные стороны морской области применения, выявлено влияние на конструкцию, на проектирование и расчеты, и оценены возможности улучшения массогабаритных и энергетических показателей. На сегодняшний день морское исполнение как накладывает свои ограничения и сложности, так и освоены случаи использования морских ограничений для улучшения характеристик машины. Результаты сведены в таблицу. В последнее время заказчики из морской отрасли все чаще обращаются для создания новых электрических машин морского исполнения, что определяет актуальность вопроса.

Ключевые слова: специфика создания, электрическая машина, морское исполнение, проектирование, конструкция.

Введение. Сегодня существует огромное количество механизмов, требующих электромеханические преобразователи энергии, а именно электродвигатели. Электродвигатели очень широко распространены: в доме – кухонная техника, при дороге на работу: в автомобиле и троллейбусе. Электродвигатели применяются и в более серьезных узлах специального назначения: авиационного исполнения – привода шасси, противообледенительные системы, системы навигации; ракетная техника – рулевые привода, морская техника – движительно-рулевые комплексы. Одновременно с большим количеством объектов применения и разной спецификой условий работы и внешних воздействующих факторов требования к электродвигателям постоянно растут. В настоящее время активно развивается морское исполнение электродвигателей: заказчики кораблестроительных предприятий заинтересованы в разработке и создании электродвигателей морского исполнения в целях гособоронзаказа. В данной статье рассмотрена специфика создания электродвигателей морского исполнения.

Цель и задача исследования – обзор специфики создания электродвигателей морского исполнения.

Морское исполнение электродвигателей несет в себе как положительные, так и отрицательные моменты. К положительным можно отнести новые возможности принципа действия электрических машин и новые области их применения.

Пример такого решения представлен в [1]. В статье говорится о том, что в обычном асинхронном электродвигателе вместо ротора применен электрод в виде стержня, а по статору расположен в виде цилиндра другой электрод. При пропускании постоянного тока через стержень происходит встречное перемещение катионов и анионов вдоль радиусов. При вращении магнитного поля статора вода под действием силы Лоренца будет выталкиваться вдоль оси вращательным движением.

В результате магнитогидродинамический асинхронный трехфазный электродвигатель для морских судов имеет большую мощность при меньших при меньших массогабаритных показателях за счет создания водяного вихря при воздействии на обмотки двигателя трехфазного напряжения [1].

Формирование вихревых потоков морской воды позволяет получить большую мощность при меньшем сопротивлении и высокую скорость истечения жидкости. Областью применения такого электродвигателя могут быть морские суда, подводные лодки, торпеды, батискафы и дроны.

Также, морское исполнение электрических машин позволяет использовать их для трансформации энергии морских волн. С этой целью применяются линейные электрические генераторы возвратно-поступательного движения с возбуждением от постоянных магнитов. Областью применения таких машин являются автономные энергетические системы электропитания бортовых потребителей навигационных и океанографических буев [5].

Отрицательной же стороной морского исполнения являются жесткие внешние воздействующие факторы морского климата.

Внешние воздействующие факторы морского характера представляют собой тяжелые условия работы двигателя. В [2] говорится о том, что разнообразие климатических поясов от арктических до тропических, влекущих за собой колебания температуры окружающей среды, высокая влажность воздуха, морская соль агрессивно действуют как на конструкционные материалы корпусов морских электродвигателей, так и на изоляционные материалы. Кроме этого, качка, наклоны, крены, дифферент судов и внешняя вибрация других объектов судов предъявляют жесткие требования к конструкции.

Кроме конструкции, морское исполнение требует уделять внимание и к самому началу создания электрической машины – к ее проектированию и расчетам.

За долгие годы исследования шумов и вибраций в электрических машинах в НПУ КЭ были разработаны научнообоснованные методы проектирования электрических машин, удовлетворяющих жесточайшим требованиям по виброакустическим характеристикам [3].

Вибрации в электрической машине можно разделить на вибрации электромагнитного и механического происхождения [2].

Вибрации электромагнитного происхождения достигается, во-первых, за счет выбора типа электродвигателя. Лучшими по электромагнитным вибрациям являются двигатели, питающиеся синусоидальным током и имеющие максимально приближенное к идеальной синусоиде. Для еще большего уменьшения вибраций электромагнитного характера снижают амплитуды гармонических составляющих магнитного поля в зазоре электрической машины путем моделирования и выделения пар гармоник с высокими амплитудами. Также существуют мероприятия по снижению уровней вибраций от основного поля на зубцовых гармониках.

Вибрации механического характера устраняются путем применения малозумных подшипников, устанавливаемых на шейки валов, обработанных по очень точным квалитетам с обеспечением минимально возможных биений и шероховатостей.

Также морское исполнение влияет и на проектирование электрических машин открытого исполнения. В [4] говорится о том, что в электрических машинах открытого исполнения все активные части омываются забортной морской водой. Это означает, что тепловые потери в обмотках передаются воде. Потери на трение ротора о воду, подшипников и гидравлические потери винтовочной нарезки также создают дополнительный нагрев активных частей электрической машины.

Это говорит о том, что плотность тока по обмотке можно увеличить в несколько раз при одинаковой линейной токовой нагрузке и рабочей индукции в

рабочем немагнитном зазоре по сравнению с герметичной жидкостнозаполненной машиной [4].

Это позволяет уменьшить массогабаритные показатели, или увеличить полезную мощность при сохранении массогабаритных показателей.

Выводы. Проведя обзор специфики создания электрических машин морского исполнения результаты можно свести в таблицу 1.

Таблица 1

Положительные и отрицательные моменты специфики создания электрических машин морского исполнения

Характеристика электрической машины морского исполнения	Положительные моменты	Отрицательные моменты
Новые возможности принципа действия	+	
Новые области применения	+	
Жесткие внешние воздействующие факторы		–
Влияние морского исполнения на проектирование и расчеты	+	–

Исходя из данных таблицы 1, влияние морского исполнения на проектирование и расчеты может быть, как отрицательной стороной, так и положительной. Отрицательная сторона заключается в том, что нужно учитывать вибрации электромагнитного и механического характера, а положительная сторона заключается в возможности уменьшения массогабаритных показателей за счет морского исполнения.

Библиографический список

1. Гаджиева С. М., Магомедов С. М., Магомедова Д. С. Разработка магнетогидродинамического асинхронного трёхфазного электродвигателя для морских судов // Научно-техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО ДГТУ Махачкала, 18–23 апреля 2016 года. С. 290–291.
2. Макриденко Л. А., Сарычев А. П., Коварский М. Е., Магин В. В. Электрические машины для специальных применений // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2008. Т. 107. С. 16–21.
3. Коварский Е. М. О расчете вибрации электрических машин // Электротехника. М., 1974. № 12.
4. Рева Ю. В. Особенности электромагнитного расчета электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 27–31.
5. Чумак В. В., Гайдаенко Ю. В., Котлярова В. В., Гайдаенко И. В. Методика электромагнитного расчета линейного генератора для преобразования энергии морских волн // Энергия – XXI ВЕК. 2012. № 1–2 (82–83). С. 46–57.

Передача энергии по гибриднему оптическому кабелю

Тиманов Андрей Алексеевич, студент
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: предметом исследования является гибридный кабель, его структура и степень применения. Кабель включает в себя оптические и силовые линии, способен передавать информацию на большие дистанции. Имеет разветвлённую сеть и возможность подключения бесконечного количества потребителей. Его область применения как на промышленных объектах, так и для частных сетей. Высокая стоимость кабеля компенсируется его весомыми преимуществами.

Ключевые слова: гибридный кабель, оптическая линия, передача, помеха, скорость.

Гибридный оптический кабель представляет собой проводник, состоящий из оптоволоконна и коаксиала. Основная задача исследования-это оценка перспективности такого проводника. Для её решения необходимо разобраться в уникальности изделия по сравнению с другими, ему аналогичными изделиями. Принцип действия кабеля-особенный, он заключается в двунаправленной и одновременной передаче сигнала. Например, по нему могут одновременно проходить следующие сигналы: цифровой, телефонный и видеосигнал. В близости от обслуживаемых объектов необходимо установить маршрутизатор, к которому будут подсоединены концы кабеля. Также не стоит забывать о наличии отдельных жил, по которым осуществляется передача электрического тока (Рис. 1).

Если же рассказать подробнее про передачу сигнала, то следует упомянуть что сигнал, поступивший в специальный маршрутизатор, кодируется (переходит в форму электрического тока) и, достигнув получателя, декодируется обратно в свою изначальную форму. [1]

Рассматриваемый способ передачи относительно современный и позволяет передавать информацию по оптоволокону на большие расстояния. Вообще, ВОЛС (волоконно-оптическая линия связи) имеет множество преимуществ: малое затухание сигнала, высокая пропускная способность и скорость передачи, информационная безопасность, пожаробезопасность и малые габариты, и масса. [2]

Именно поэтому, наличие оптики в гибридном кабеле способствует быстрой и корректной передаче информации между источником и приёмником. При сильных электромагнитных излучениях, помехи могут вносить некоторые

ошибки в передаче информации, но такие ситуации происходят только при тесном расположении с контактным проводом, и, например, при его коротком замыкании.

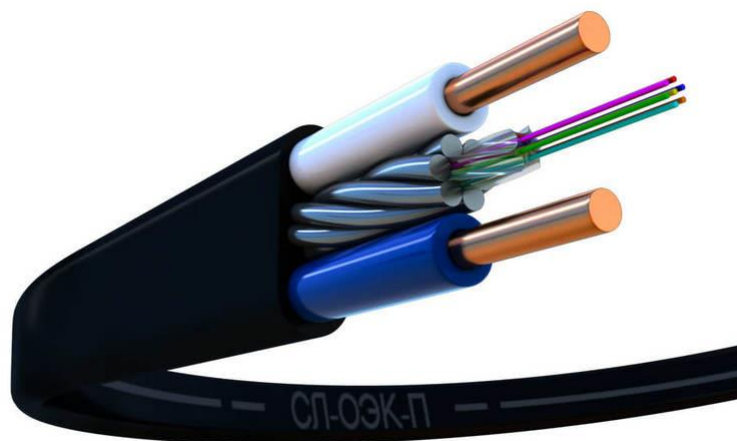


Рис. 1. Внешний вид гибридного кабеля

Лучше всего такой кабель прокладывать по земле, что приведёт к качественной двусторонней связи. Такие сети можно использовать в качестве передачи Интернета со скоростью в диапазоне от 770 Кбит/сек до 10 Мбит/сек. [3]

Структура гибридного кабеля почти не отличается от обычного, он так же может иметь:

- защиту из стальной проволоки;
- водоотталкивающую изоляцию;
- полиэтиленовую оболочку;
- изоляцию каждой жилы.

Разветвлённые и протяжённые сети гибридного кабеля можно также использовать на серьёзных промышленных объектах, но рекомендуется выделять под это отдельный шкаф или щит.

Исследуем подробнее сферу применения рассматриваемого кабеля. Одним из главных преимуществ такого кабеля является уменьшение количества кабелей, необходимых для передачи разных типов сигналов. Это позволяет сократить затраты на установку кабелей, что в свою очередь упрощает процесс установки. В дополнение к этому, гибридный кабель может снизить затраты на

обслуживание и эксплуатацию систем, так как в случае разрыва кабеля необходимо менять только один кабель, а не несколько.

Помимо этого, гибридный кабель может снизить затраты на энергию, так как небольшое количество кабелей требует меньше электроэнергии для работы. Это может иметь положительный эффект на экологическое состояние, так как уменьшение использования энергии может сократить выбросы углекислого газа в атмосферу.

Технико-экономический эффект от внедрения гибридного кабеля состоит в снижении затрат на установку, обслуживание и эксплуатацию систем, использующих коммуникационные кабели. Это может оказать значительное влияние на бизнес-процессы и экономику в целом.

Кроме того, гибридный кабель может повысить эффективность систем благодаря высокой пропускной способности и возможности передавать несколько типов сигналов по одному кабелю. Это может привести к повышению качества и скорости передачи данных, а также к более эффективному управлению и контролю систем.

В целом, такой кабель имеет большой потенциал для улучшения технологий и процессов в различных областях. Введение этой технологии может привести к снижению затрат и увеличению эффективности систем, что, в свою очередь, может улучшить экономику и нашу жизнь в целом.

Он востребован в телекоммуникации, нефтегазовой и железнодорожной отрасли, энергетике и даже космической индустрии благодаря своей способности передавать помимо энергии ещё и информацию. В энергетике данное изделие будет пользоваться спросом, т. к. имеет отличную устойчивость к помехам (сильные помехи и информационный шум свойственны подстанциям и распределительным устройствам), вследствие чего могут быть заменены устаревшие средства передачи сигналов. На воздушных линиях уже есть аналоги-грозоотросы со встроенным в них оптоволоконном.

Основной фактор роста продаж – расширение промышленности и рост количества информации, необходимой для передачи. Совокупность этих фак-

торов обуславливает рост частоты применения гибридного кабеля и его перспективность.

Сеть из такого кабеля может состоять из 4-х элементов:

Главный узел – в этом центре идёт сбор всей информации необходимой для передачи. Представляет собой группу серверов для хранения данных пользователя и ограничения доступа к определённым местам. [2]

Магистральный участок – начальный участок передачи, от которого начинается передача по оптоволоконному проводу. [2]

Распределительный участок – участок распределения информации по направлениям для доставки её пользователям. Важная особенность! Приемных точек для приёма информации по гибридным линиям может быть бесконечно. [2]

Спусковой участок – последний элемент сети, именно он влияет на работоспособность прибора-потребителя и определяет его функции. [2]

Гибридный кабель имеет такие же преимущества что и оптический кабель, а к его недостаткам относится высокая стоимость и потребность в высококвалифицированных кадрах.

Таким образом, Hybrid optical cable – одна из самых передовых технологий для передачи информации для удалённых и многочисленных потребителей разветвлённой сети, которая найдёт своё место в современной индустрии.

Список литературы

1. ВыборОК. URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-gibridnyh-opticheskikh-kabelej/> (дата обращения: 19.02.23).
2. Верник С. М., Гитин В. Я., Иванов В. С. Оптические кабели связи : учеб. пособие. М. : Радио и связь, 2014. 144 с.
3. Research gate. URL: https://www.researchgate.net/publication/308332946_Report_on_Fiber_Optic_Cables (дата обращения: 17.02.23).

Использование электронных таблиц MS Excel при проектировании двигателей постоянного тока с различными способами возбуждения

Тимошенко Вячеслав Николаевич^a, кандидат технических наук, доцент

Тими́на Наталья Владимировна^b, доцент

Карандин Григорий Анатольевич^c, студент

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

Аннотация: двигатели постоянного тока широко применяются в качестве привода электротранспорта, промышленного оборудования, а также в электроприводах исполнительных механизмов. Для таких машин применяются различные способы возбуждения. Проектирование электрической машины – достаточно сложный и длительный процесс, который можно упростить и значительно ускорить применением специальных программ, выполненных в пакете Microsoft Excel. Программа позволяет не только определить все основные параметры, построить характеристики машины, но и решать вопросы оптимального проектирования, проводить анализ влияния на выходные показатели различных факторов.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, система возбуждения, электронная таблица, рабочие характеристики.

Введение. Двигатели постоянного тока (ДПТ) обладают рядом преимуществ, к которым можно отнести практически линейные регулировочные и механические характеристики, благодаря чему обеспечивается удобство эксплуатации; большой пусковой момент; КПД при полной нагрузке, как правило, выше на 1–2 % чем у асинхронных и синхронных машин, а при неполной нагрузке преимущество может возрасти до 15 %. Основным недостатком данных устройств является высокая цена их изготовления, наличие и необходимость регулярного обслуживания коллекторно-щеточного узла, а также ограничение периода эксплуатации машины, вызванные его износом.

ДПТ могут иметь независимое, параллельное, последовательное и смешанное возбуждение (Рис. 1). В [1, с. 509–515] дано описание программы и результатов её использования для двигателей независимого и параллельного возбуждения. Задачей данного исследования является создание программного обеспечения для проектирования ДПТ последовательного возбуждения.

Методы исследования. ДПТ последовательного возбуждения представляет собой электрическую машину постоянного тока, в которой обмотка возбуждения подключена последовательно с обмоткой якоря. Главной отличительной особенностью от остальных типов двигателей является то, что ток, протекающий в якорной обмотке, равен току в обмотке возбуждения.

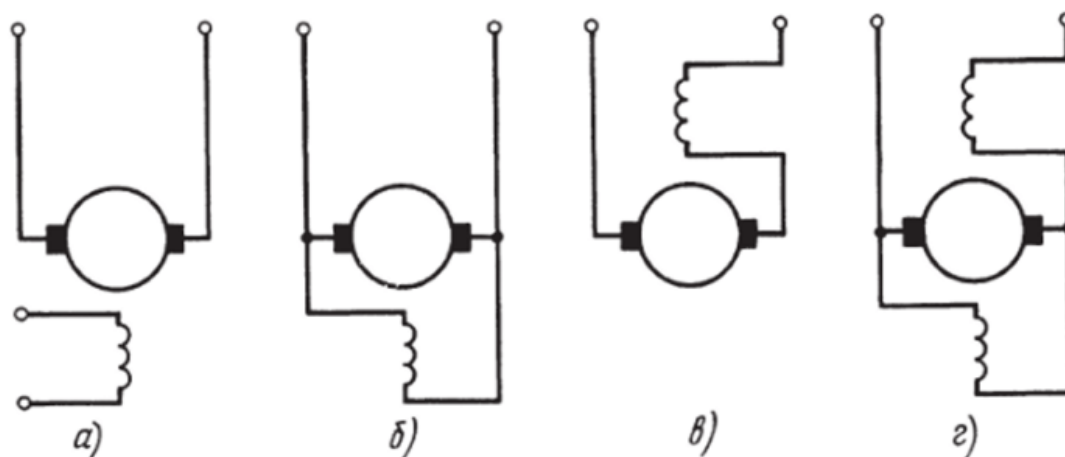


Рисунок 1. Способы возбуждения: а – независимое, б – параллельное, в – последовательное, г – смешанное.

Пакет MS Excel, как отмечалось в [2, с. 661–667], имеет ряд преимуществ и недостатков по сравнению с другими САПР. Конечно, он не подходит для проведения сложных расчетов и анализа сложных многомерных процессов, но при выполнении цепочного расчета по формулам методики [3, с. 487–654] дает отличные результаты. Работа строилась в два этапа: создание программы расчета ДПТ последовательного возбуждения, оценка и сравнение полученных результатов с точки зрения правильности, точности, и времени выполнения.

Основные отличия при проектировании ДПТ последовательного возбуждения состоят в расчете обмотки якоря и обмотки возбуждения.

Программа содержит 22 этапа расчета. Ячейки имеют заливку разными цветами согласно прилагаемой к программе инструкции, чтобы обучающийся мог лучше ориентироваться в расчёте и обращал внимание на числовые результаты в определенных ячейках в процессе работы. Также имеются примечания с ссылками на рисунки и таблицы [3, с. 487–654], необходимыми для ввода данных.

Вид этапа расчета «Выбор главных размеров» представлен на *Рис. 2*.

Программа позволяет рассчитать и построить переходную, рабочие и механические характеристики ДПТ по нескольким точкам, что является весьма трудоёмким в случае проведения данного расчёта вручную.

Вид механической характеристики двигателя представлен на *Рис. 3*.

1. Выбор главных размеров				
Параметр	Обозначение	Значения	Единицы измерения	Примечания
Высота оси вращения	h	0,18	м	выбирается по аналогу (например 2ПБ180МУХЛ4 h=0,180м) с.612 табл 11.11
Диаметр якоря	D	0,18	м	
Внутренний диаметр якоря	D _в	0,06	м	
Предварительное КПД	η	0,88	о.е.	с.605 рис. 11.7
Предварительная электромагнитная мощность	P'	10147,727	Вт	
Коэффициент полюсного перекрытия	α_p	0,65		рис. 11.8
Предварительная линейная нагрузка	A	21000	А/м	рис. 11.9
Предвар-ная индукция в возд. Зазоре	B _з	0,7	Тл	рис. 11.10
Расчетная длина воздушного зазора	l _з	0,091	м	
Критерий правильности выбора главных размеров	λ	0,506		0,4-1,25
Продолжайте...				
Число полюсов	2p	4	с.607	2p=2 при D<100мм; 2p=4 при D=112...500мм
Полюсное деление	τ	0,141	м	
Расчетная длина полюсного наконечника	b _с -b _п	0,092	м	равна ширине наконечника

Рисунок 2. Вид этапа выбора главных размеров

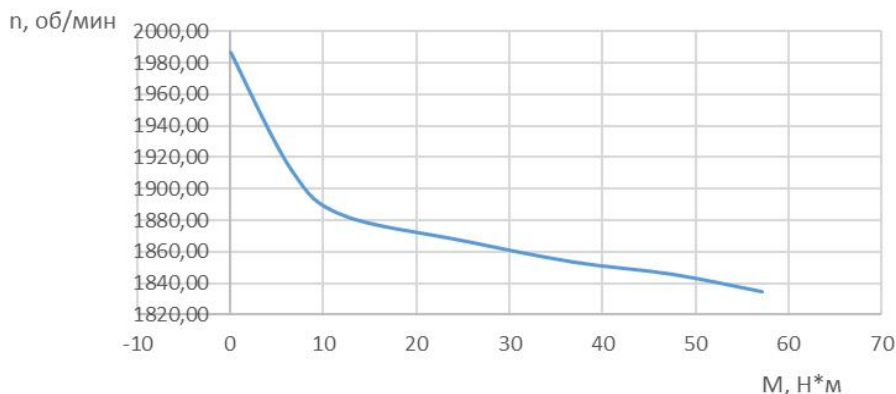


Рисунок 3. Механическая характеристика двигателя

Результаты исследования и обсуждения. В результате проделанной работы закончено оформление свидетельства о регистрации программного обеспечения «Расчет двигателя постоянного тока» независимого и параллельного возбуждения [4]. С целью расширения возможностей проведения расчетов ДПТ разработано программное обеспечение для расчета двигателя последовательного возбуждения, которое, является простым, удобным, наглядным, снижает трудоёмкость расчётов, особенно при построении характеристик машины.

Проверка работоспособности программы заключалась в проведении расчёта ДПТ мощностью 9.5 кВт. В результате были получены следующие выходные показателя, представленные в Табл. 1.

Таблица 1

Основные расчётные параметры двигателя

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Числовое значение
Номинальная мощность	P ₂	кВт	9,5
Номинальный ток якоря	I _я	А	52,84
Номинальный ток возбуждения	I _в	А	52,84
Тип возбуждения	—	—	последовательное
Тип обмотки	—	—	волновая

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Числовое значение
Плотность тока в обмотке якоря	J_a	A/m^2	$6,1 \cdot 10^6$
Воздушный зазор	δ	мм	2
Размагничивающее действие реакции якоря	F_{qd}	A	205
Плотность тока под щетками	$J_{щ}$	A/m^2	$162,268 \cdot 10^3$
Ширина зоны коммутации	$b_{з.к}$	м	0,0241
ЭДС коммутируемой секции	e_k	B	1,19
МДВ обмотки возбуждения	F_B	A	2024,3
МДВ обмотки добавочных полюсов	F_d	A	2571,1
Потребляемая мощность	P_1	кВт	11,6
Суммарные потери двигателя, кВт	ΣP	кВт	2,1
КПД двигателя	η	о.е	0,817
Номинальный момент	$M_{ном}$	Н·м	47,44
Частота вращения	$n_{ном}$	об/мин	1845

Выводы: 1. Получено свидетельство о регистрации программного обеспечения для расчета ДПТ независимого и параллельного возбуждения [4].

2. Разработано программное обеспечение для выполнения расчётов ДПТ последовательного возбуждения.

3. Программа является работоспособной, не имеет аналогов в ВятГУ и может использоваться в учебном процессе на кафедре электрических машин и аппаратов имени А. С. Большева.

Библиографический список

1. Расчеты двигателя постоянного тока с применением пакета Microsoft Excel / В. Н. Тимошенко, Н. В. Тимина, Г. А. Карандин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2022). Т. 2. Киров, 2022. С. 509–515.
2. Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин / Н. В. Тимина, А. А. Горынцев, Г. А. Карандин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). Т. 2. Киров, 2021. С. 661–667.
3. 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.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619622 от 03.06.2022 г.

Использование электронных таблиц MS Excel при проектировании асинхронных двигателей с фигурными пазами

Тимошенко Вячеслав Николаевич^а, кандидат технических наук, доцент

Тимина Наталья Владимировна^б, доцент

Горынцев Артур Александрович^с, магистрант

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

Аннотация: приводится описание работы программы расчета трёхфазного асинхронного двигателя, имеющего двойную «беличью клетку», составленную в пакете Microsoft Excel, которая позволяет выполнить электромагнитный расчёт и построить рабочие и пусковые характеристики машины. Программа позволяет проводить расчеты двигателей различных исполнений, а также имеет возможность варьирования рядом других параметров и материалов, то есть обладает определенной долей универсальности. Проведение расчетов при проектировании асинхронного двигателя сокращает затраты времени, позволяет подобрать оптимальные параметры и размеры активной части магнитопровода, поэтому является весьма полезной как в учебном процессе, так и при выполнении работ для предприятий электромашиностроения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, фигурный паз ротора, электронная таблица, проектирование.

Введение. Асинхронные двигатели (АД) – одни из самых распространенных видов электрических машина. Одной из их модификаций являются двигатели с фигурными пазами ротора, основное назначение которой – улучшение пусковых характеристик машины (повышение пускового момента двигателя). Предметом исследования выбран АД, который имеет фигурный паз ротора (Рис. 1). Задачей исследования является расширить возможности уже созданного ранее программного обеспечения [4], описанного в [1, с. 502], добавив расчет большего количества вариантов формы паза ротора.

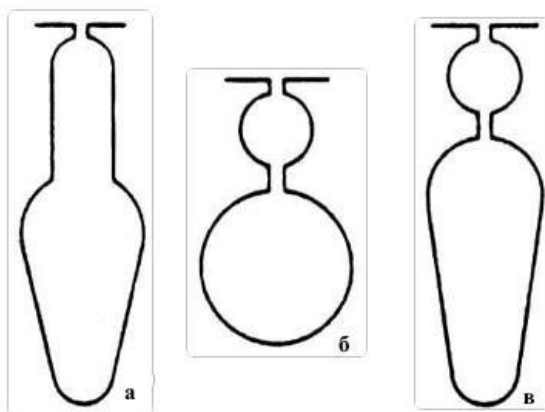


Рисунок 1. Лопаточный паз ротора (а),
паз ротора с двойной «беличьей клеткой» (б, в)

Методы исследования. Анализ существующих и применяемых в настоящее время систем автоматизированного проектирования (САПР) для расчета асинхронных машин приводится в [2, с. 661–667], где особо отмечены их достоинства и недостатки. Там же отмечаются достоинства пакета MS Excel, главными из которых являются простота управления, отсутствие дополнительных финансовых затрат на приобретение САПР, поскольку Microsoft Excel является частью пакета Microsoft Office.

Основные отличия при расчете двигателей с фигурными пазами [3, с. 441–448] заключаются в определении активных и индуктивных сопротивлений обмотки ротора, проводимости пазового рассеяния, определение магнитного напряжения зубцовых зон ротора при расчете магнитной цепи, а также в расчете пусковых характеристик.

Активное сопротивление фазы обмотки ротора, Ом,

$$r_2 = r_B(1 - \alpha) + \frac{2r_{кл}}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{r_B}{r_B + r_H}, \quad (2)$$

$$r_B = \rho_{Bv} \cdot \frac{l_B}{q_B}, \quad (3)$$

$$r_H = \rho_{Hv} \cdot \frac{l_H}{q_H}, \quad (4)$$

$\rho_{Bv}, \rho_{Hv}, l_B, l_H, q_B, q_H$ - удельные сопротивления при расчётной температуре, длины и площади поперечных сечений стержней верхней и нижней части.

Индуктивное сопротивление короткозамкнутого ротора, Ом,

$$\chi_2 = 7,9 \cdot f \cdot l'_s \cdot (\lambda_{п.в} + \lambda_{п.н} \alpha^2 + \lambda_{кл2} + \lambda_{\phi 2}) \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где $\lambda_{пв}, \lambda_{пн}$ – проводимости пазового рассеяния верхней и нижней клетки;

$\lambda_{кл2}$ – проводимость короткозамыкающего кольца; $\lambda_{\phi 2}$ – проводимость дифференциального рассеяния

$$\lambda_{пв} = \left(0,785 - \frac{b_{w2}}{2b_s} \right) \cdot K_{дв} + 0,3 + 1,12 \cdot \frac{h'_w \cdot 10^6}{I_2}, \quad (6)$$

$$\lambda_{\text{пн}} = \left[\frac{h_{1H}}{3 \cdot b_{1H}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{1H}^2}{8 \cdot q_{C.H}} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_0}{2 \cdot b_{1H}} \right] \cdot K_{\text{дн}} + \frac{h_0}{b_0}, \quad (7)$$

I_2 – ток в роторе, А; b_{u2} , b_e , h_{1H} , b_{1H} , b_0 , h_0 – размеры паза ротора, м.

Программа содержит 13 этапов расчета.

Вид этапа расчета пусковых характеристик представлен на *Рис. 2*.

При необходимости корректировки любого из параметров легко можно вернуться на любой этап расчета, при этом после введения другого значения, остальные параметры в программе изменятся (пересчитаются) автоматически.

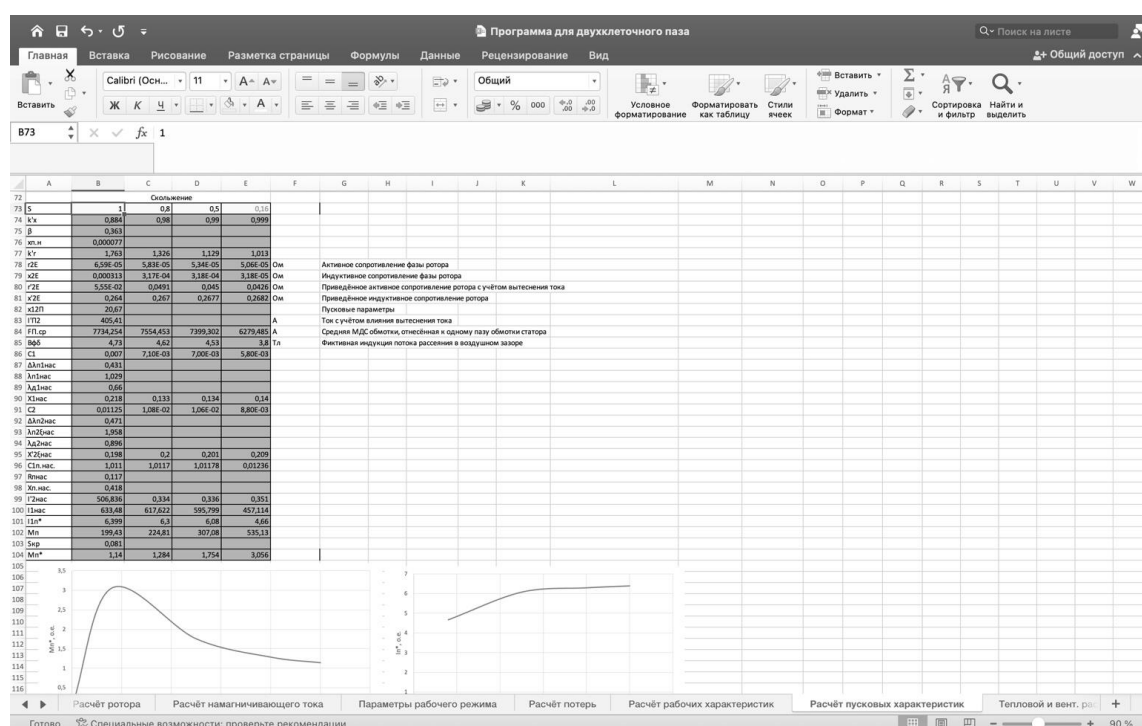


Рисунок 2. Расчет пусковых характеристик двигателя с двойной «беличьей клеткой»

Результаты исследования и обсуждения. В результате написана программа, на основе методики И. П. Копылова [3, с. 340–456], по которой можно проводить электромагнитный расчет АД с фигурным пазом ротора и исследовать влияние различных параметров на рабочие и пусковые характеристики машины. Программа проста в использовании, так как напротив каждой строки имеются примечания-подсказки из какой таблицы или графика необходимо ввести числовое значение, в каких пределах должны находиться проверяемые в конце каждого этапа наиболее важные показатели. Для удобства пользователя ячейки выделены разным цветом. Также имеется инструкция пользователя.

Работа программы была апробирована для двигателя мощностью 55 кВт с двухклеточным пазом. Полученные расчетные данные в сравнении с ручным расчетом представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Основные расчётные параметры двигателя

Параметр	Единица измерения	Расчет по программе	Ручной расчет	Погрешность, %
Активное сопротивление обмотки статора r_1	Ом	0,61	0,61	0
Активное сопротивление верхней клетки r_v	Ом	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	0
Активное сопротивление нижней клетки r_n	Ом	$0,29 \cdot 10^{-4}$	$0,31 \cdot 10^{-4}$	6,9
Активное сопротивление фазы обмотки ротора r_2	Ом	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$4,99 \cdot 10^{-5}$	2,2
Индуктивное сопротивление статора, x_1	Ом	0,19	0,18	5,56
Индуктивное сопротивление короткозамкнутого ротора x_2	Ом	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^{-4}$	5,94
Ток намагничивания I_m	А	17,5	17,22	1,6
КПД η ,	%	0,927	0,929	0,22
Коэффициент мощности $\cos\varphi$,	о.е.	0,921	0,939	1,95
Кратность пускового момента $M_{п*}$	о.е.	1,36	1,44	5,88
Кратность пускового тока $I_{п*}$	о.е.	5,089	5,13	0,81

Средняя погрешность расчета составила 2,82 %, что говорит о высокой точности его проведения.

Выводы: 1. Получено свидетельство о регистрации программного обеспечения для расчета АД с короткозамкнутым ротором (с грушевидным пазом) [4].

2. Разработано программное обеспечение на основе электронных таблиц MS Excel, которое предназначено для расчётов трёхфазного АД с короткозамкнутым ротором и фигурными пазами.

3. Программа показала свою работоспособность и может быть использована в учебном процессе для выполнения ВКР и курсовых проектов студентами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль 07 «Электромеханика».

Библиографический список

1. Создание программного обеспечения для расчета трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / В. Н. Тимошенко, Н. В. Тимина, А. А. Горынцев, К. О. Пятин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2022). Т. 2. Киров, 2022. С. 501–508.
2. Применение электронных таблиц MS Excel при проектировании электрических машин / Н. В. Тимина, А. А. Горынцев, Г. А. Карандин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). Т. 2. Киров, 2021. С. 661–667.

3. 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.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619228 от 02.06.2022.

Эффективные по быстродействию и точности управления в квазилинейных задачах

Хорошавин Валерий Степанович^a, доктор технических наук, профессор

Грудинин Виктор Степанович^b, кандидат технических наук, доцент

Гордиенко Михаил Владимирович^c, студент

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

Аннотация: для объектов, нелинейных по координатам с линейным управлением, с применением принципа максимума Понтрягина, дополненного аппаратом условий общности положения для нелинейных объектов, рассматривается связь быстродействия и точности программного движения путем введения в функционал точности изменяемой инерционности. С учетом характера состояний равновесия и ограничения на переменные получены топологии траекторий и проведено моделирование устойчивых замкнутых систем с реализацией апериодического характера переходных процессов под непрерывным особым управлением или в скользящем режиме. Результаты могут быть использованы при управлении объектами в мехатронике и робототехнике, тепловыми процессами и других приложениях.

Ключевые слова: быстродействие, точность, особое (сингулярное) управление, синтез алгоритмов и структур систем управления.

Введение. Быстродействие принято считать ведущим среди критериев оптимального управления. Для достижения предельного быстродействия, что следует из применения принципа максимума [1] в задачах с линейным управлением, в большинстве случаев необходимо кусочно-постоянное управление с максимально возможными амплитудами на интервалах знакопостоянства, что ведет к перерегулированию координат, а интервалы знакопостоянства определяются нелинейными поверхностями переключения. К тому же при оптимальном быстродействии не обеспечивается устойчивость конечного состояния. Указанные недостатки оптимального быстродействия приводят к тому, что требование минимального отклонения от заданного движения становится важнее быстродействия [2].

Для решения задачи оптимального перехода из начального состояния в конечное с определением существования особого режима и вычисления особого управления в явном виде от координат и параметров объекта, что необходимо для синтеза замкнутой системы с обратной связью, применяется аппарат условий общности положения (УОП) для нелинейных объектов, введенный для задач быстродействия и расширенный для задач на минимум ресурсов в [3].

Для стабилизации конечного состояния используется оптимальное по точности управление, обеспечивающее заданный переходной процесс выходной координаты и предполагающее устойчивость конечного состояния на полубесконечном интервале времени [4].

Методы исследования. Предлагаемый в работе подход по совмещенному с учетом критериев быстродействия, на минимум ресурсов и программного движения определению алгоритма и структуры оптимальной устойчивой замкнутой системы на базе особого оптимального управления отражает синергетический подход к синтезу как применению теории автоматического управления, принципа максимума [1], УОП [3], качественной теории дифференциальных уравнений [5], структурного синтеза [6], моделирования [7].

Результаты исследования. Рассмотрим управление системой отопления помещения [8]. Структуру объекта управления поясняет рис. 1. Для удобства иллюстрации без потери общности предлагаемого подхода сформулируем задачу программного движения для линейного объекта второго порядка с единичными коэффициентами передачи и постоянной времени $\dot{x}_1 = U$, $\dot{x}_2 = x_1 - x_2$ так, что выходная координата x_2 , равная температуре в системе отопления, при переходе из нулевого начального состояния в конечное должна изменяться по аperiodическому закону $x_{2\text{ тр}} = x_{2\text{ кон}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$. Параметр τ является здесь множителем перед постоянной времени приращения x_2 , характеризующим время перехода для линейного аperiodического звена первого порядка, выходной сигнал которого при единичном ступенчатом воздействии за $(3 \div 4)\tau$ достигает $(0,95 \div 0,98)$ конечного значения.

Применяя УОП с вычислением по рекуррентному соотношению [4, формула (6)] векторов $B_j, j = 1, 2, 3, 4$ и приравнивания нулю функциональных элементов матрицы $D_4 = (B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4)$, определяются уравнения особых траекторий и особого управления; после исключения из последних времени находятся уравнения особых фазовых траекторий или линий переключения и особого управления, выбор которых зависит от организации обратной связи.

Ограничение на особое управление $|U| \leq 1$ легко проверяется и практически всегда выполняется. Проверка устойчивости [5] показывает, что состояние равновесия $x_{2\text{кон}} = x_{1\text{кон}}$ при особом управлении $U_{\text{ос}}(x_{1\text{ос}})$ имеет характер устойчивого узла, а при $U_{\text{ос}}(x_{2\text{ос}})$ устойчиво, если $\tau \geq 1$, и неустойчиво с характером типа седло, если $\tau < 1$. Поэтому предпочтительнее выбирать структуру с реализацией $U_{\text{ос}}(x_{1\text{ос}})$ при условии, что координата x_1 измеряема. Топология траекторий объекта с релейным и особым управлением в первом квадранте координат для $x_{2\text{кон}} = x_{1\text{кон}} = 1$ показана на рис. 2.

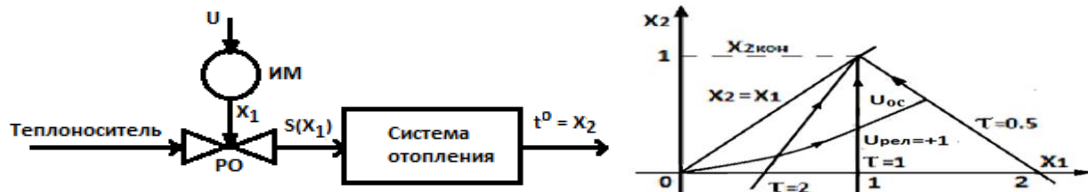


Рисунок 1. Структура объекта управления Рисунок 2. Топология траекторий объекта

Структуры систем управления и графики переходных процессов приведены на рис. 3 для непрерывного особого управления и на рис. 4 для скользящего режима. Универсальность схем для произвольных τ обеспечивается учетом отклонений по координате x_1 , а использование скользящего режима обеспечивает устойчивость и даже робастность системы.

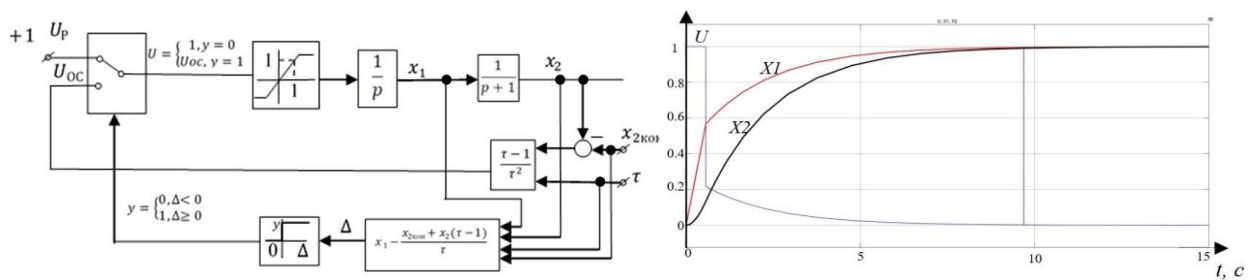


Рисунок 3. Непрерывное особое управление, $\tau = 2$

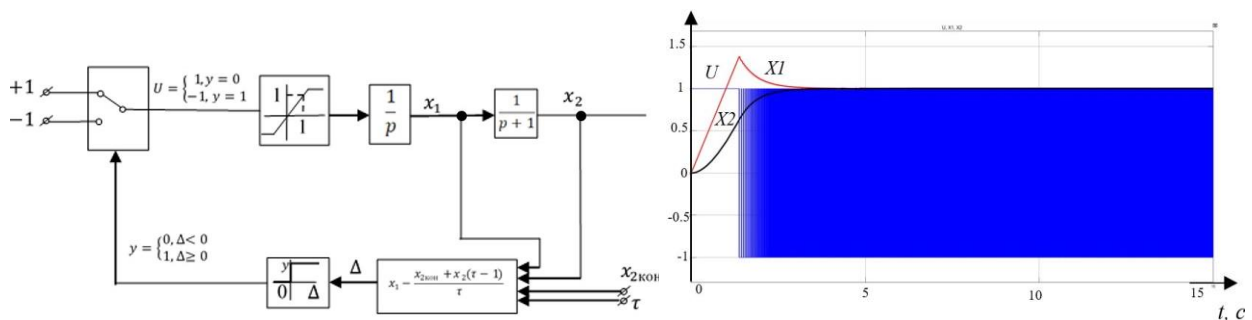


Рисунок 4. Скользящий режим, $\tau = 0,5$

Выводы. В целом предлагаемый подход к синтезу оптимальной систем показал свою работоспособность и конструктивность. Но при таком подходе расширяется множество возможных алгоритмов управления и структур систем, поэтому возникает проблема выбора наилучшего алгоритма и структуры [6]. Требуют определения связи с задачами на минимум ресурсов и энергосбережения, особенно в электротехнике с квадратичным управлением [9].

На практике предлагаемый подход позволяет повысить эффективность и качество проектирования и функционирования оптимальной системы с реализацией на промышленных программируемых контроллерах, а для объектов с неточным математическим описанием служить основой для применения нечеткого управления [10]. Результаты работы могут быть использованы при исследовании и решении проблем управления, в том числе и нелинейными объектами, например, в мехатронике и робототехнике, в промышленных тепловых технологических процессах (печи, автоклавы и т. п.) и в других приложениях.

Библиографический список

1. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М. : Наука, 1969. 384 с.
2. Филимонов Н. Б. Проблема качества процессов управления: смена оптимизационной парадигмы // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 12. С. 2–11.
3. Хорошавин В. С., Зотов А. В. Особое оптимальное управление нелинейными объектами. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2019. 219 с.
4. Хорошавин В. С., Грудинин В. С. Синтез программного движения на основе особого оптимального управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2021. № 8. С. 395–403.
5. Баутин Н. Н., Леонтович Е. А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М. : Наука, 1976. 496 с.
6. Хорошавин В. С. Структурный синтез управляющих устройств оптимальных систем. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2020. 132 с.
7. Черных И. В. Система численно-математического моделирования MatLab. Система моделирования динамических систем Simulink. URL: <http://bourabai.ru/cm/simulink.htm> (дата обращения: 10.02.2023).
8. Панферов В. И., Анисимова Е. Ю., Нагорная А. Н. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2007. № 20 (92). С. 3–9.
9. Хорошавин В. С., Грудинин В. С. Построение квазиоптимальной по быстродействию и энергозатратам замкнутой системы управления электроустановкой // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 2. С. 279–294.
10. Рачков М. Ю. Оптимальное управление в технических системах. М. : Юрайт, 2018. 120 с.

Моделирование и экспериментальное исследование коллекторного двигателя переменного тока для привода электроинструмента

Шестаков Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: развитие математических моделей коллекторных двигателей переменного тока (КД) остается актуальной задачей в связи с необходимостью иметь программные средства для расчета динамических режимов КД, не требующие значительных вычислительных ресурсов и учитывающие влияние реальных факторов. Целью настоящего доклада являлась разработка математической модели КД, учитывающей влияние насыщения магнитной системы и угла магнитного запаздывания. В основу модели положена система дифференциальных уравнений КД, в которой параметры КД зависят от названных факторов. С помощью названной модели проведено моделирование переходного процесса пуска КД для привода углошлифовальной машины. Сопоставление результатов расчета с данными эксперимента показало удовлетворительную точность предлагаемой модели и возможность ее применения для исследования и проектной оптимизации КД.

Ключевые слова: коллекторный двигатель переменного тока; математическая модель; насыщение магнитной системы; угол магнитного запаздывания; динамические режимы.

Введение. В настоящее время коллекторные двигатели переменного тока (КД) находят самое широкое применение в ручном электроинструменте благодаря своей компактности и дешевизне изготовления. Поэтому проектная оптимизация КД остается актуальной задачей, которая не может быть удовлетворительно решена без использования адекватных математических моделей КД. Сегодня создано немалое количество моделей КД [1], [2], [3] причем большинство их основано на решении полевых задач, что требует значительного количества вычислительных ресурсов. Поэтому целью представляемых исследований было создание математической модели КД, с одной стороны, не требующей больших временных и программных затрат для расчета переходных процессов КД, и, с другой стороны, учитывающей влияние реальных факторов. Первой задачей нашей работы было создание модели КД с учетом влияния на параметры и магнитный поток КД насыщения магнитной системы и угла магнитного запаздывания, вызванного магнитными потерями в стали сердечника КД. Второй задачей являлась программная реализация названной модели и ее экспериментальная проверка.

Методы исследования. Система дифференциальных уравнений КД с учетом влияния насыщения и угла магнитного запаздывания состоит из урав-

нения движения якоря и двух уравнений якорной цепи – для реального тока якоря i_a и фиктивного i'_a , вводимого для учета угла магнитного запаздывания γ , обусловленного потерями в стали магнитопровода и коммутируемой секции:

$$\begin{cases} \frac{di_a}{dt} = \frac{U_m}{L_a} \cdot \sin \omega_1 t - \frac{i_a}{L_a} \cdot \left(\sum R + \frac{k_T \cdot \sigma \cdot X_{ad} \cdot \sin \gamma}{k_\mu} \right) - \frac{C'_e}{L_a} \cdot (\varphi_{\delta 1} + \varphi_{\delta 2} \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \omega_r \cdot \cos \alpha_{щ}; \\ \frac{di'_a}{dt} = \frac{U_m}{L_a} \cdot \cos \omega_1 t - \frac{i'_a}{L_a} \cdot \left(\sum R + \frac{k_T \cdot \sigma \cdot X_{ad} \cdot \sin \gamma}{k_\mu} \right) - \frac{C'_e}{L_a} \cdot (\varphi_{\delta 1} + \varphi_{\delta 2} \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \omega_r \cdot \cos \alpha_{щ}; \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{pN_2}{2\pi \cdot a \cdot J} \cdot i_a \cdot \varphi_\delta - \frac{M_{0П}}{J} - \frac{k_{Л}}{J} \cdot \omega_r - \frac{k_{КВ}}{J} \cdot \omega_r^2 - \frac{M_c}{J}, \end{cases} \quad (1)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения сети, В; ω_1 – циклическая частота, рад/с; t – время, с; $\sum R$ – сумма активных сопротивлений якорной цепи, включая постоянное сопротивление щеточного контакта, Ом; k_T – коэффициент трансформации между якорной обмоткой и обмоткой возбуждения; σ – коэффициент рассеяния полюсов; X_{ad} – индуктивное сопротивление взаимоиндукции КД по продольной оси, Ом; k_μ – коэффициент насыщения магнитной системы, определяемый с помощью аппроксимированной характеристики намагничивания КД в функции тока i_a ; C'_e – постоянная ЭДС КД, зависящая от его обмоточных данных; φ_δ – результирующий магнитный поток в воздушном зазоре КД, Вб; $\varphi_{\delta 1}$ и $\varphi_{\delta 2}$ – составляющие потока φ_δ , зависящие от токов i_a и i'_a , соответственно (определяются с помощью аппроксимированной характеристики намагничивания КД), Вб; ω_r – угловая скорость ротора, рад/с; $\alpha_{щ}$ – угол сдвига щеток с геометрической нейтрали, рад; p – число пар полюсов КД; N_2 – число проводников якоря КД; a – число пар параллельных ветвей КД; J – приведенный момент инерции якоря и редуктора, кг·м²; $M_{0П}$ – постоянная составляющая момента холостого хода КД, обусловленная потерями на трение в подшипниках и щетках и от гистерезиса, Н·м; $k_{Л}$ – коэффициент, зависящий от потерь в стали от вихревых токов; $k_{КВ}$ – коэффициент, зависящий от вентиляционных потерь КД; M_c – момент сопротивления КД, Н·м.

Индуктивность якорной цепи в (1) равна, Гн:

$$L_a = \left(X_{\sigma a} + X_{\sigma f} + \frac{X_{aq} \cdot \cos \alpha_{ш}}{k_{\mu}} + \frac{X_{ad} \cdot \sigma \cdot k_T \cdot \cos \gamma \cdot \left(1 + \frac{\sin \alpha_{ш}}{k_T \cdot \sigma} \right)}{k_{\mu}} \right) \cdot \frac{1}{\omega_1}, \quad (2)$$

где $X_{\sigma a}$ и $X_{\sigma f}$ – индуктивные сопротивления рассеяния обмоток якоря и возбуждения КД, Ом; X_{aq} – сопротивление взаимоиндукции КД по поперечной оси, Ом.

Результаты исследований, их обсуждение. На основе (1) была создана программа для ЭВМ **KDNt.bas** [4], позволяющая моделировать динамические режимы КД. Вывод результатов расчетов по программе **KDNt.bas** организован в текстовый файл.

С помощью программы **KDNt.bas** выполнено моделирование переходного процесса пуска коллекторного двигателя переменного тока для привода углошлифовальной машины. Номинальные данные КД: номинальная полезная мощность $P_{2,ном} = 1700$ Вт; номинальное напряжение $U_{ном} = 220$ В; номинальная частота вращения $n_{ном} = 15000$ мин⁻¹. Производился расчет пуска КД на холостом ходу непосредственно от сети. Результаты моделирования представлены на рис. 1 – рис. 2.

Также выполнено экспериментальное исследование названного КД. На рис. 3 представлена осциллограмма тока якорной цепи КД, снятая с помощью цифрового осциллографа «Актаком» АСК-3106. Значение тока выражено в системе относительных единиц, величина которых равна 1 о.е. = 30 А. Амплитудное значение установившегося тока якоря, рассчитанное по модели, составляет 5,2 А, а экспериментальное – 4,6 А. Время пуска КД находится в пределах 3,6 – 4,0 с. Значения максимального тока: по модели – 49,3 А; по результатам эксперимента – 48,2 А. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности предложенной динамической модели КД.

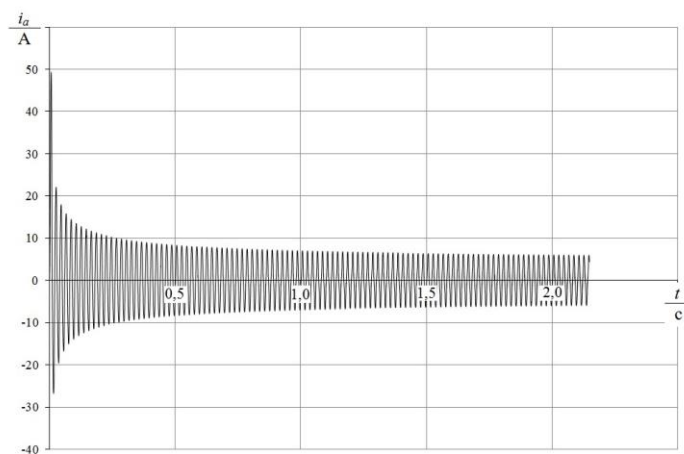


Рисунок 1. Осциллограмма тока якорной цепи КД при пуске на холостом ходу

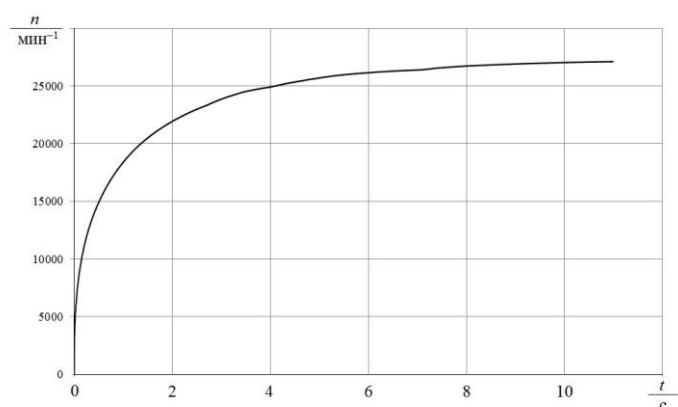


Рисунок 2. Осциллограмма частоты вращения при пуске КД на холостом ходу

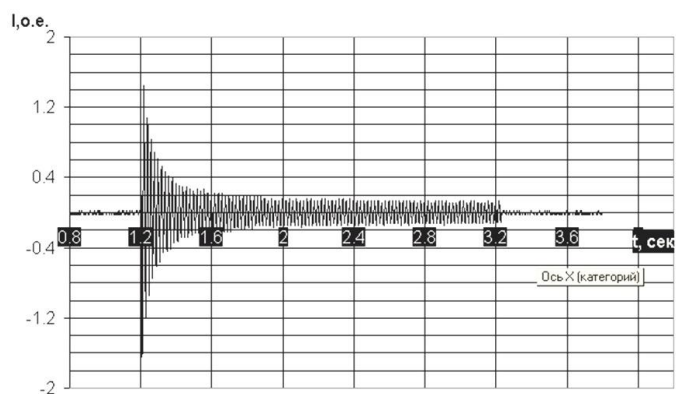


Рисунок 3. Экспериментальная осциллограмма тока якорной цепи исследуемого КД

Выводы. Сравнение результатов эксперимента и моделирования пуска КД дает возможность сделать вывод об адекватности и работоспособности предложенной динамической модели КД. Программа, реализующая названную модель, дает возможность исследовать динамические и эксплуатационные показатели КД в процессе их проектной оптимизации.

Библиографический список

1. Беспалов В. Я., Панихин М. В. Электромеханические и коммутационные переходные процессы в коллекторном двигателе переменного тока // Электричество. 2006. № 12. С. 46–51.
2. Analysis of Transition Processes of Single-Phase Collector Motor With Inverter Supply Model / B. Kopchak and A. Kushnir // 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 325–330.
3. Study of Feasibility of Controlling Tribological Situation in Sliding Current Collection Assembly of Electric Machines / A. Izotov, V. Timoshenko, S. Izotov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). May 2020. P. 1–5.
4. Шестаков А. В. Моделирование переходного процесса пуска коллекторного двигателя переменного тока с учетом насыщения и угла магнитного запаздывания KDNT : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611642.

Влияние смещения щеток в двигателях постоянного тока на степень искрения

Шешин Антон Дмитриевич, аспирант
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: рассматривается влияние смещения щеток в двигателях постоянного тока на степень искрения. Проведены опыты по определению степени искрения двигателя постоянного тока при смещении щеток по направлению и против направления вращения. При смещении щеток по направлению вращения у всех исследуемых двигателей постоянного тока наблюдалось снижение степени искрения. При смещении щеток против направления вращения у всех исследуемых двигателей постоянного тока наблюдалось увеличение степени искрения. Испытания проводились на двигателях постоянного тока малой мощности на оборудовании и при поддержке АО “ЛЕПСЕ”. Представлены результаты испытаний. Сделаны выводы о зависимости степени искрения двигателя постоянного тока при смещении щеток по направлению и против направления вращения двигателя.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, геометрическая нейтраль.

Введение

В настоящее время к электрическим машинам предъявляются все более жесткие требования по обеспечению широкого диапазона регулирования. Этим требованиям отвечает электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Данный тип двигателей нашел широкое применение, например: в станкостроении, металлургической промышленности, системах автоматического регулирования, автомобилестроении, электрическом транспорте, авиации, в оборудовании техники особого назначения. Данный тип представлен широкой линейкой двигателей различных по мощности, напряжению питания, конструктивному исполнению.

Методы исследования

Проведены эксперименты по смещению щеток в направлении и против направления вращения двигателя постоянного тока. Проведены испытания по определению степени искрения щеток двигателя постоянного тока. Проведен анализ полученных результатов.

Результаты исследований:

Исследованиям подвергались три образца электродвигателя постоянного тока. Номинальные параметры электродвигателей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры	Значение
Номинальное напряжение, В	27
Номинальная мощность, Вт	150
Номинальная частота вращения, об/мин	6000-7000
Номинальный потребляемый ток, А	0,6-0,7
Номинальный момент, Н*м	0,050

Существует способ снижения уровня искрения [1] под щетками в двигателях постоянного тока путем смещения щеткодержатель щетки относительно корпуса. Так же проводились опыты в области исследования степени искрения двигателей переменного тока при смещении щеток по направлению вращения двигателя [2]. При проведении исследований была выявлена конструктивная особенность двигателя, позволяющая смещать щеткодержатель щетки относительно корпуса на 0,15 мм влево (против направления вращения) и вправо (по направлению вращения) (см. рисунок 1).

На уровень искрения активное влияние оказывает состояние механики контакта коллектор-щетка [3]. При неудовлетворительном контакте возникает дуга подъема. В данной конструкции электродвигателя существует возможность смещения щеткодержателя и щетки параллельно нейтральному положению. При применении конструкции радиального щеткодержателя на набегающий край щетки действует сила F , которая представляет собой две силы. Сила F_1 отрывает щетку от коллектора. Сила F_2 прижимает щетку к щеткодержателю.

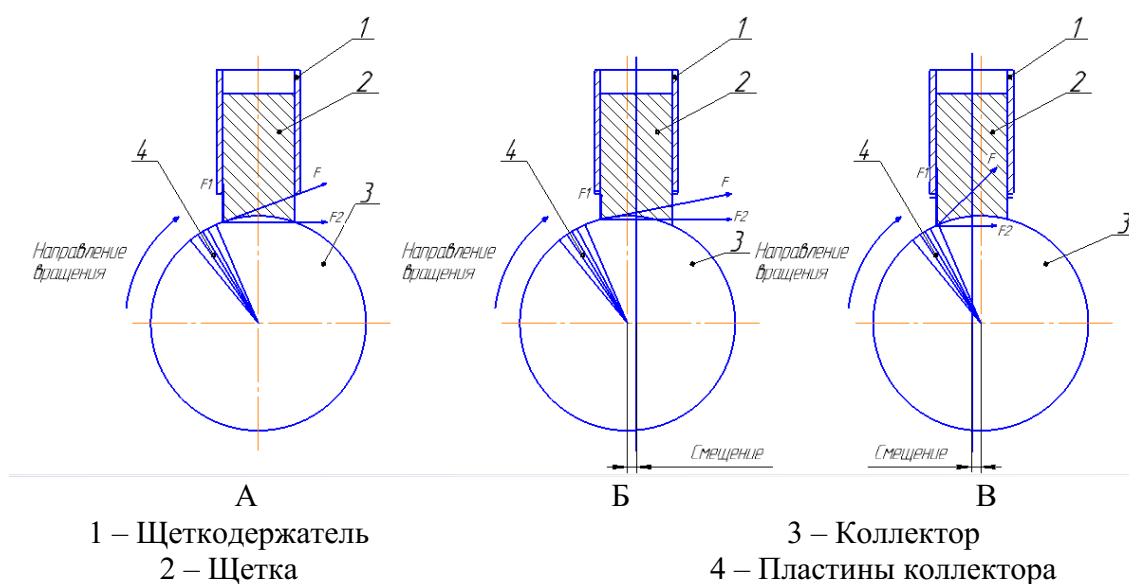


Рисунок 1

Испытания проводились в три этапа. Без смещения щеткодержателя и щетки (Рисунок 1А), со смещением щеткодержателя и щетки по направлению вращения (вправо) (Рисунок 1Б), щеткодержателя и щетки против направления вращения (влево) (Рисунок 1В). После каждого вида испытаний устанавливались новые щетки, производилась их шлифовка.

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

	№ двигателя	Степень искрения, балл
Без смещения	1	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$
	2	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$
	3	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$
Смещение по направлению вращения	1	1
	2	1
	3	1
Смещение против направления вращения	1	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$
	2	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$
	3	$\frac{1}{1\frac{1}{4}}$

Выводы

Проанализировав таблицу 2 можно сделать вывод о значительном влиянии смещения щеток с геометрической нейтрали двигателя постоянного тока на степень искрения под щетками. При смещении щеткодержателя и щеток против направления вращения у всех исследуемых двигателей постоянного тока наблюдается повышение уровня искрения под щетками. За счет увеличения силы F1, которая отрывает щетку от коллектора, что обуславливает ухудшение механики щетка-коллектор. При смещении щеткодержателя и щеток по направлению вращения у всех исследуемых двигателей постоянного тока наблюдается снижение уровня искрения под щетками. За счет увеличения силы F2, которая прижимает щетку к щеткодержателю, что обуславливает улучшение

ние механики щетка-коллектор. Проведенные исследования позволяют сделать о возможности в некоторых случаях снизить степень искрения щеток в двигателях постоянного тока за счет смещения щеткодержателя и щеток по направлению вращения.

Библиографический список

1. Хольм Р. Сила трения в контакте графитовой щетки как функция температуры в контактных пятнах. Стрекпольская угольная компания, Пенсильвания, 22, 1961.
2. Тимошенко В. Н. Снижение износа щеток в коллекторных машинах постоянного и переменного тока : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01. Киров, 2018. 152 с.
3. Изотов А. И., Тимошенко В. Н. и др. Эффективность сочетания доработок в МШУ-1,8-230 // Наука – производство – технологии – экология. 2004. Т. 4. С. 146-147.

Плазменный способ дезактивации стойких органических загрязнителей на мусоросжигательных заводах

Шишулькин Станислав Юрьевич^a, кандидат технических наук, доцент
Девятов Артем Геннадьевич^b, аспирант
Буянтуев Сергей Лубсанович^c, доктор технических наук, профессор
Шайдоров Анатолий Алексеевич^d, аспирант
Бурятский государственный университет^{a, b, d}, Улан-Удэ
Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления^c, Улан-Удэ

Аннотация: в аналитической статье обозначены наиболее опасные экологические факторы, которые возникают в результате утилизации твердых коммунальных отходов, на мусоросжигательных заводах. Приведены статистические данные по утилизации твердых коммунальных отходов в различных странах мира. Рассмотрены передовые технологии, используемые развитыми странами по дезактивации стойких органических загрязнителей. На основании проведенного исследования предложен плазменный способ дезактивации диоксинов и фуранов на базе экспериментальной установки, представляющей собой трехфазный электромагнитный реактор с плазмотроном постоянного тока. В настоящей статье акцент выполнен на обзор современных технологий мусоросжигательных заводов по газоочистке уходящих газов от стойких органических загрязнителей, применяемых в передовых странах с целью предотвращения их попадания в окружающую среду и накопления в ней.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, трехфазный электромагнитный реактор, плазмотрон, диоксины и фураны.

Введение. Проблема утилизации твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) существует во всех странах мира. В последние годы масса ТКО, поступающих постоянно в окружающую среду и стремится к 500 млн. тонн в год [1]. Согласно исследованиям Европейского агентства по охране окружающей среды, уменьшение количества отходов является одной из наиболее важных задач для стран ЕС, ежегодно производящих их около 1,5 млрд. тонн, в которых доля коммунальных отходов 14%, а на среднестатистического жителя Европы приходится около 400 кг ТКО в год [2]. Согласно данным Европейского статистического агентства (таблица 1), в 2018 году 28 стран ЕС произвели уже 2,17 млрд тонн мусора. На переработку направили 37,9% (822 млн. тонн) этого объема. Мусоросжигательные заводы (далее – МСЗ) преобразовали в энергию 6% (130 млн. тонн), еще 0,7% (15 млн. тонн) было сожжено на заводах без установок по электро- и теплогенерации [3].

Таблица 1

Распределение утилизации отходов по видам в ЕС за 2018 год

Страны ЕС	Переработка	Обратная засыпка	Энергетическая утилизация	Сжигание без производства энергии	Захоронение
Италия	79,3	0,1	5,7	2,5	12,4
Франция	55,8	10,4	5,5	1,3	27
Германия	42,7	26,4	12	0,5	18,4
Швеция	13,4	2,7	6,8	0,1	77,3
Ирландия	11,5	51,4	9,8	0,07	27,2
Греция	10,7	3,5	0,7	0,02	85,1
Финляндия	9,2	2,4	5	0,08	83,3
Итого:					
Евросоюз	37,9	10,7	6	0,7	44,7

С каждым годом доля утилизации ТКО огненным способом только растет, что делает строительство МСЗ для многих стран приоритетной задачей (таблица 2). В ЕС наибольшее количество заводов находится во Франции – 121, Германии – 96, и Швеции – 37; Японии – более 1900, России – 10 МСЗ. К 2030 году в России планируется построить еще 30-ть МСЗ [4].

Таблица 2

Количество мусоросжигательных заводов в мире

Страна	Население, млн человек	ТКО, млн т в год	Количество МСЗ	Доля сжигаемых ТКО, %
Швейцария	7	5,1	29	79
Япония	123	44,5	>1900	72
Франция	56	28,6	121	41
Нидерланды	15	7,9	9	39
Германия	61	37,7	96	45
США	248	180,0	168	16
Великобритания	57	27,4	42	7
Россия	146	56,5	10	2,4

Япония утилизирует до 95 % бытовых отходов, остальные 5 % подлежат захоронению. Примерно 70 % всего мусора в Японии сжигается на специальных станциях с минимально возможным количеством вредных выбросов в атмосферу, с дальнейшим получением энергии, которая затем используется в бытовых нуждах. Благодаря передовым технологиям японцам удалось сократить выработку ядовитого диоксида (основной проблемы МСЗ) на 99 % (по сравнению с 1997 годом). Основной экологической проблемой при сжигании ТКО является образование диоксинов.

Методы исследования. Объект исследования является проблема загрязнения окружающей среды диоксиноподобными стойкими органическими загрязнителями возникающие в результате работы мусоросжигательных заводов. Предметом исследования является поиск наиболее эффективного способа дезактивации диоксинов и фуранов. Основной метод исследования данной проблемы.

Результаты исследований, их обсуждение. Разработанная плазменная установка позволяет создавать режимы аналогичные термической утилизации ТКО на МСЗ. Разработанная технология основана на использовании электродуговой плазмы, создаваемой в электромагнитном плазменном реакторе (рисунок 1) и электродуговом плазмотроне (рисунок 2).

Обработка отходов осуществляется на двух ступенях. Первая ступень установки представляет собой электромагнитный трехфазный плазменный реактор, в котором между тремя электродами горит электрическая дуга (рисунок 1, б), вторая – газоотводный рукав с интегрированным в него плазмотроном (рисунок 2). Электрическая дуга равномерно вращается в поперечном сечении реактора за счет взаимодействия электрической дуги и электромагнитных полей, создаваемых тремя электромагнитными катушками, включенных последовательно в цепь питания электродов. Температура плавления отходов в реакторе регулируется в пределах 1000–1300 °С изменением силы тока на источнике питания.

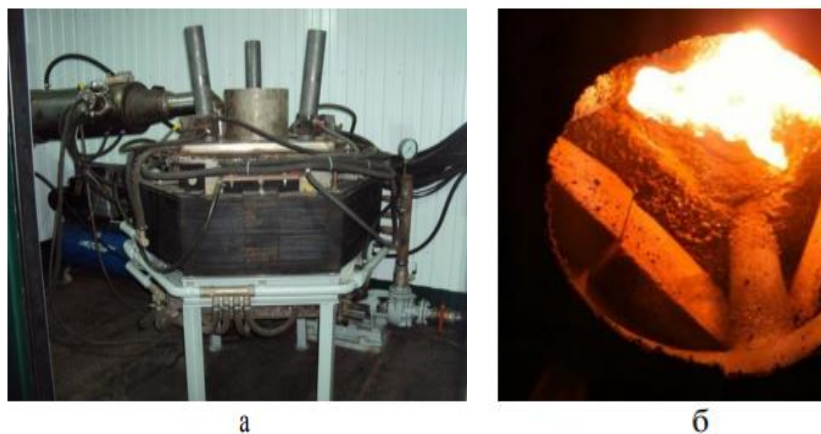


Рисунок 1. Электромагнитный трехфазный плазменный реактор:
а – общий вид реактора; б – реактор в работе



Рисунок 2. Система очистки газов с плазмотроном

Образующиеся при сжигания ТКО диоксины и фураны разлагаются при температурах 1200–1400 °С. Диоксины характеризуются чрезвычайно высокой устойчивостью, поэтому эффективное их разложение возможно только при температурах выше 1250 °С [5]. На разработанной установке разложение (дожигание) токсичных газов достигается за счет работы плазменного факела на выходе газов из реактора, генерируемого электродуговым плазмотроном. Температура плазменного факела составляет порядка 3500 °С, что обеспечивает поддержание заданной температуры (1200–1400 °С) в газоотводном рукаве. Таким образом, на второй ступени установки достигается полная нейтрализация токсичных газовых выбросов без применения каких-либо химических методов, применяемых по известным современным технологиям утилизации ТКО. Наличие в плазме активных центров (ионов и катионов) способствует более активному процессу разложения диоксиноподобных веществ.

Выводы. Анализ существующих методов обезвреживания диоксинов позволяет выделить плазмохимические технологии, как наиболее перспективный способ утилизации, с возможностью создания в каналах плазмотронов температуру 3500 °С и выше, газообразные отходы проходят по каналу в течение 2–3 секунд, что вполне достаточно для полного разложения диоксинов и различных стойких органических загрязнителей. Трехфазный электромагнитный реактор с плазмотроном постоянного тока позволяет создавать высокотемпературные режимы по переработке различных видов коммунальных отходов.

Библиографический список

1. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов : учеб. пособие / А. С. Клинов, П. С. Беляев, В. Г. Однолько [и др.]. Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 188 с.
2. Горбачева Л. А. Зарубежный опыт мусоросжигания // Энергия: экономика, техника, экология. 2009. № 7. С. 49–54.
3. Правда ли, что в Европе популярно мусоросжигание. URL: <https://plus-one.ru/ecology/2021/08/31/pravda-li-chto-v-evrope-populyarno-musoroszhiganie> (дата обращения: 15.03.2023).
4. «Ростех» с ВЭБом построят 25 новых мусорных заводов. URL: <https://www.rbc.ru/business/14/05/2020/5ebc277b9a794720152b567b> (дата обращения: 15.03.2023).
5. Диоксины и техногенная безопасность. URL: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=440 (дата обращения: 15.03.2023).

Моделирование аэродинамики воздушного канала плазмотрона

Шишулькин Станислав Юрьевич^a, кандидат технических наук, доцент

Шайдоров Анатолий Алексеевич^b, аспирант

Буянтуев Сергей Лубсанович^c, доктор технических наук, профессор

Девятков Артем Геннадьевич^d, аспирант

Бурятский государственный университет^{a, b, d}, Улан-Удэ

Восточно-Сибирский государственный университет

технологий и управления^c, Улан-Удэ

Аннотация: статья посвящена расчету аэродинамики электродугового плазмотрона. Моделирование плазмотрона осуществлялось на основании полноразмерной трехмерной модели газозвукового канала и позволяет получить распределения скоростей сечению воздушного канала электродов плазмотрона при различных значениях давления.

Цель – смоделировать поведение потоков воздуха воздушного канала электродов в электродуговом плазмотроне. Линейные и квадратичные функции позволяют получить распределения скоростей в зависимости от расхода плазмообразующего газа. В результате расчета модели определено место привязки катодного участка плазменной дуги и произведено сравнение полученных данных с экспериментальными.

Ключевые слова: плазмотрон; моделирование; воздушный поток; аэродинамика.

Введение.

Плазмотрон – это сложное техническое устройства служащие для создания плазмы, за счет конструктивной простоты он обладает высоким тепловым КПД и широкое применение в различных отраслях науки и техники [3]:

Тепловая плазма в настоящее время находит широкое применение в промышленности, включая резку, сварка, напыление, уничтожение отходов и обработка поверхностей. Предполагается, что тепловая плазма находится в условиях частичного или полного локального термодинамического равновесия. При локальном термодинамическом равновесии плазму можно рассматривать как смесь проводящих жидкостей и, следовательно, моделировать ее поведение с помощью уравнений гидродинамики. Эта модель показывает, как использовать интерфейс равновесного индуктивно-связанного разряда для моделирования, плазмы генерируется в плазмотроне с индуктивно связанной плазмой.

Методы исследования. Объектом исследования является конструкция газозвукового тракта плазмотрона. Предметом исследования выступает исследование аэродинамики внутреннего канала электродов плазмотрона при различных параметрах давления на примере 3D модели газозвукового тракта плазмотрона.

Для изучения аэродинамики при моделирования физических процессов мы используем метод численного моделирования. Эффективным методом численного моделирования мультифизических процессов служит метод конечных элементов [4, 5]. В качестве инструмента для исследования аэродинамики выступал программный комплекс ANSYS.

ANSYS – надежный инструмент для численного исследования, и решения метода конечных элементов линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей [6].

Математическая модель основана на решении уравнения Навье–Стокса для ламинарного потока, дополненного уравнением непрерывности:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} + \rho(\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v} = \nabla \cdot [-pI + \mu(\nabla\vec{v} + (\nabla\vec{v})^T)] + \vec{F} \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

v – скорость потока, м/с;

p – давление, Па;

I – единичная матрица;

μ – динамическая вязкость, Па·с;

F – внешние силы, действующие на поток, Н;

$$p\nabla \cdot (\vec{v}) = 0 \quad (2)$$

Применимость модели ламинарного потока обусловлена малым значением числа Рейнольдса (меньше критических значений $Re_{кр}$) [7, 8].

Результаты исследований. Модель исследовалась при варьировании давления на входе в катод $P_1 = 90000$ Па, и давления на анодной части $P_2 = 90000 \div 200000$ Па. Моделируемое время шага выбиралось достаточным для формирования установившегося потока воздуха и формирования скрутки воздуха для привязки дуги применительно к данной геометрии катода.

В результате численного моделирования аэродинамики плазмотрона было получено распределение скорости потока воздуха для различных условий, а также место привязки дуги. Показанные на рисунке 1 результаты расчета полу-

чены при давления катодной части $P_1=90000$ Па, и давления на анодной части плазмотрона $P_2=150000$ Па и характеризуются закруткой воздушных потоков с их встречей в середине катода. Точка привязки плазменной дуги совпадает с уплотнением воздушных потоков в середине катодного участка, что согласуется с результатами экспериментальных данных. Изменение давления на анодной части позволяют перемещать точку привязки катодного участка дуги ближе или дальше от анода.

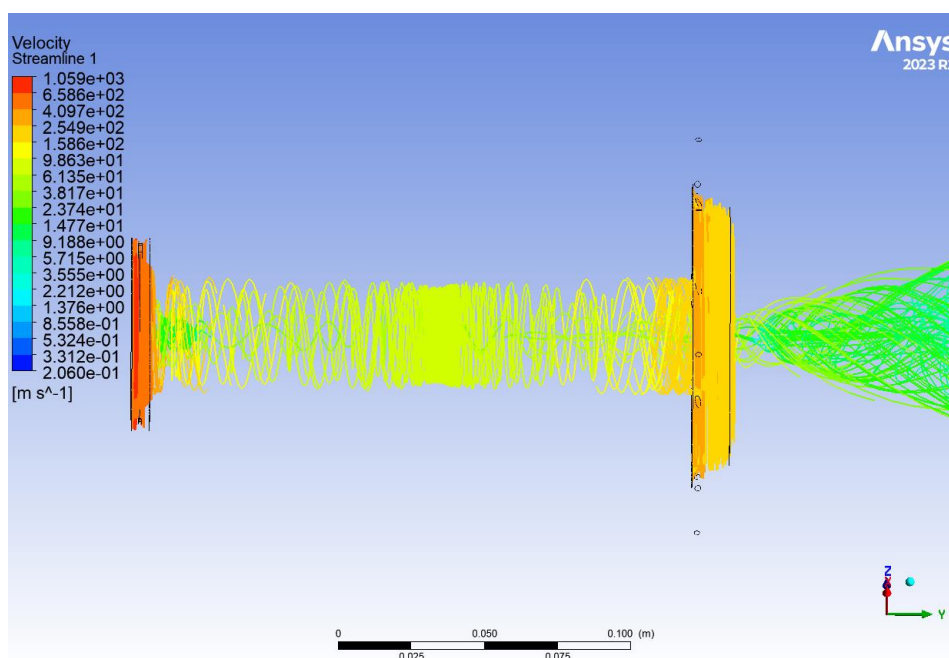


Рисунок 1. Распределение скорости потока газозвушного тракта плазмотрона

Одним из основных результатов численного моделирования работы электродугового плазмотрона является распределение скоростей движения воздушных потоков внутри внутреннего канала электродов плазмотрона. Так скорости воздушных потоков на внешнем участке газового канала катода лежат в пределах от 90 до 150 м/с. После встречи потоков происходит их замедление и оттеснение потоков от стенок к центральной оси канала катода, откуда потоки стремятся к аноду (слева направо) и дальше наружу со скоростью порядка 20 м/с. На входе в анод потоки попадают в конусовидный канал и расширяясь еще больше замедляются, формируя устойчивый закрученный факел. За счет закрутки воздушные потоки от входа в катод преимущественно двигаются по радиальной границе катодного канала, что способствует лучшему его охлаждению.

Заключение. Численное моделирование формирования самоустанавливающейся дуги позволяет определить характер потока и граничные условия для моделирования трехмерной мультифизической задачи. Было установлено, что почти на всем протяжении катодного участка воздушного канала скорость воздушных потоков составляла в среднем 120 м/с, что является достаточным условием для эффективного перемещения катодного пятна, обеспечивающего продолжительную работу катода плазмотрона.

Библиографический список

1. Электротехнологические промышленные установки : учеб. пособие / В. Я. Фролов и др. // В. Я. Фролова ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. СПб. : Изд-во Политехнического ун-та, 2010. 571 с.
2. Донской А. В., Клубникин В. С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 221 с.
3. Эсибиян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура. Киев : Техника, 1971. 164 с.
4. Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. М. : Изд-во НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.
5. Сегерлинд Л. Дж. Применение метода конечных элементов / пер. с англ. А. А. Шестакова. М. : Мир, 1979. 392 с.
6. Пронин В. А., Жигновская Д. В., Цветков В. А. Цветков, Введение в расчетную платформу Ansys Workbench : лабораторные работы. Ч. 1. СПб. : Университет ИТМО, 2019. 46 с.
7. Физика дугового разряда : сб. тр. / под ред. М. Ф. Жукова ; АН СССР. Сиб. Отд-ние. Ин-т теплофизики. Новосибирск : [б. и.], 1972. 159 с.
8. Белов И. А., Исаев С. А. Моделирование турбулентных течений : учеб. пособие / М-во образования Рос. Федерации. Балт. гос. техн. ун-т «Военмех». СПб. : БГТУ, 2001. 107 с.

Формирование предельных режимов вентильного электропривода

Шураков Иван Александрович^a, аспирант, младший научный сотрудник

Малышев Евгений Николаевич^b, кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭПиАПУ

Пономарев Юрий Геннадьевич^c, кандидат технических наук, ведущий инженер

Охапкин Сергей Иванович^d, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭПиАПУ

Мокрушин Сергей Александрович^e, кандидат технических наук,
доцент кафедры АСУБП

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

Московский государственный университет пищевых производств^e, Москва

Аннотация: в работе представлен анализ аппаратной реализации токоограничивающих функций микросхемы контроллера MC33035P. Представленные осциллограммы позволяют определить достоинства и недостатки рассматриваемой микросхемы, что определяет её применимость в современных устройствах на базе вентильного двигателя.

Ключевые слова: электропривод, математическая модель, вентильный двигатель, токоограничение, MC33035P, осциллограммы работы.

Введение. Одним из главных условий обеспечения бесперебойной работы современных систем электропривода является непрерывное сохранение работоспособности при выходе системы привода в предельные режимы [1, 4]. Среди методов обеспечения указанных условий преобладает токоограничение [2].

Метод исследования. В рамках выполнения проектных работ разработки традиционно стоят перед выбором метода реализации режима токоограничения: аппаратном или на программном уровне [3]. В данном случае предлагаться рассмотреть вариант реализации на аппаратном уровне, проведя ряд испытаний на математической модели вентильного электропривода.

Результаты исследования. Система тоогра-ничения выполняет функции:

- защиты силового преобразователя и электродвигателя от протекания токов, превышающих допустимые значения;
- обеспечения требуемых динамических режимов при работе в штатном режиме.

В системах управления вентильного электропривода тоогра-ничение, реализуется путем ограничения уровня тока фаз обмоток вентильного двигателя.

На рисунке 1 показана система токоограничения вентильного двигателя на базе микросхемы контроллера MC33035P [5]. Микросхема состоит из декодера датчика положения ротора (ДПР) с блоком формирования требуемой последовательности управления ключами инвертора, источника опорного напряжения для ДПР, драйверов ключей инвертора, ШИМ-регулятора и, собственно, блока токоограничения.

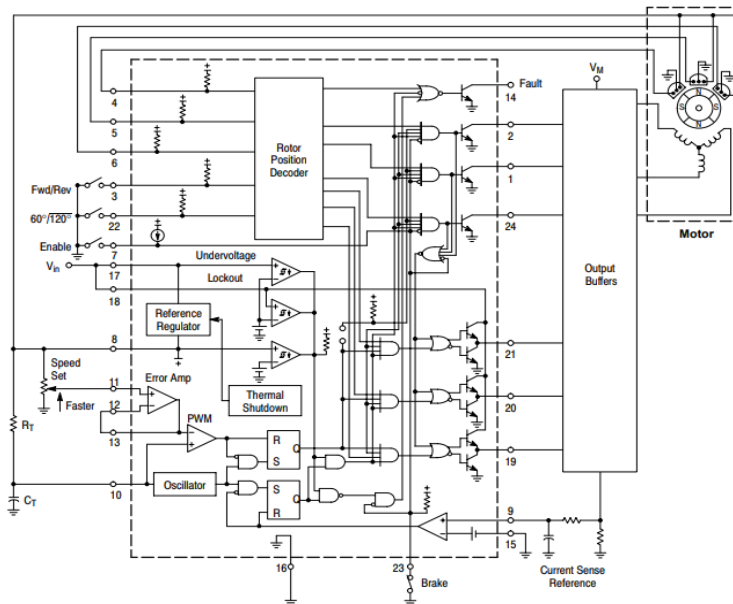


Рисунок 1. Устройство микросхемы MC33035

С целью оценки работы системы управления на основе микросхемы MC33035 разработана математическая модель в пакете Simulink среды Matlab (рисунок 2).

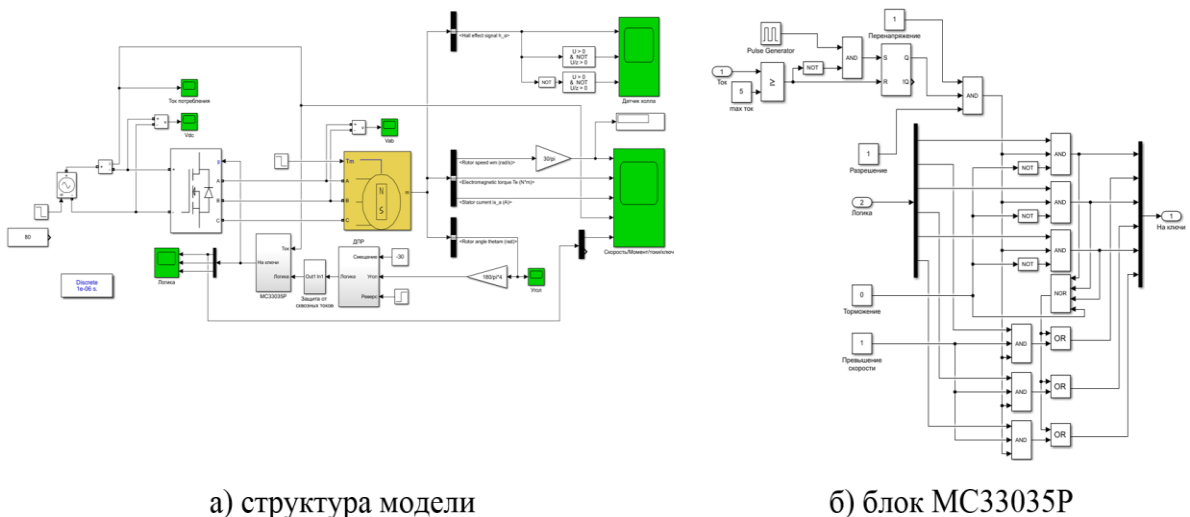


Рисунок 2. Математическая модель вентильного электропривода

Анализ работы микросхемы MC33035P показал, что функция ограничения тока реализована на основе RS-триггера, генератора импульсов, компаратора и логических элементов. Генератор импульсов устанавливает RS-триггер во включенное состояние. Если входной ток (ток инвертора) превышает установленное значение (в модели сформирован уровень 5 А), RS-триггер переходит в нулевое состояние и блокирует сигнал включения от генератора, что приводит к выключения всех ключей инвертора. Такая система защиты с генератором прямоугольных импульсов на 20 кГц (на модели) позволяет снизить коммутацию ключей инвертора до частоты, не превышающей частоту генератора. Результаты моделирования представлены на рисунках 3–6.

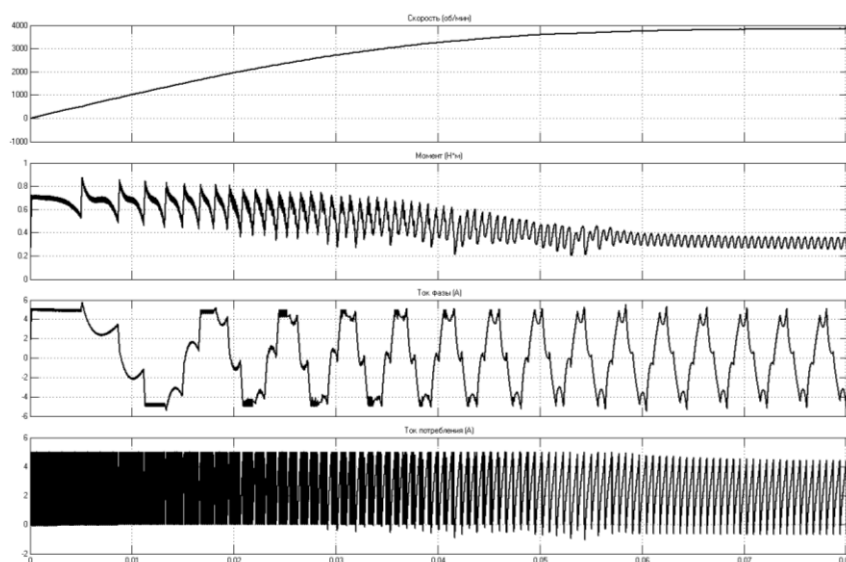


Рисунок 3. Пуск ВД с номинальным моментом и ограничением тока

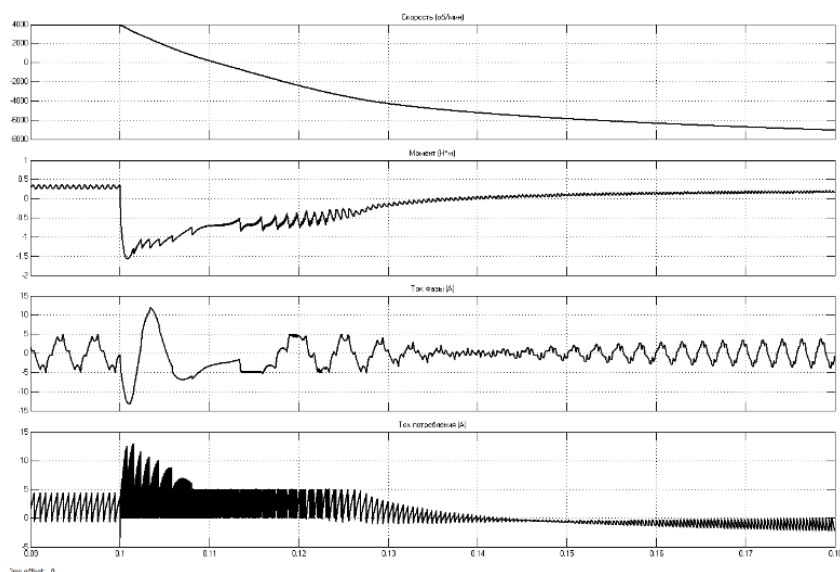


Рисунок 4. Реверс ВД с активным номинальным моментом сопротивления

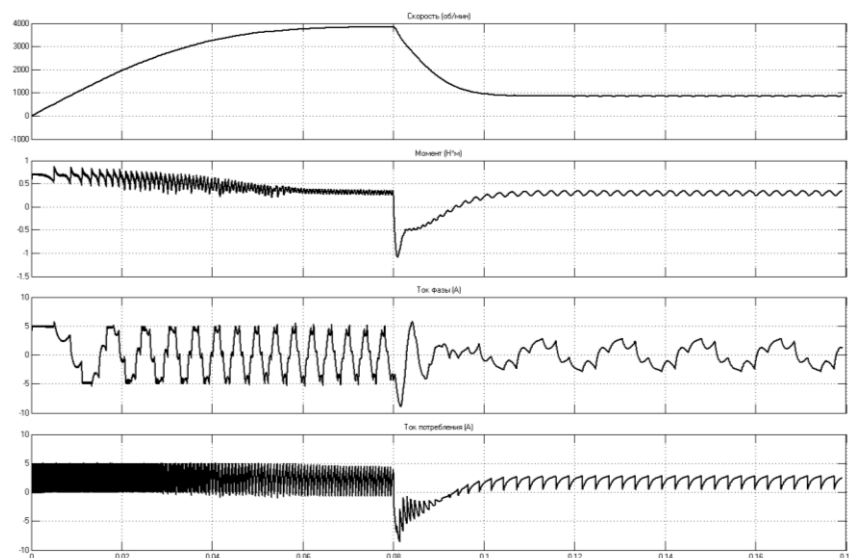


Рисунок 5. Переходный процесс при ступенчатом изменении питающего напряжения

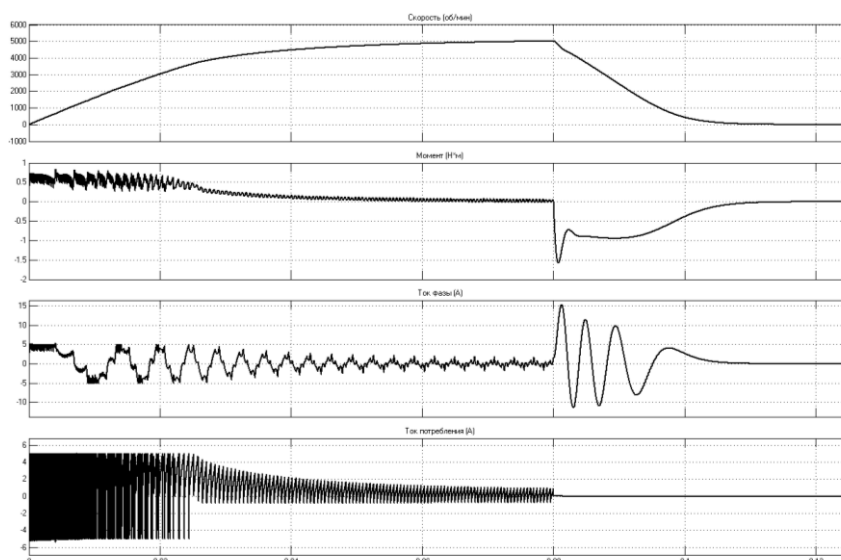


Рисунок 6. Динамическое торможение ВД

По результатам моделирования (рисунок 3) видно, что система токограничения прекрасно справляется со своей задачей при работе электропривода в двигательном режиме. Однако данное построение системы не обеспечивает удержание тока в режимах противовключения (рисунок 4), генератора при уменьшении питающего напряжения (рисунок 5) и динамического торможения (рисунок 6).

Выводы. По результатам исследования видно, что представленная система обеспечивает стабильную работу электропривода в двигательном режиме. Однако при разработке систем с частым возникновением генераторных (тормозных) режимов, рассмотренная схема требует доработки.

Библиографический список

1. Электроприводы. Т. IV-2 / Л. Б. Масандилов, Ю. Н. Сергиевский, С. К. Козырев и др. ; под общ. ред. Л. Б. Масандилова // Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М., 2012. 520 с.: ил.
2. Электромеханические свойства электрических двигателей : учеб. пособие / Н. И. Присмотров, С. И. Охапкин, Д. В. Ишутинов. Киров : ВятГУ, 2017. 138 с.
3. Динамика электромеханических систем : [монография] / Н. И. Присмотров. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 291 с.: ил.
4. Пономарев Ю. Г., Присмотров Н. И., Шураков И. А. Вентильный электропривод с высоким коэффициентом мощности // Интеллектуальная электротехника. 2022. № 1(17). С. 27–41. DOI: 10.46960/2658-6754_2022_1_27. EDN UPXZHX.
5. Brushless DC Motor Controller. URL: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mc33035-d.pdf> (дата обращения: 31.03.2023).

Проектирование математической модели электропривода на базе вентильного двигателя в среде Simulink

Шураков Иван Александрович^a, аспирант, младший научный сотрудник

Малышев Евгений Николаевич^b, кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭПиАПУ

Пономарев Юрий Геннадьевич^c, кандидат технических наук, ведущий инженер

Охапкин Сергей Иванович^d, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой ЭПиАПУ

Мокрушин Сергей Александрович^e, кандидат технических наук,
доцент кафедры АСУБП

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

Московский государственный университет пищевых производств^e, Москва

Аннотация: в статье рассмотрен актуальный вопрос о построении математической модели электропривода. В качестве объекта проектирования рассмотрен вентильный электропривод на базе микросхемы MC33035P. В качестве метода проектирования используется математическая модель, разрабатываемая в программном пакете Simulink среды MATLAB. Основным результатом является демонстрация математической модели электропривода, позволяющая проводить исследования и испытания режимов работы вентильного двигателя. Исследовательские и испытательные математические модели используются в ходе проектирования электроприводов современного машиностроения.

Ключевые слова: электропривод, математическая модель, вентильный двигатель, Simulink, MC33035P.

Введение. Системы электропривода используются во всех сферах жизнедеятельности человека и имеют наибольший удельный объем в использованном оборудовании [1]. В связи с этим является актуальным вопрос оптимального построения электропривода с проверкой работоспособности во всех режимах [3].

В последних тенденциях техники наибольшее предпочтение при выборе электродвигателя отдается вентильным (бесколлекторным) двигателям (ВД) [4]. Выбор обусловлен повышенной надежностью, повышенными энергетическими показателями и уменьшение массогабаритных показателей. Дополнительным преимуществом является наличие датчика положения ротора (ДПР), являющийся заменой коллекторного узла двигателя постоянного тока, который в ряде систем возможно использовать в качестве датчика скорости или пути [2].

Однако применение ВД приводит к усложнению системы управления, поскольку для систем повышенной надежности необходимо применение ДПР, что необходимо учитывать при проектировании систем электропривода.

Метод проектирования. Для значительного уменьшения затрат на проектирование систем активно используются математические модели электропривода, позволяющие проводить подбор, проверку и настройку разрабатываемой системы без значительных материальных затрат.

Разработка математических моделей осуществляется в специализированной группе программных обеспечений. Наиболее мощным инструментом проектирования является система MATLAB (от слов Matrix Laboratory — матричная лаборатория). Система MATLAB – высокоуровневый язык программирования для инженерных и научных вычислений. Внутри данной системы разработаны различные программные пакеты, упрощающие процесс программирования (проектирования). Для проектирования систем электропривода используется пакет Simulink и Simscape (SimPowerSystems), позволяющие производить построение сложных электротехнических решений с элементами, приближенными к реальным.

Результаты разработки математической модели. В состав проектированного электропривода должно входить: источник напряжения, инвертор напряжения (*Universal Bridge*), ВД с ДПР (*Permanent Magnet Synchronous Machine*) и систему управления ВД.

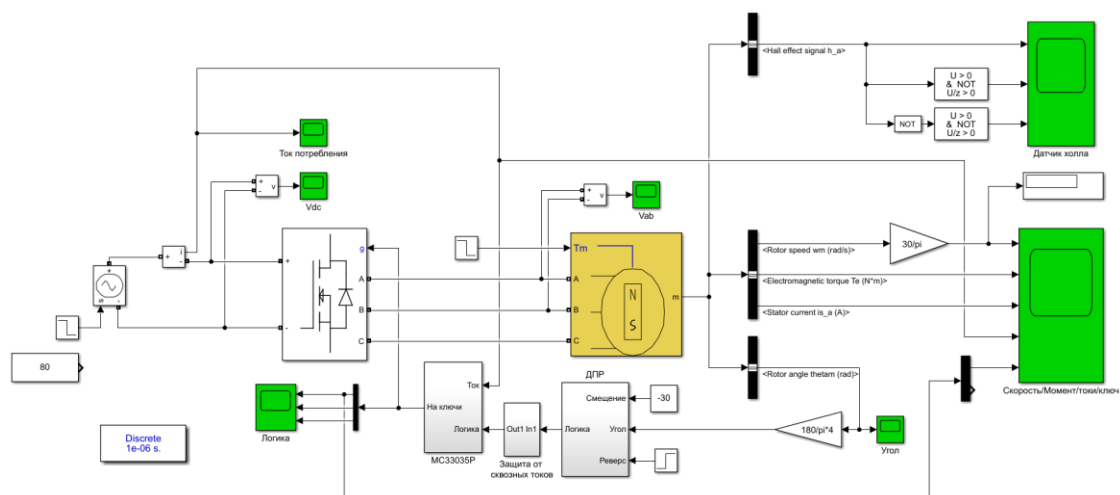


Рисунок 1. Модель электропривода на базе ВД

На рисунке 1 представлена модель электропривода на базе ВД в пакете Simulink среды MATLAB. Представленная модель имеет следующий функционал:

1. прямой пуск ВД;
2. управление реверсом;

3. вывод информации о скорости, моменте, токе фазы, угле поворота ротора, вывод импульсов ДПР и управляющих импульсах инвертора;
4. формирование токоограничения;
5. защита ключей от протеканий сквозных токов;
6. эмуляция смещения положения ДПР относительно полюсов двигателя;
7. формирование различного уровня источника напряжения, а также изменение его в процессе моделирования.

Реализация математической модели электропривода построена на следующих компонентах:

У модели ВД порты А, В, С являются выводами статорной обмотки, порт Тm – вход момента сопротивления машины, а выходной порт m включает в себя группу сигналов состояния исследуемой машины.

Модель инвертора построена на шести МОП-транзисторах с обратными диодами. К портам «+» и «–» подключается источник напряжения, порты А, В, С выхода формируемого напряжения согласно управляющему порту g.

ДПР формирует управляющие импульсы на открытие/закрытие транзисторных ключей инвертора, основываясь на угле поворота ротора ВД. В системе управления (СУ) обеспечивается 180° коммутации, что обеспечивает максимальную передаваемую мощность к ВД.

Однако при коммутации ключей с 180° коммутации ключей имеется риск протекания «сквозных токов». Предотвращения такой ситуации обеспечивается блоком защиты от протекания сквозных токов, представляющий собой задержку на открывания ключей инвертора.

Для приближения модели к реальной системе управления в модели установлена модель MC33035P (рисунок 3). Данная модель микросхемы, построенная на основании документации [5], повторяет основные узлы управления и защиты: разрешение, торможение, превышение скорости, перенапряжение, и ограничение тока.

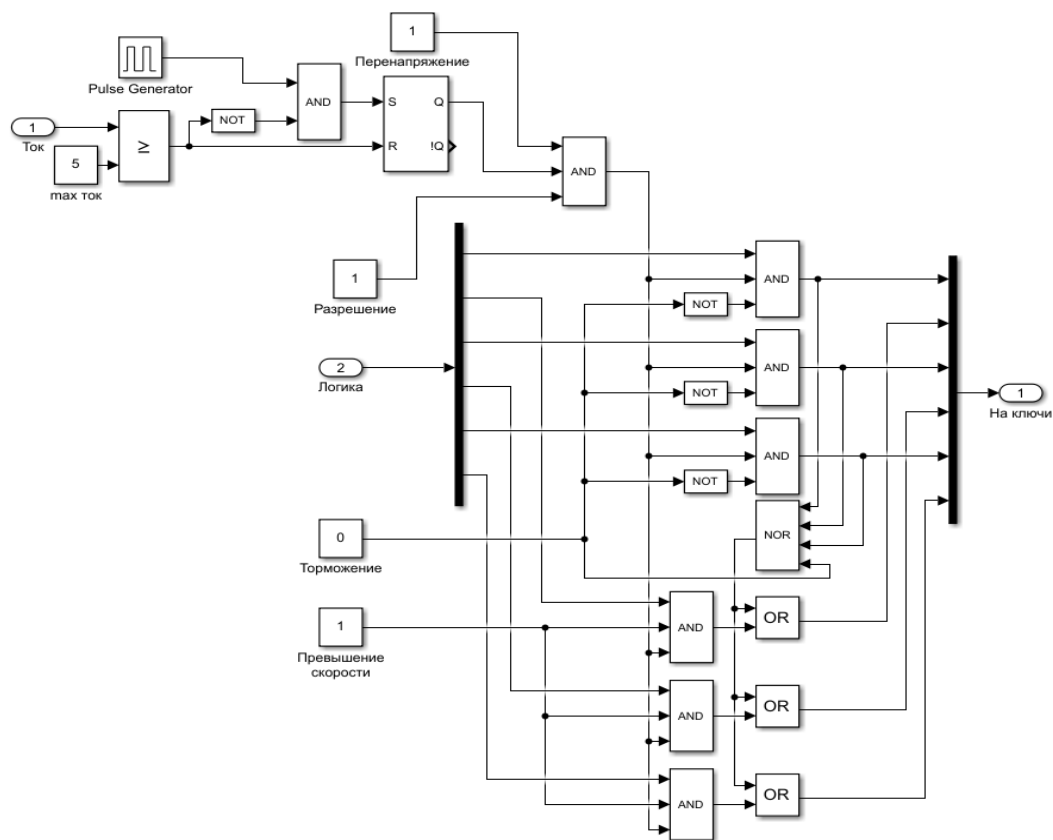


Рисунок 3. Блок MC33035P

Выводы. Разработанная математическая модель позволяет оценить выбранный ВД и определить величины токоограничения, определить способы управления в различных условиях применения. Данная модель будет использоваться для проектирования систем управления реверсивного электропривода с активным характером нагрузки.

Библиографический список

1. Электроприводы. Т. IV-2 / Л. Б. Масандилов, Ю. Н. Сергиевский, С. К. Козырев и др. ; под общ. ред. Л. Б. Масандилова // Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М., 2012. 520 с.: ил.
2. Электромеханические свойства электрических двигателей : учеб. пособие / Н. И. Присмотров, С. И. Охупкин, Д. В. Иштуinov. Киров : ВятГУ, 2017. 138 с.
3. Динамика электромеханических систем : [монография] / Н.И. Присмотров. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 291 с.: ил.
4. Пономарев Ю. Г., Присмотров Н. И., Шураков И. А. Вентильный электропривод с высоким коэффициентом мощности // Интеллектуальная электротехника. 2022. № 1(17). С. 27–41. DOI: 10.46960/2658-6754_2022_1_27. EDN UPXZHX.
5. Brushless DC Motor Controller. URL: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mc33035-d.pdf> (дата обращения: 31.03.2023).

Повышение энергоэффективности систем электропривода

Юдин Сергей Алексеевич, аспирант
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: цель работы показать основные современные и актуальные способы повышения энергоэффективности системы электропривода. Ведущим подходом были синтез и анализ информации. Результаты исследования в виде обобщения информации могут быть применены при создании энергоэффективных электротехнических систем.

Ключевые слова: электродвигатель, энергоэффективность, КПД, коэффициент мощности.

Введение. Цель исследования показать основные существующие способы повышения энергоэффективности систем электропривода. Актуальность проблемы обусловлена Энергетической стратегией развития России до 2035 года, пунктом 4.2 программы Энергоснабжение и повышение энергоэффективности, основной задачей ставится максимальная реализация имеющегося потенциала энергосбережения и повышение энергетической эффективности во всех отраслях экономики, приблизив ее к уровню лучших мировых практик. Методологическая база исследования заключается в использовании при работе таких методов как синтез и анализ. Результатом работы можно считать обобщение основных способов повышения энергоэффективности. Результаты исследования могут быть применены при проектировании электротехнических систем, содержащих асинхронные и вентильные электродвигатели.

Методы исследования. Объектом исследования является электропривод переменного тока на базе асинхронного и вентильных двигателей. Предмет исследования – потребление электроэнергии. Применение метода анализа в первом этапе исследования обусловлено изучением существующей литературы на тему повышения энергоэффективности, метод синтеза применён во втором этапе исследования и обусловлен обобщением изученной информации.

Результаты исследований, их обсуждение.

Основные показатели энергоэффективности системы электропривода:

Активная мощность P , характеризует энергию расходуемую на полезную работу двигателя. Реактивная мощность (мощность сдвига) Q , обусловлена сдвигом основной гармоники тока относительно напряжения питающей сети.

Мощность искажений D , обусловлена протеканием гармоник тока, не соответствующих по частоте с напряжением сети. Полная мощность S , рассчитывается как корень суммы квадратов вышеописанных мощностей. Коэффициент мощности K_M , показывающий эффективность передачи электроэнергии. Суммарный коэффициент гармонических искажений THD , показывающий отношение суммы высших гармоник тока к первой гармонике.

Методы повышения энергоэффективности электропривода подразделяются на три типа:

1. Первый тип повышение энергоэффективности за счёт улучшения или изменения непосредственно конструкции электродвигателя. Он обусловлен повышением коэффициента полезного действия (КПД) и коэффициента мощности.

Существуют способы совершенствования АД с изменением геометрии статора и ротора. Изменяется длина сердечника статора. Также увеличивается число витков обмотки и сечение провода обмотки статора, что приводит к удорожанию двигателя, но значение КПД при этом возрастает на 0,7...1,7 %. [2].

Также существуют методы построения системы энергоэффективного асинхронного двигателя (ЭАД) на базе типового асинхронного двигателя (ТАД). Конструктивно новый ЭАД отличается от ТАД наличием на статоре двух трехфазных обмоток, одна из которых включается в трехфазную электросеть, а другая на трехфазный конденсатор определенной емкости. Также для создания ЭАД пересчитываются параметры двигателя, и он модернизируется в соответствии с новыми расчётными значениями. КПД при этом увеличивается на 10–12 %. [1].

Также с помощью изменения способа намотки ротора можно изменять значения амплитуды высших гармоник тока и напряжения [3], что в свою очередь снизит мощность искажений D полную потребляемую мощность S системой электропривода и повышает энергоэффективность привода.

2. Внедрение схемотехнических решения в систему управления электродвигателем. Данный тип обусловлен введением в систему управления устройств, корректирующих коэффициент мощности K_M , а именно его составляющих коэффициенты искажений K_H и коэффициенты сдвига K_C .

Существуют пассивные элементы коррекции K_H , основанные на внедрении ёмкостных и/или индуктивных элементов в цепь между сетью и нагрузкой, которые фильтруют гармоники конкретной частоты, что позволяет понизить показатель THD [4].

Также более эффективным и современным, но более сложным способом является применение активных корректоров коэффициента мощности (ККМ) на базе повышающих, понижающих или комбинированных преобразователей напряжения. Принцип действия основан на формировании кривой тока с помощью импульсной модуляции, что позволяет добиться формы тока близкой к синусоидальной и синфазной с напряжением, что приводит к увеличению K_M до значений близких к единице и позволяет достигнуть коэффициентов гармонических составляющих, соответствующих ГОСТ 32144-2013 [6], достигая малого значения THD . Данные типы корректоров имеют множество способов реализации системы управления [7], что усложняет применение данных устройств в сравнении с пассивными корректорами.

3. Применение возможностей систем управления для диагностики и реализации режимов оптимального управления. Одним из вариантов реализации данного метода является применение преобразователя частоты (ПЧ) с рекуперацией для управления асинхронным двигателем. При применении ПЧ снижаются амплитуды пусковых токов, что также означает снижение амплитуд высших гармоник тока при пуске. Также ПЧ со звеном рекуперации позволяет направлять энергию, возникающую при торможении электродвигателя обратно в сеть, что повышает показатели энергоэффективности системы. Лучшим вариантом будет использование ПЧ вместе с ККМ, так как наличие ёмкостного элемента в системе преобразования энергии ПЧ является источником высших гармоник, которые необходимо снижать.

Также перспективным методом является диагностика и выявление зарождающихся дефектов обмоток асинхронного двигателя методом анализа характеристик внешнего магнитного поля в определённых точках, путём измерения напряженности поля [8], что приводит к повышению надёжности системы элек-

тропривода, а именно устранению дефектов, влияющих на качество потребляемой электроэнергии, тем самым повышая энергоэффективность системы.

Использование сразу нескольких вышеописанных методов вкупе с диагностическими методами оценки работоспособности электрических систем является путём к разработке энергоэффективных систем электропривода, с высоким общим КПД системы и высокими энергетическими показателями.

Выводы. В результате данной работы мной были отмечены основные актуальные и перспективные методы повышения энергоэффективности систем электропривода, лучшим вариантом является использование сразу нескольких методов, что повысит общий КПД системы и показатели энергоэффективности системы электропривода. Теоретической и практической значимостью исследования можно считать возможность моделирования и построения системы на базе приведённых методов повышения энергоэффективности. Результаты могут быть применены в области электротехники и электроники.

Библиографический список

1. Мугалимов Р. Г. Концепция повышения энергоэффективности асинхронных двигателей и электроприводов на их основе // Вестник МГТУ им. Г. Носова. 2011. № 1. С. 59–63.
2. Муравлева О. О. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 135–139.
3. Harmonic reduction methods for electrical generation / D. Fallows, S. Nuzzo, A. Costabeber, M. Galea // IET Gener. Transm. Distrib. 2018. Vol. 12. Iss. 13. P. 3107–3113.
4. Нефедов Б. А., Тебеньков Ф. Г. Разработка пассивного корректора коэффициента мощности, анализ эффективности на управляемом электроприводе авиационного назначения // Электроснабжение и электрооборудование. 2020. № 4. С. 12–15.
5. Ушков А. С., Колганов А. Р. Анализ энергоэффективности асинхронного электропривода с корректором коэффициента мощности // Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 6. С. 1–5.
6. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: принят 22.07.2013 ; действ. с 1.07.2014. URL: <https://electromontaj-proekt.ru/data/documents/gost-32144-2013.pdf> (дата обращения 30.03.2023).
7. Игнатенко В. В. Исследование корректоров коэффициента мощности : доклад. 2017. С. 1–6.
8. Бобров В. В., Веденев В. Н. Повышение энергоэффективности асинхронных двигателей путем разработки вихретокового метода оценки их состояния // Ползуновский вестник. 2012. № 4. С. 208–213.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Экспериментальные исследования роликов приводных цепей

Власов Вячеслав Александрович^а, кандидат технических наук, доцент
Поляков Сергей Михайлович^б, кандидат технических наук, доцент
Вятский государственный университет^{а, б}, Киров

Аннотация: долговечность работы приводной цепи зависит от надежной работы всех ее элементов, в частности роликов. Повышение ударно-циклической прочности роликов приводных цепей за счет рационального выбора материала, а также вида и режима термообработки позволяет увеличить срок службы.

Ключевые слова: ролик, цепь приводная, прочность, сталь.

Введение. Приводные роликовые цепи нашли широкое применение в самых различных отраслях. Объемы выпуска цепей достигают сотен тысяч метров и от того на сколько качественно они изготовлены зависит надежность работы очень сложных механизмов.

Одной из серьезных причин выхода цепей из строя является недостаточная ударно-циклическая прочность роликов [1, с. 23]. Разрушение роликов приводит к появлению значительных динамических нагрузок на ветви цепи и ее шарниры, что в свою очередь, ведет к преждевременному выходу из строя всей передачи. Очень большое значение при этом имеет правильный подбор материала роликов и режимов его термообработки, которые обеспечили бы высокую статическую и усталостную прочность, а также поверхностную твердость не менее 45 HRC [2, с. 5]

Традиционно все мировые производители цепей изготавливают ролики приводных цепей из цементируемых сталей как: сталь 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХНЗ или сталей с объемной закалкой 50, 50Г.

В результате ранее проведенного комплекса экспериментальных исследований нами рекомендуется для изготовления роликов использовать сталь 50ХФА с температурой закалки 850°С и охлаждением в масле.

В этом случае образуется структура мелкозернистого мартенсита, обеспечивающего максимальную твердость. Важным при этом остается правильный выбор температуры отпуска. Однозначных рекомендаций по определению это-

го параметра для нашего случая не установлено, однако выявлено, что температура отпуска оказывает влияние на:

- величину снижения твердости после закалки (чем выше температура отпуска, тем больше величина снижения твердости);
- степень снижения остаточных напряжений в материале, образовавшихся в процессе закалки, а следовательно, установив оптимальную температуру отпуска, при которой устраняются закалочные напряжения, будет получен оптимальный режим термообработки для получения качественных роликов.

Методы исследования. Для проведения испытаний были изготовлены ролики из стали 50ХФА, которые были отпущены при температуре 400 °С, 350 °С, 300 °С, 250 °С и 200 °С. Испытания проводились на стенде, для ускоренных испытания роликов и втулок на ударную прочность (Рис. 1а 1б).

Четыре внутренних звена цепи с испытываемыми роликами устанавливаются в планшайбу (Рис. 1в) и, при ее вращении, ролики ударяются по зубцам, имитирующим зубья звездочки. При изменении скорости вращения планшайбы меняется сила удара ролика о зуб.

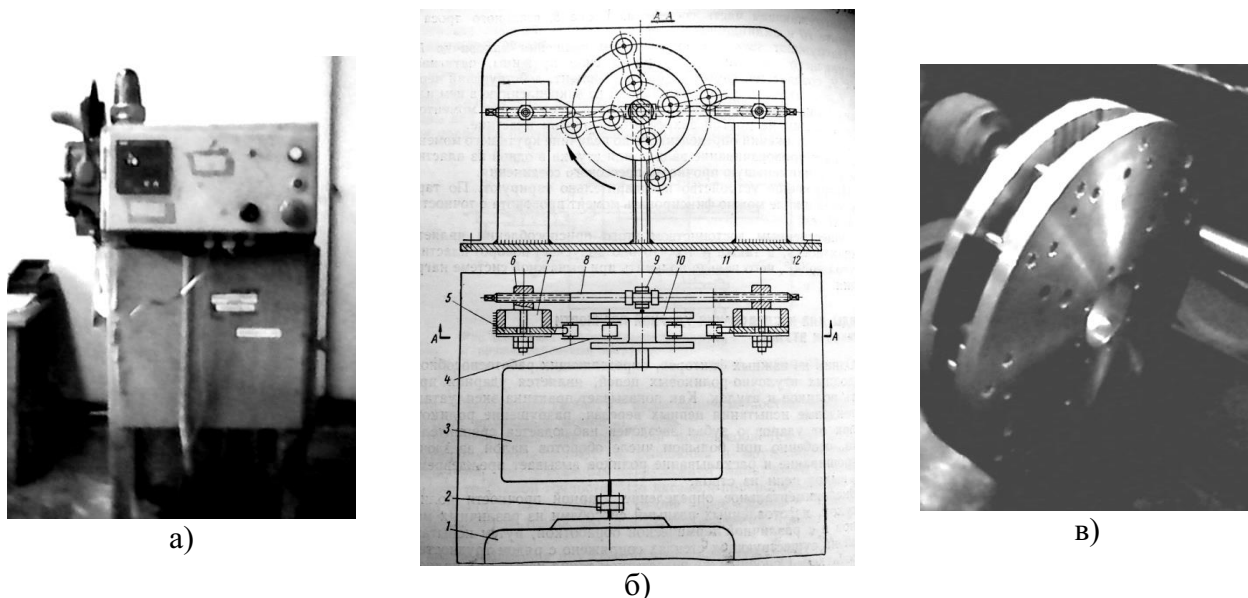


Рисунок 1. Стенд для испытания роликов на ударную прочность: а) внешний вид стенда; б) кинематическая схема стенда; в) внешний вид планшайбы

По результатам испытаний, приведенных в табл. 1 и на рис.2 можно сделать следующие выводы:

- разброс числа циклов нагружений до разрушения от минимума до максимума растет с уменьшением температуры отпуска;
- наиболее объективной является оценка результатов по минимальному значению циклов нагружений так как следует учитывать, что при разрушении даже одного ролика цепь уже теряет работоспособность. Этот критерий показывает, что при снижении температуры отпуска с 400 °С до 200 °С число циклов нагружений до разрушения растет в 2 и более раза.

Таблица 1

**Результаты испытания свертных роликов из стали 50ХФА
при разной температуре отпуска (время отпуска 30мин)**

Температура отпуска, °С	Число циклов до разрушения, $\times 10^4$		
	min	max	среднее
400	0,82	1,51	1,165
350	0,94	1,46	1,2
300	1,39	7,94	4,665
250	1,52	11,97	6,745
200	2,14	3,53	2,835

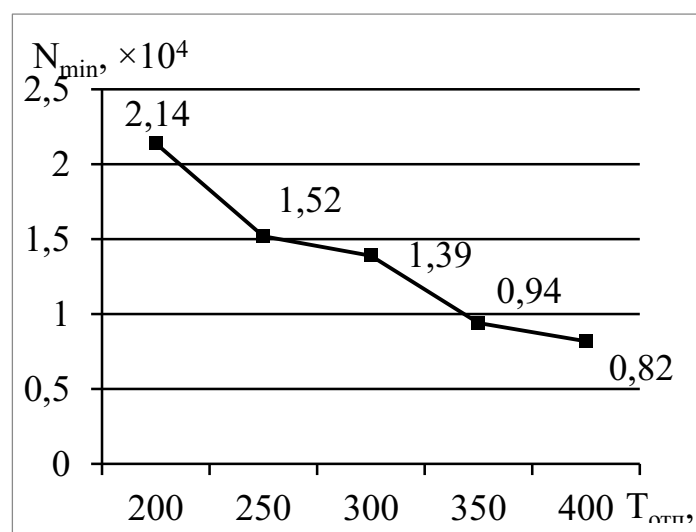


Рисунок 2. Изменение минимального числа циклов до разрушения роликов в зависимости от температуры отпуска

Далее были проведены сравнительные испытания прочности роликов из стали 50ХФА с роликами германской фирмы Iwis, чешской фирмы CZ и роликами КЗПЦ из стали 50Г.

Испытания проводились на четырех уровнях скорости вращения планшайбы станда: 3,5 м/с, 4,45 м/с, 6,3 м/с, 7,8 м/с. Определялось минимальное число циклов до разрушения роликов.

Результаты испытаний приведены в таблице 2 и графически изображены на рисунке 3.

Таблица 2

**Результаты сравнительных испытаний роликов
на ударно-циклическую прочность**

	Число циклов до разрушения при скорости вращения при скорости вращения планшайбы станда, м/с							
	7,8		6,3		4,45		3,5	
	min	max	min	max	min	max	min	max
50ХФА	$2,71 \times 10^3$	$5,38 \times 10^3$	$2,45 \times 10^4$	$9,26 \times 10^4$	$1,09 \times 10^5$	$4,81 \times 10^5$	$1,52 \times 10^6$	$3,39 \times 10^6$
Iwis	$1,62 \times 10^3$	$6,48 \times 10^3$	$1,26 \times 10^4$	$2,27 \times 10^4$	$9,79 \times 10^4$	$18,69 \times 10^4$	$6,3 \times 10^5$	$25,06 \times 10^5$
CZ	$1,35 \times 10^3$	$4,16 \times 10^3$	$2,62 \times 10^3$	$15,63 \times 10^3$	$5,52 \times 10^4$	$16,02 \times 10^4$	$1,18 \times 10^5$	$3,38 \times 10^5$
50Г	$2,7 \times 10^2$	$2,05 \times 10^3$	$2,52 \times 10^3$	$3,78 \times 10^3$	$2,67 \times 10^4$	$3,92 \times 10^4$	$4,9 \times 10^4$	$10,08 \times 10^5$

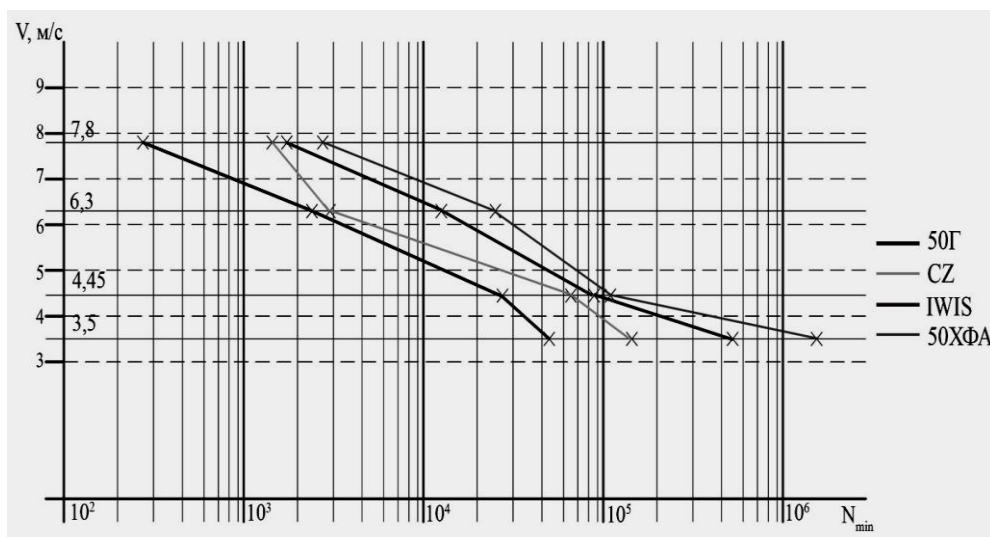


Рисунок 3. Минимальное число циклов до разрушения роликов
в зависимости от скорости удара

Результаты исследования и обсуждение. По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Оценка предельного состояния по минимальному числу циклов до разрушения наиболее объективна и подтверждает вывод, сделанный в предыдущем исследовании.

2. Оценка минимального числа циклов до разрушения при установлении температуры отпуска $2,14 \times 10^4$ ($V = 6,3$ м/сек) и при проведении сравнительных испытаний для стали 50ХФА $2,45 \times 10^4$ ($V = 6,3$ м/сек) дает хорошую сходимость результатов. С учётом малого объёма испытаний Расхождение составляет $\approx 12\%$.

Выводы. Проведённые испытания показали, что ударно-циклическая прочность роликов, изготовленных с учётом наших рекомендаций из стали 50ХФА, повышается от 1,5 до 4 раз, и соответствует лучшим мировым стандартам (рис. 3) Данный материал может быть рекомендован для изготовления роликов приводных цепей.

Библиографический список

1. Готовцев А. А., Котенок И. П. Проектирование цепных передач. М. : Машиностроение, 1982. 336 с.
2. ГОСТ 13568-2017. Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия. Принят 30.11.2017. М. : Стандартиформ, 2018. 30 с.

Формирование формулы и методики расчета интенсивности процесса лазерной обработки

Гущин Максим Дмитриевич^a, студент
Невиницына Валерия Сергеевна^b, студент
Остальцева Дарья Владимировна^c, аспирант
Погудина Анастасия Сергеевна^d, аспирант
Маринин Евгений Анатольевич^e, кандидат технических наук, доцент
Сергеев Денис Геннадьевич^f, кандидат технических наук, доцент
Вятский государственный университет^{a, b, d, e, f}, Киров
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого^c, Киров

Аннотация: одним из перспективных решений проблемы увеличения износостойкости деталей является лазерное модифицирование. В настоящее время отсутствует формула описывающая детально процесс импульсного лазерного упрочнения, включающая в себя фактор времени. В статье представлена формула для определения интенсивности импульсной лазерной обработки, которая позволяет оценить влияние изменения параметров лазерного модифицирования на показатели глубины и твердости модифицированного слоя.

Ключевые слова: импульсное лазерное упрочнение, эффект суперпозиции, интенсивность лазерного воздействия.

Введение. Низкая износостойкость изделий до сих пор является актуальной проблемой в машиностроении, поэтому ведутся научные исследования по повышению прочностных свойств различных материалов. Лазерное модифицирование является перспективной технологией для решения данной проблемы. Применение лазерного упрочнения позволяет повысить качество деталей после закалки: минимизировать деформации детали и улучшить параметры шероховатости. Также данные технологии позволяют обеспечить улучшения многих эксплуатационных показателей, таких как износостойкость, коррозионную стойкость, уменьшить коэффициент трения, что значительно повышает надежность изделий, следовательно, и срок их работы [1, 2].

Метод лазерного модифицирования заключается в точечном нагреве поверхности изделия лазерным пучком и мгновенном охлаждении металла за счет отвода тепла во внутренние слои детали. Во время данного процесса может происходить изменение структурного, химического и фазового состояния на глубину 0,1–3 мм. Технологический процесс лазерного упрочнения проходит в несколько этапов. На первом этапе происходит нагрев материала чуть ниже температуры плавления, далее лазерный пучок перемещается в другую точку,

после чего происходит мгновенное охлаждение, что предотвращает возвращение материала в первоначальную структуру. [1].

К преимуществам лазерного упрочнения можно отнести регулирование параметров режимов упрочнения, что позволяет придавать деталям необходимые свойства. Также лазерное модифицирование с оптимальными параметрами позволяет обрабатывать детали различных конфигураций и размеров [1].

Характеристики металла после обработки зависят от скорости обработки, температуры нагрева металла и от предварительной термической и механической обработки. [3] От выбора режимов лазерного воздействия зависит исход всего процесса. При неправильно подобранных скоростях лазерного пучка, частоты следования импульсов или силы тока, значительно уменьшается КПД технологии. Основным параметром, определяющим и характеризующим вид обработки, является плотность мощности.

$$W_p = \frac{E_{\text{и}}}{s \cdot \tau}, \text{ Вт/мм}^2, \quad (1)$$

где $E_{\text{и}}$ – энергия импульса, Дж;

s – площадь лазерного пятна, мм²;

τ – ширина импульса, с.

Данный параметр описывает отдельно взятый импульс, не принимая во внимание такие параметры как скорость обработки, частоту следования импульсов, а также фактор времени и то, какое они оказывают влияние на интенсивность обработки.

Цель данной статьи – разработка формулы для более детального описания процесса импульсного лазерного воздействия и его интенсивности, учитывающей кроме энергетических параметров воздействия, такие как скорость обработки, частота следования, и вместе с ними фактор времени.

Методы исследования. Для разработки формулы необходимо было провести ряд испытаний и собрать экспериментальные данные о процессе лазерного модифицирования с основными изменяемыми параметрами режимов обработки, такие как скорость обработки и частота следования импульсов.

Проанализировав собранные данные, было обнаружено явление «эффекта суперпозиции» объясняющее результаты и их поведение в зависимости от изменяемых параметров.

В результате выводиться формула, которая будет связывать между собой исходные данные в виде параметров режима лазерного воздействия, экспериментальные данные, полученные в результате анализа образцов после обработки и рассматриваемого эффекта.

Результаты исследования. В качестве основы для выведения формулы интенсивности обработки использовался эффект суперпозиции. Суть данного эффекта заключается в том, что теплота, переданная в зону обработки по средствам лазерного излучения, не успевает рассеяться полностью в материале до наступления следующего импульса. Конечный вариант формулы имеет следующий вид:

$$W_s = \frac{E_n \cdot n}{S_l \cdot t}, \text{ Дж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с}) \quad (2)$$

где S_l – площадь участка единичной длины, мм^2 ;

t – длительность обработки, с;

n – целое количество импульсов на участке.

Длительность обработки t определяется по следующей формуле:

$$t = \frac{l}{v}, \quad (3)$$

Где v – скорость обработки, $\text{мм}/\text{с}$;

l – длина участка обработки, мм .

Длина участка обработки при расчете интенсивности необходимо брать больше чем диаметр лазерного пятна при этом сопоставимой с ним, так как при $l \gg d_n$ не теряться связь с эффектом суперпозиции. Поэтому рекомендуется для расчета длина участка обработки использовать следующую формулу:

$$l = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_n, \quad (4)$$

Для расчета числа импульсов необходимо подбирать длину участка обработки таким образом, чтобы число импульсов было целым и $n > 1$. Формула для расчета имеет следующий вид:

$$n = \frac{(l - d_n - b)}{s} + 1, \quad (5)$$

где b – длина прямоугольного участка, мм;

s – шаг, мм[2].

$$b = v * \tau, \quad (6)$$

где τ – ширина импульса, с.

Прямоугольный участок с шириной b показанный на рисунке 1 образуется благодаря непрерывному движению луча относительно образца в течение действия импульса лазерного излучения.

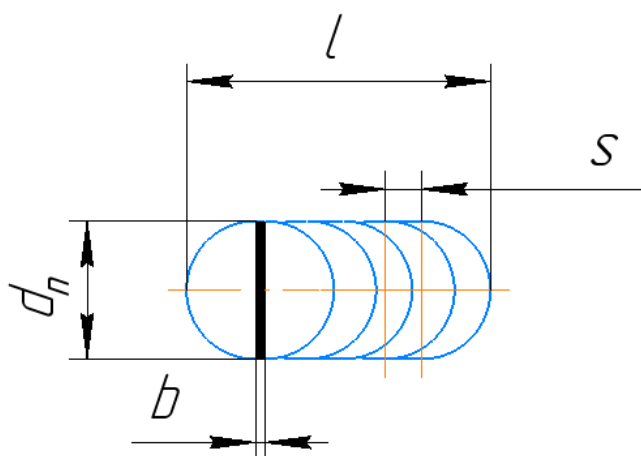


Рисунок 1. Схема участка дорожки

Для расчета площади участка единичной длины используется следующая формула:

$$S_l = \frac{S}{l}, \quad (7)$$

Площадь участка обработки S определяется по формуле:

$$S = \left(\pi * \frac{d_n^2}{4} + d_n * b \right) + (n - 1) \left(\pi * \frac{d_n^2}{4} + d_n * b - 2R^2 \left(\frac{\pi\varphi}{360} - \frac{\sin \varphi}{2} \right) \right), \quad (8)$$

где R – радиус лазерного пятна;

φ – угол сегмента окружности.

Угол сегмента окружности можно определить по формуле 9.

$$\varphi = \arccos \left(\frac{0,5(s - b)}{R} \right), \quad (9)$$

Вывод. Была получена формула для определения интенсивности импульсной лазерной обработки как процесса, а не отдельно взятого импульса. Используя ее можно оценить, как скорость обработки и частота следования по отдельности или совместно влияют на интенсивность лазерного воздействия. Это позволяет оценить, как изменение данных параметров отразится на показателях глубины и твердости модифицированного слоя.

Библиографический список.

1. Овчинников В. В. Технология термической обработки : учеб. М. : ИД ФОРУМ : НИЦ ИНФАНТ, 2016. 320 с.
2. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие / под ред. А. Г. Григорьянца. М. : МГТУ им. Баумана, 2006. 664 с.
3. Идан А. Ф. И. и др. Влияние предварительной термической обработки и режимов лазерной закалки на структурообразование стали. 2016.
4. Лазерная термообработка коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т / Т. В. Тарасова, И. С. Белашова, С. Д. Кузьмин, А. В. Казаков // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XIX Междунар. симпозиума имени А. Г. Горшкова. М., 2013.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Анализ напряженно-деформированного состояния стыка сборных железобетонных элементов с использованием композитной арматуры

Ашихмин Станислав Эдуардович^a, аспирант
Тюкалов Юрий Яковлевич^b, доктор технических наук, доцент
Вятский государственный университет^{a, b}, Киров

Аннотация: сборные железобетонные конструкции имеют широкое применение при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений. Важное значение имеет прочность и долговечность соединений сборных элементов. В настоящее время, для соединения сборных элементов в основном используется стальная арматура. Стыки сборных железобетонных элементов наиболее подвержены коррозионным воздействиям, что снижает их прочность и долговечность. Композитная арматура в отличие от стальной практически не корродирует. Использование композитной арматуры позволяет сократить сроки монтажа конструкции из сборных элементов примерно до 1–2 дней. Таким образом уменьшается стоимость конструкции, долговечность и срок монтажа конструкции. Целью данной работы является анализ напряженно-деформированного состояния стыка сборных железобетонных элементов с использованием композитной арматуры с учетом физической нелинейности бетона и арматуры. Были выполнены расчеты с использованием метода конечных элементов по программе ЛИРА-САПР. Расчеты показали, что прочность и жесткость составной железобетонной балки с использованием композитной арматуры удовлетворяют требованиям нормативных документов. Область применения таких соединений сборных железобетонных элементов является арочные грунтозасыпные мосты, сборные железобетонные каркасы.

Ключевые слова: сборные железобетонные конструкции, композитная арматура, физическая нелинейность.

Введение. В статье [1] рассматриваются две системы регулярной структуры сборной конструкции, что доказывает актуальность данной работы, т.к. сборные конструкции, в том числе и железобетонные имеют широкое применение при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений. Так же расчет сборных железобетонных конструкций выполняется в статье [2], в ней производится расчет арочного сборного железобетонного моста, результаты которого будут использоваться в данной работе. Сухой шов становится всё более популярным при строительстве из железобетонных элементов, что и приводится в статье [3], благодаря этому скорость монтажа конструкции увеличивается в несколько раз, из-за отсутствия опалубки и времени затвердения связывающего материала. В данной статье, так же, как и в статье [4] рассматривается укрепление железобетонной конструкции путем введения композитных элементов.

Проблема исследования – разработка соединения сборных железобетонных элементов с использованием композитной арматуры. Целью данной работы является анализ напряженно-деформированного состояния стыка сборных железобетонных элементов с использованием композитной арматуры с учетом физической нелинейности бетона и арматуры. Задачами исследования является:

- выполнить расчеты балок методом конечных элементов с учетом физической нелинейности и плосконапряженных конечных элементов, построить графики зависимости перемещений от нагрузки для рассматриваемых вариантов балки;
- выполнить сравнение и анализ напряженно-деформированного состояния сборной и монолитной железобетонных балок.

Методы исследования. Исследование выполняется с помощью программного комплекса «ЛИРА-САПР», объектом исследования являются сплошная и составная железобетонные балки (рис. 1).

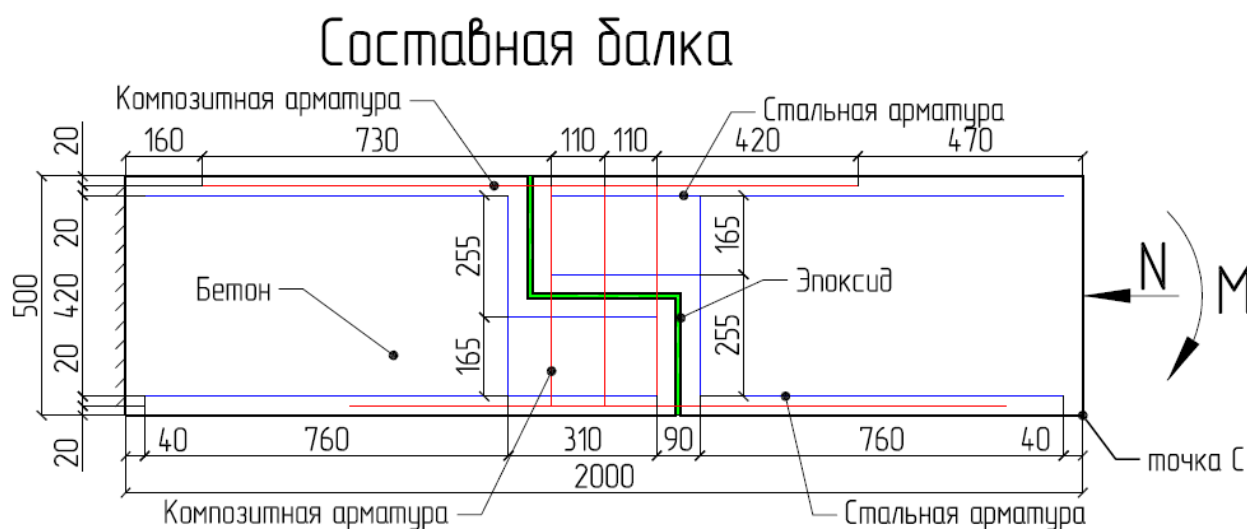


Рисунок 1. Схема монолитной и составной железобетонной балки.

Параметры железобетонных балок представлены в таблице 1.

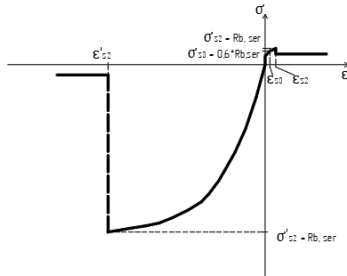
Таблица 1

Характеристики железобетонной балки

Длина, мм	Глубина, мм	Высота, мм	Бетон	R_0 бет., кН/м ³	Арматура	R_0 арм., кН/м ³
2000	1000	500	B30	25	Ø 16 АIII	75

Для бетона и арматуры использовались диаграммы, представленные на рисунке 2.

Экспоненциальный закон нелинейного деформирования бетона



Кусочно-линейный закон нелинейного деформирования арматуры

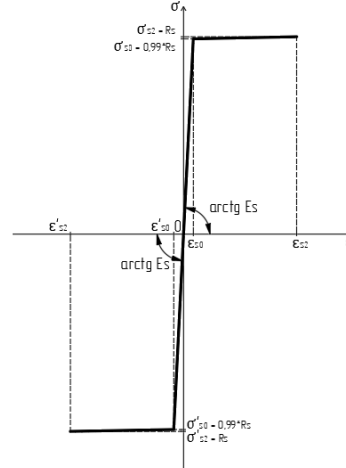


Рисунок 2. Диаграммы нелинейного деформирования бетона и стальной арматуры.

Модуль композитной арматуры, $E = 50000000 \text{ кН/м}^2$. Характеристики эпоксидной ленты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики эпоксидной ленты

Осевая жесткость, кН/м	Коэфф. трения покоя	Работа на сжатие
40000000	0.6	

Ранее в [2] выполнялся расчет арочного моста с учетом физической нелинейности, по результатам которого была получена наиболее невыгодная комбинация усилий $M = 242,0 \text{ кН*м}$, $N = -2222,0 \text{ кН}$. Данные усилия в расчетной схеме представлены сосредоточенными силами, приложенными к узлам крайнего правого сечения. В узлах левого сечения балки исключены перемещения по осям X, Z.

Нагружение выполнялось поэтапно. Сначала прикладывалась нагрузка от собственного веса, затем – заданная нагрузка. Нелинейный расчет выполнялся с помощью шагового алгоритма, количество шагов по нагрузкам равно 20.

Результаты исследования, их обсуждение. На рисунке 3 представлены деформированная схема и схема напряжения в бетоне вдоль оси X при заданной нагрузке.

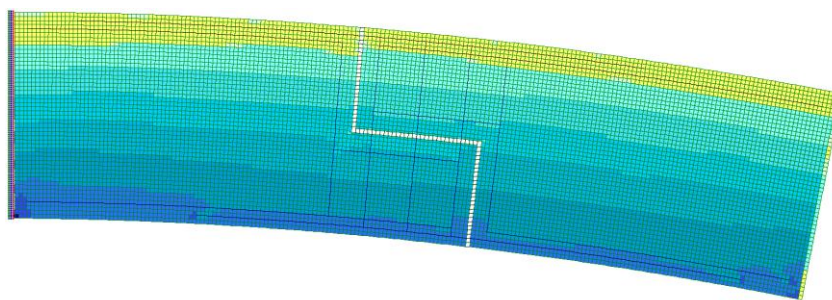


Рисунок 3. Схема напряжение бетона вдоль оси X при заданной нагрузке.

По результатам расчёты, были построены графики зависимости перемещения точки С на рисунке 1, при увеличении нагрузки от 0 до 100% (рис. 6).

Анализ результатов показывает, что предложенный вариант соединения сборных железобетонных элементов может применяться для конструкций арочных сборных грунтозасыпных мостов.



Рисунок 6. График зависимости перемещения точки С от нагрузки.

Выводы. Прочность и жёсткость составной железобетонной балки с использованием композитной арматуры удовлетворяют требованиям нормативных документов.

Область применения таких соединений сборных железобетонных элементов является арочные грунтозасыпные мосты, сборные железобетонные каркасы.

Библиографический список

1. Ashikhmin S. E. Mesh building of toroidal shape with various grid schemes // Alfa build. 23 Article No 2303. 2022.
2. Ашихмин С. Э., Тюкалов Ю. Я. Расчет арочного моста с учетом физической нелинейности. Межотраслевые исследования как основа междисциплинарности наук. СПб. : НИИ «Нацразвитие», 2022.

3. Baghdadi A., Ledderose L., Ameri S., Kloft H. Experimental and numerical assessments of new concrete dry connections concerning potentials of robotic CNC manufacturing technique // Engineering Structures. 2023. Vol. 280. P. 17.
4. Kononchuk O., Iasnii V., Lutsyk N. Prediction of reinforced concrete structures behavior using finite element method // Procedia Structural Integrity. 2022. Vol. 6. P. 177–181.

Градостроительное развитие города Уржума с 1784 по 2023 г.

Соболева Ирина Альфридовна^а, доцент кафедры
архитектуры и градостроительства
Мкртычян Юлия Артуровна^б, студент
Вятский государственный университет^{а, б}, Киров

Аннотация: в данной статье авторами выполняется исследование градостроительного развития города Уржума и топонимика улиц, заложенных первым генеральным планом от 1784 г., расположенного в одноименном районе на юге Кировской области. В результате градостроительного анализа и исследовательской работы было выявлено, что город Уржум не утратил ни одной улицы, из запроектированных первым регулярным генеральным планом, но они были переименованы.

Ключевые слова: Генеральные планы города Уржума, застройка города Уржума, улицы города Уржума.

В 1584 году был основан город-крепость Уржум, который подчинялся Приказу Казанского дворца. Позднее, в 1748 году, он входит в состав уездных городов Вятского наместничества. Город Уржум располагается в южной части Кировской области на реке Уржумке.

13 августа 1784 года был утвержден первый регулярный генеральный план, по которому и началась застройка города (Рис. 1). По данному плану город имел всего 8 улиц из них 3 продольные улицы располагаются параллельно реке Уржумке (ул. Верхняя, ул. Казанская, ул. Воскресенская) и 5 поперечных (ул. Мачехина, ул. Буйская, ул. Набережная, ул. Пустоваловская, ул. Берсенская), которые строго перпендикулярно пересекают продольные. На главной площади Уржума располагался старый Троицкий собор и Воскресенская церковь. Здесь устраивали базары и проводили праздники, во время которых торговали различными изделиями местных производителей.

Территория города росла, поэтому необходимо было увеличить количество улиц и их размеры. Следующий, второй градостроительный этап начался в 1874 году, когда был составлен новый генеральный план города Уржума (Рис. 2). Он был утвержден «в марте 1875 г. Строительным отделением Вятского губернского правления в составе губернского инженера М. С. Купинского и губернского архитектора А. С. Андреева» [1]. На юге города появляются 2 двухсторонние улицы Лебежениновская (в наст. время ул. Некрасова) и Токмениновская (в наст. время ул. Никитина), а также намечена Малая Гласисная улица

(в наст. время ул. Васнецова). Новые кварталы запроектированы и на севере Уржума, которые образуют улицы, такие как Садовая ((в наст. время ул. Рокина), Казарменная (в наст. время ул. Пирогова), Никольская (в наст. время ул. Груздовского) и Кабановская (в наст. время ул. Дрелевского). В этом же районе образовалась еще одна площадь Уржума, на которой производилась торговля дровами, сеном и предметами крестьянского быта. Площадь получила название «деревянный базар». Также была запроектирована новая продольная улица Гласисная (в наст. время ул. Гоголя).

Третий градостроительный этап начался в 1900-х годах. 11 сентября 1908 г. был рассмотрен и одобрен Строительным Отделением Вятского Губернского Правления третий генеральный план города Уржума (Рис. 3). По нему Уржум не приобретал новых улиц, а увеличивал и максимально застраивал имеющиеся. В это время появляются важные для города здания:

- В 1907 году губернский архитектор Максимович подписал проект пожарного депо, которое расположено на углу современных улиц Елкина и Чернышевского (д. № 72/20) [1].
- В том же году на участке больницы построен инфекционный корпус, предположительно, автором которого является Г. Г. Кугушев. В 1912–1915 гг. шло строительство хирургического корпуса под руководством архитектора Д. А. Охотникова [1].
- С 1909 по 1911 гг. проходило строительство зданий Реального училища (в наст. время школа № 1 им. В. И. Ленина) по проекту петербургского архитектора Колпакова и инженера И. Лемана [1].

Воскресенская и Казанская улицы продолжают застраиваться магазинами и складами. Строительством всех этих объектов занимаются торговая компания «Братья Шамовы», купцы Стяжкины и другие торговцы.

Четвертый генеральный план от 20 июля 1949 г. значительно отличается от прошлого (Рис. 4). Город вытягивается еще больше вдоль реки Уржумки, увеличивается количество кварталов, а соответственно и улиц. Теперь продольных улиц становится 6, а поперечных 14.

На 2023 год в городе Уржуме действует генеральный план от 2011 г. (Рис. 5) по которому он активно растет и развивается в различных направлениях, таких как сельское хозяйство, туристический центр района и т. д.



Рисунок 1. Генеральный план города Уржума 1784 г. [1] Рисунок 2. Генеральный план города Уржума 1874 г. [1]



Рисунок 3. Генеральный план города Уржума 1908 г. [1] Рисунок 4. Генеральный план города Уржума 1949 г. [1] Рисунок 5. Генеральный план города Уржума 2011 г. [2]

В результате градостроительного анализа и исследовательской работы было выявлено, что в ходе развития город Уржум не утратил ни одну из улиц, представленных на первом генеральном плане от 1784 года. Но все они с течением времени были неоднократно переименованы. История топонимии улиц показаны на рисунке 6.

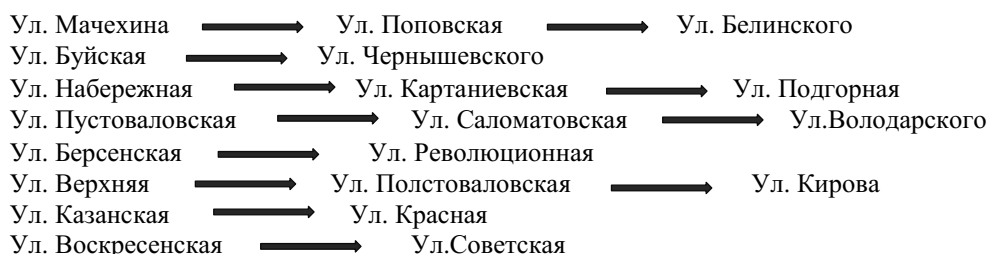


Рисунок 6. Схема изменения названий улиц с течением времени.

В результате градостроительного анализа и исследовательской работы было выявлено, что в период 1-го градостроительного этапа (с 1784 по 1874 гг.) город Уржум быстро увеличивал количество зданий (Табл. 1).

В это время появляются важные для города здания:

Таблица 1

Застройка города Уржума с 1799 по 1897 гг.

Здания	1799 г.	1842 г.	1856 г.	1870 г.	1885 г.	1879 г.
Каменные дома	—	7	18	27	44	57
Деревянные дома	105	168	249	282	412	527
Каменные церкви	3	3	3	3	4	4
Фабрики и заводы	—	—	—	2	—	—
Учебные заведения	—	2	2	2	—	—
Лавки	—	19	19	53	—	—
Склады для товаров	—	—	—	9	—	—
Больницы	—	—	—	—	5	—
Общее количество зданий	108	199	291	378	457	682

Временная шкала представленная ниже (Рис. 7) демонстрирует быстрое увеличение количества зданий в городе Уржуме с 1799 по 1879 гг.

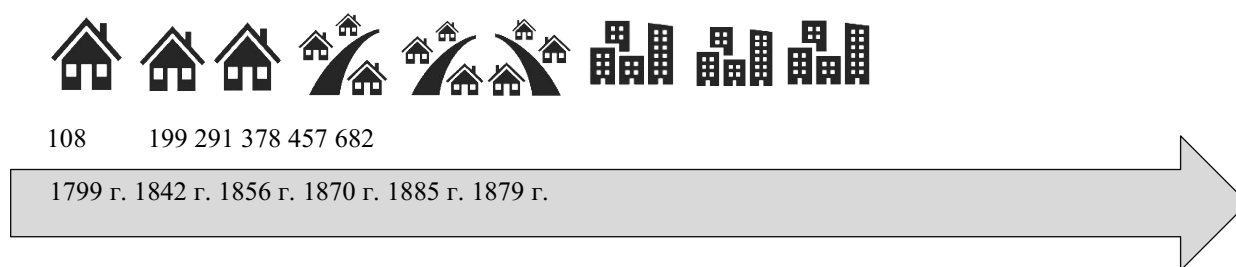


Рисунок 7. Временная шкала роста числа объектов г. Уржуме.

В результате проведенного градостроительного анализа было выявлено, что Уржум создавался в полной гармонии с окружающей природой. Архитекторы XVIII – нач. XX вв. оставили богатое архитектурное наследие, поэтому основной задачей современных градостроителей, архитекторов, жителей города является реставрация и сохранение этих объектов. По состоянию на 2023 год (XXI в.) город не утратил ни одной улицы, заложенной первым регулярным планом города от 13 августа 1784 г. XVIII в., были изменены только их названия. Сохранив многие культурно-исторические объекты, в настоящее время город востребован, как один из центров туризма. Градостроительному современному развитию г. Уржума способствует действующий генеральный план, утвержденный в 2011 году.

Библиографический список

1. Как застраивался город Уржум. URL: <http://herzenlib.ru/almanac/number/detail.php/> (дата обращения 6.01.2023).
2. Официальный сайт Уржумского района. URL: <http://www.vurzhume.ru/documents/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya-urzhumskogo-gp.html> (дата обращения 6.01.2023).

Разработка датчика нового типа для измерения напряжения в теле бетона

Чаганов Алексей Борисович^a, кандидат технических наук

Шмаков Сергей Дмитриевич^b, аспирант

Черепанов Андрей Викторович^c, аспирант

АО «ЦНИИПромзданий»^{b, c}, Москва

Российский университет транспорта^b, Москва

Вятский государственный университет^{a, c}, Киров

Аннотация: в настоящий момент времени развитие теории железобетона движется в направлении изучения работы материала в предельных состояниях, однако работы в данном направлении сдерживаются недостаточным развитием инструментального обеспечения. В частности, в настоящий момент не существует датчиков для измерения напряжения в теле бетона достаточной разрешающей способности. Целью работы являлась разработка прототипа датчика для измерения напряжений в теле бетона. Исследование проводилось с применением лабораторных однофакторных, поисковых и численных экспериментов. Проанализированы существующие конструкции, проверен ряд новых типов датчика, предложена новая конструкция датчика. Результаты могут быть использованы для разработки промышленных образцов датчиков для научно-исследовательских работ и проведения мониторинга строительных конструкций.

Ключевые слова: датчик напряжений, железобетонные конструкции, определение напряженно-деформированного состояния, особое предельное состояние, конструирование.

Введение.

Вопрос защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения приобретает особую актуальность ввиду участвовавших в последние десятилетия случаев воздействий на конструкции зданий и сооружений, не предусмотренных нормативной документацией, приводящих к их обрушению.

Проектирование зданий и сооружений с учетом защиты от прогрессирующего обрушения приводит к удорожанию строительства. Снижению стоимости мероприятий по обеспечению защиты способствует развитие теории особого предельного состояния железобетона. При этом ряд работ [1,2] показывает, что имеются неиспользованные возможности для совершенствования критериев особого предельного состояния. Исследования осложняются характером работы изгибаемых железобетонных конструкций (образование т.н. упругих блоков) [3] возникает ситуация, когда каждое конкретное сечение имеет свое специфическое напряженно-деформированное состояние.

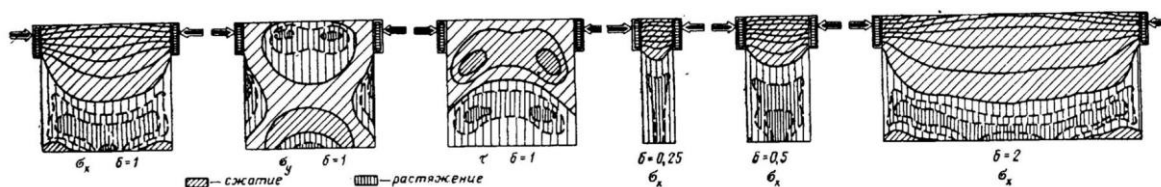


Рисунок 1 – Распределение напряжений в упругих блоках

В связи с этим общепринятый метод измерения напряжений при помощи тензорезисторов, расположенных на поверхности бетонной конструкции имеет ряд недостатков: 1) отсутствие полноты картины напряжений, ввиду поверхностного расположения тензорезисторов; 2) усредненные значения напряжений вследствие того, что для бетона применяются тензорезисторы с длинной базой (от 50 мм и более); 3) низкая надежность тензометрии, из-за невозможности гарантированно обеспечить отсутствие трещин в зоне установки тензорезисторов в ходе проведения эксперимента.

Методы исследования.

Для целей исследования был проведен анализ существующих решения для измерения напряжения в бетоне.

На основе проведенного анализа были выявлены различные подходы к способам измерения напряжения в сечении твердого тела. Выбран наиболее подходящий для условий лабораторного изготовления принцип работы датчика на основе тензорезисторов.

Изготовлены и испытаны датчики двух разных конструкций. По итогам испытаний произведена доработка конструкции, показавшей наибольшую перспективность.

Результаты исследований. В ходе первоначальной разработки, рассматривались две конструкции датчика напряжений. В качестве гипотезы было принято, что оптимальной с точки зрения простоты, технологичности и надежности будет конструкция датчика в виде тензорезистора расположенного внутри упругого корпуса из однородного компаунда (первый тип), равномерно сопряженного с тензорезистором. В этом случае деформация корпуса датчика, расположенного внутри бетонного сечения, должна вызывать равномерные деформации тензорезистора. Так же, с точки зрения снижения погрешности изме-

рения, было необходимо исключить изгибную деформацию датчика, поскольку в этом случае интерпретация изменения сопротивления тензорезистора осложняется. В качестве компаунда была выбрана эпоксидная смола.

Так же были выдвинуты две гипотезы:

1) Усиление зон восприятия давления тонкой стальной пластиной должно способствовать более равномерной передаче давления на компаунд датчика;

2) Выполнение демпфера из упругого материала с низким модулем упругости по боковой поверхности датчика должно способствовать исключению воздействия касательных напряжений. Был проведен ряд испытаний датчиков трёх подвидов (обычных, с пластинами, с демпферами). Анализ полученных данных показал, что добиться стабильных показателей работы датчика давления с корпусом из эпоксидной смолы не удалось ввиду повышенных требований к технологичности изготовления данного типа датчиков. Выдвинутые гипотезы не подтвердились.

Вторая конструкция датчика представляла собой полнотелый металлический цилиндр, с наклеенными с двух сторон на боковой поверхности тензорезисторами для возможности образования полномостовой схемы.

В результате испытаний, датчики этого типа показали стабильные результаты при работе вне тела бетона, однако при испытаниях в бетонных образцах стабильность показаний пропадала. Кроме того, при том же уровне нагрузки, отклик датчиков сильно отличался в меньшую сторону. Откуда был сделан вывод, что из-за высокого модуля упругости бетона данной, конструкции датчика не хватает чувствительности.

Для повышения чувствительности датчика, форма корпуса была изменена. Это позволило сконцентрировать деформации датчика на узком участке, что повысило чувствительность датчика без увеличения размеров.

Была проведена экспериментальная проверка работоспособности этого типа датчиков, и разработаны рекомендации по их изготовлению. Получены стабильные показатели напряжения и высокая чувствительность датчика давления.

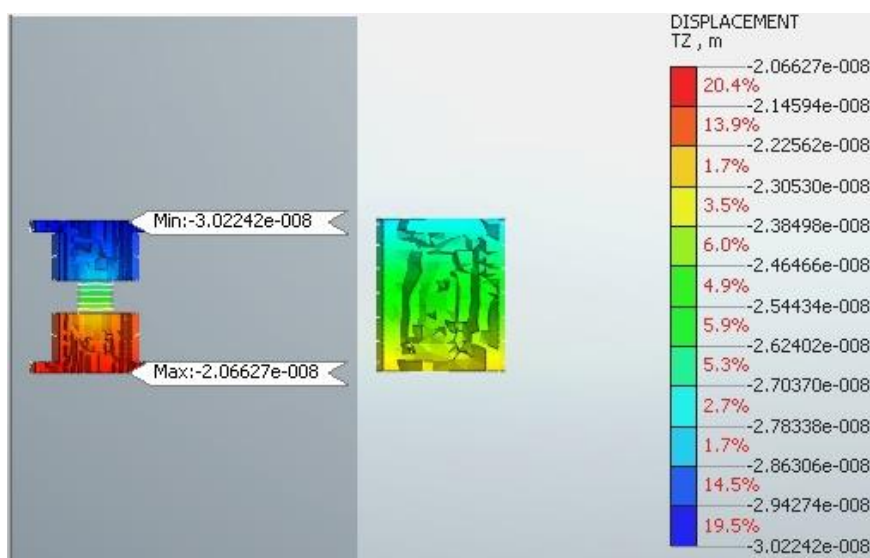


Рисунок 2 – Результаты сравнительного математического моделирования датчика второго типа и доработанного на его основе

Список использованных источников

1. Trekin N. N., Kodysh E. N., Shmakov S. D. et al. Determination of the criteria of deformation in a special limiting stat // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol. 17. P. 108–116. URL: doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116 (published: 24.03.2017).
2. Чаганов А. Б., Черепанов А. В., Шмаков С. Д. Особое предельное состояние железобетонных конструкций. Актуальное состояние и перспективы развития проблемы // Инженерный вестник Дона : электрон. журн. 2022. № 12(96). С. 669–683. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8104
3. Мулин Н. М. Особенности деформирования изгибаемых элементов // Теория железобетона : сб. тр. НИИЖБ. М. : Стройиздат, 1972. 187 с.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Снижение уровня токсичных компонентов в отработавших газах дизеля при применении ресурсосберегающих технологий

Мотовилова Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: при совершенствовании рабочего процесса и применении ресурсосберегающих технологий с использованием нефтяных и альтернативных топлив предъявляются требования к эмиссии отработавших газов. Применение ресурсосберегающих технологий приводит к снижению техногенного риска и углеродного следа продукции. Цель исследований – снижение уровня токсичных компонентов в отработавших газах при изменении рабочего процесса. Представлены результаты теоретического и экспериментального исследований изменения рабочего процесса при активации топлив. Формируя благоприятные условия для тепло- и массообмена в период смесеобразования и испарения за счет активации молекулярных групп углеводородного и альтернативного топлив достигается снижение уровня токсичных компонентов при эмиссии газов.

Ключевые слова: оксиды азота, сажа, активация топлива, эмиссия.

Введение. По результатам многочисленных экспериментальных исследований и теоретических расчетов по реализации ресурсосберегающих технологий как основы снижения техногенного риска предложено несколько направлений совершенствования рабочего процесса двигателя. При этом помимо изменения эффективных показателей двигателя, фиксируются изменения в количественном и химическом составе выхлопных газов. Границы предельно-допустимых токсических показателей в отработавших газах для ДВС регламентируются ГОСТ [1, 2, 3]. Однако проблема эмиссии сажистых частиц (С) и суммарных оксидов азота (NO_x) еще полностью не решена. Данное направление актуально и активно развивается в работах авторов [4, 5]. Объектом исследования служит автотракторный дизель. Предмет исследования – рабочий процесс двигателя. Целью научных исследований является улучшение экологических показателей и снижение техногенного риска при изменении протекания рабочего процесса в двигателе. Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить решение следующих задач: во-первых, необходимо сформировать мелкодисперсное распыливание топливного факела, во-вторых создать благоприятные условия тепло- и массообмена в первые два периода процесса сгорания.

Решение вопроса не предусматривает значительного изменения штатной системы топливоподачи.

Методы исследования. В своих работах автор [6, с. 328] при рассмотрении рабочего процесса учитывает диффузионный поток воздушной смеси, направленной к объемной поверхности капли топлива с компенсирующим конвективным потоком паровоздушной смеси исходящей от постоянно изменяющейся капли топлива (нефтяного или альтернативного) в паровоздушную среду (Стефанов поток). При работе двигателя на активированном или ресурсосберегающем топливе – движение взаимных потоков меняются за счет изменения условий распыливания и испарения, а также за счет активации предпламенных реакций.

При высокотемпературной активации топлива условия тепло- и массообмена изменяются и согласно результатам теоретического исследования [6, с. 313–366] диффузионный и Стефанов потоки активируются за счет высокотемпературного воздействия (на углеводородное и ресурсосберегающие топлива) и мелкофракционного распыливания топливного факела.

На первом теоретическом этапе образование токсичных веществ рассматривалось при непрерывном повышении температуры в камере сгорания двигателя. Механизм зарождения цепных реакций при окислении жидких фракций топлив на всем протяжении рабочего процесса не постоянный. При невысоких температурах (650–750 K) в результате реакции оксид азота окисляется до диоксида азота [7]. С повышением температуры в камере сгорания скорость образования оксида азота изменяется по механизму Фенимора (800–900 K) и характеризуется скоростью реакции между промежуточным свободным радикалом (CH) и молекулой азота. [7]. С увеличением температуры при развитии рабочего процесса химическая реакция и процесс образования [NO] и [N] ускоряется. При максимальной температуре рабочего процесса по Зельдовичу (более 1200 K) процесс горения обеспечивает температуру для реакций окисления азота. Концентрация оксидов азота (NO_x) характеризуется повышенной токсичностью компонентов при эмиссии ОГ. Понижение содержания компонентов в отработавших газах возможно за счет уменьшения концентрации атомарного азота и молекулярного кислорода в воздушной смеси.

Дисперсные, сажистые частицы – это результат процессов пиролиза и окислительного крекинга нефтяных углеводородов при высокой температуре (1300 К) в результате основных химических процессов.

В экспериментальном исследовании применялся нагрузочный электротормозной стенд RAPIDO SAK N670, с газоанализатором MGT – 5, а также система зондов для определения содержания токсичных компонентов в отработавших газах при эмиссии. Для определения дымности использовался дымомер (MDO 2 LON). Методика проведения экспериментальных испытаний соответствовала ГОСТ 18509-88.

Результаты исследований. Результаты теоретического расчета компонентов химических соединений при эмиссии отработавшего газа представлены в таблице 1, а доли несгоревшего углерода в пересчете на количество углерода в сухом эквиваленте в таблице 2.

Таблица 1

Формирование токсических показателей в ОГ

№ п/п	Температура подогрева ДТ, °С	Изменение объема количества молей ΔM , кг моль/кг топлива	Коэффициент (теор.) молекулярного изменения рабочей смеси, ϕ_0	Действительный коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси, ϕ	Компоненты, образующие отработавшие газы			
					M_{CO_2} , кмоль/кг топлива	M_{H_2O} , кмоль/кг топлива	M_{O_2} , кмоль/кг топлива	M_{N_2} , кмоль/кг топлива
1	ДТ (БП)	0,0586	1,0301	1,0290	0,07	0,18	0,23	1,05
2	370 К	0,0588	1,0301	1,0331	0,07 $\pm 0,00028$	0,18 $\pm 0,00072$	0,23 $\pm 0,00092$	1,05 $\pm 0,0042$
3	470 К	0,0592	1,0301	1,0403	0,07 $\pm 0,00077$	0,18 $\pm 0,00198$	0,23 $\pm 0,00253$	1,05 $\pm 0,0116$
4	570 К	0,05998	1,0301	1,0475	0,07 $\pm 0,00126$	0,18 $\pm 0,00324$	0,23 $\pm 0,00414$	1,05 $\pm 0,0189$

Таблица 2

Формирование несгоревшего углерода в ОГ

№ п/п	Температура подогрева ДТ, °С	Коэффициент характеристики топлива, β	Объемная доля, CO_2^c	Объемная доля, O_2^c	Доля не сгоревшего углерода, φ_c
1	ДТ	2,37	0,0852	0,0967	0,01
2	ДТ, активация 370 К	2,37	0,0852 $\pm 0,0003$	0,0967 $\pm 0,00038$	0,01 $\pm 0,0004$
3	ДТ, активация 470 К	2,37	0,0852 $\pm 0,0009$	0,0967 $\pm 0,0010$	0,01 $\pm 0,0011$
4	ДТ, активация 570 К	2,37	0,0852 $\pm 0,0015$	0,0967 $\pm 0,0017$	0,01 $\pm 0,0018$

Результаты экспериментального исследования оценивались по стандартной нагрузочной характеристике при исследовании двигателя на стенде (рис. 1). По анализу графиков видно, что содержание оксида азота снижается на 15 ppm при активации топлива на всем диапазоне увеличения нагрузки, а также наблюдается уменьшение концентрации сажи с 18,3 % до 15 % и 14,5 % при активации топлива, что характеризует изменение рабочего процесса в двигателе.

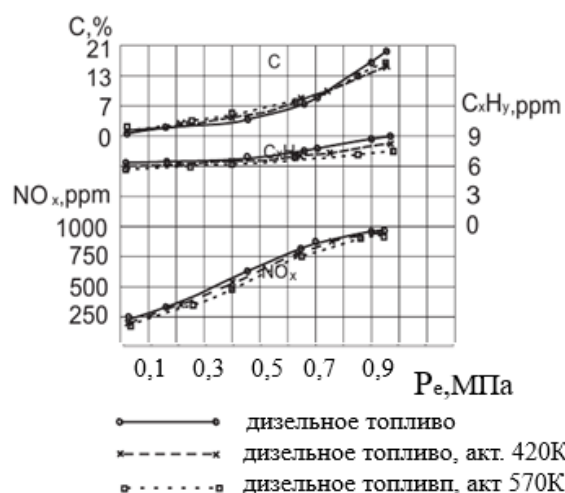


Рисунок 1. Нагрузочная характеристика двигателя 4ЧН 11.0/12.5 (экологические показатели, $n=1800$ мин-1)

Результаты исследований можно использовать в качестве ресурсосберегающих технологий. Направление совершенствования рабочего процесса двигателя характеризуется снижением уровня токсичных компонентов при эмиссии отработавших газов.

Выводы. 1. Необходимое мелкодисперсное распыливание осуществляется за счет изменения геометрических параметров топливного факела при активации топлив. 2. За счет активации молекулярных групп углеводородного и альтернативного топлив формируются необходимые благоприятные условия для тепло- и массообмена в период смесеобразования и испарения.

Библиографический список

- ГОСТР ИСО 14067-2021 Газы парниковые. Углеродный след продукции: принят 30.09.2021; действ. 01.01.2022. М., 2021. 50 с. URL: https://allgosts.ru/13/020/gost_r_iso_14067-2021 (дата обращения 19.03.2023).
- ГОСТ 41.96-2011 Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия в отношении выброса вредных веществ этими двигателями: принят 13.12.2011; действ. 01.01.2013. М., 2013. 69 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52496/>

3. ГОСТ ISO 8178-9-2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выбросов продуктов сгорания. Часть 9: принят 05.12.2014; действ. 01.01.2016. М., 2015. 51 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60461/>
4. Расчетно-экспериментальные исследования по оценке влияния подогрева альтернативных топлив на показатели работы дизеля / А. П. Марченко, А. Ф. Минак, В. Г. Семенов, О. Ю. Линьков, В. В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. 2015. № 1. С. 8–17.
5. Preferential cavitation and friction-induced heating of multi-component Diesel fuel surrogates up to 450MPa / A. Vidal, K. Kolovos, M. R. Gold et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. № 166.
6. Кавтарадзе З. Р. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 720 с.
7. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 352 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

О законах сохранения стационарных мер для стохастической модели Лоренца

Клевцова Юлия Юрьевна, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, доцент
Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН, Новосибирск
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Новосибирск

Аннотация: стационарную меру климатических моделей можно трактовать как объект, описывающий климат. В настоящей работе рассматривается двухслойная квазисоленоидальная модель атмосферы – система Лоренца. В работе получены некоторые законы сохранения для стационарных мер этой системы, возмущенной белым шумом.

Ключевые слова: система Лоренца, белый шум, стационарная мера.

Введение. Климат – это ансамбль состояний, проходимый траекторией системы за достаточно большой промежуток времени [1, с. 10–11]. Поэтому важной задачей в математической теории климата является исследования свойств решений климатических моделей на больших промежутках времени. В настоящей работе рассматривается двухслойная квазисоленоидальная модель Лоренца бароклинной атмосферы [2]. Система возмущается белым шумом. Рассматривается стационарная мера для этой системы, которая определяется марковской полугруппой, построенной на основе решений задачи Коши. Из существования стационарной меры сразу же следует существование стационарного решения, распределение которого не меняется со временем. В предыдущей работе автора [3] были получены существование и единственность такой меры и сходимости к ней на бесконечности по времени распределений всех решений из некоторого класса. Таким образом, стационарную меру можно трактовать как объект, описывающий климат. В данной работе получены ряд законов сохранения для этой меры.

Методы исследования. Законы сохранения выводятся из самой системы уравнений модели Лоренца и формулы Ито замены переменной в стохастическом дифференциальном уравнении, рассматриваемом в бесконечномерном пространстве (см., например, [4]).

Результаты исследований, их обсуждение. Для моделей атмосферы до сих пор подобных исследований не проводилось. Для системы модели Лоренца были получены существование и единственность решений в некотором классе для детерминированной системы в работе [5]. Автором впервые была рассмотрена эта система при условии возмущения правой части белым шумом и получены ряд результатов для нее [3], о которых уже было сказано выше. В настоящей работе доказываются некие интегральные соотношения для стационарной меры.

Выводы. Для численного исследования стационарных мер системы модели Лоренца важным свойством является наличие законов сохранения для этих мер. В работе получены ряд таких законов, вытекающих непосредственно из системы Лоренца.

Библиографический список

1. Дымников В. П. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. М. : ИВМ РАН, 2007. 283 с.
2. Energy and Numerical Weather Prediction / E. N. Lorenz // *Tellus*. 1960. Vol. 12. No. 4. P. 364–373.
3. О скорости сходимости распределений решений к стационарной мере при $t \rightarrow +\infty$ для стохастической системы модели Лоренца бароклиной атмосферы / Ю. Ю. Клевцова // Матем. сб. 2017. Т. 208. № 7. С. 19–67.
4. Kuksin S., Shirikyan A. *Mathematics of Two-Dimensional Turbulence* Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
5. Global attractors for the Lorenz model on the sphere / V. N. Krupchatnikov // *Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., etc.* 1995. Vol. 2. P. 31–40.

Исследование алгоритма автоматической регулировки усиления

Козлов Андрей Анатольевич^a, аспирант
Частиков Александр Вениаминович^b, доктор технических наук, профессор
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: исследован алгоритм цифровой автоматической регулировки усиления для поддержания максимального неискаженного уровня сигнала на выходе радиоприемного устройства пеленгатора.

Ключевые слова: цифровая автоматическая регулировка усиления (АРУ), радиомониторинг, пеленгация.

Введение. В системах радиосвязи широкое применение нашли системы радиомониторинга. Эффективность применения таких систем зависит от этапов выполнения процедур поиска, обнаружения и оценки параметров, которые реализуются в первичной подсистеме приема и обработки информации [1, с. 64].

Распространенным направлением применения радиомониторинга является пеленгация. На рисунке 1 показана структура пеленгатора, способного работать с непрерывными и импульсными источниками радиоизлучения.

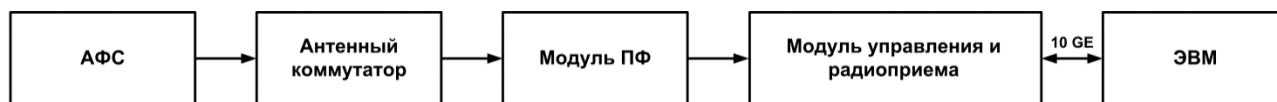


Рисунок 1. Структура пеленгатора

В состав пеленгатора входят:

- антенно-фидерная система (АФС), служащая для приема и преобразования энергии электромагнитных волн в аналоговые сигналы;
- антенный коммутатор, выполняющий мультиплексирование поступающих сигналов с антенн;
- модуль полосовых фильтров (ПФ), в котором производится усиление и выделение принятых сигналов;
- модуль управления и радиоприема, выполняющий управление узлами пеленгатора и оцифровку принятых сигналов.

Результирующие данные отправляются по интерфейсу 10G Ethernet на компьютер, который управляет работой пеленгатора, выполняя задачи приема, обработки и анализа принятых сигналов.

Эффективность работы радиоприемного устройства пеленгатора определяют тактико-технические характеристики (ТТХ), описанные в [2, с. 108]. Достичь высоких значений ТТХ невозможно без реализации функции автоматической регулировки усиления (АРУ) из-за подверженности перегрузке мощными сигналами, в результате чего появляются нелинейные искажения и побочные каналы приема.

Методы исследования. Функциональная схема АРУ пеленгатора показана на рисунке 2.

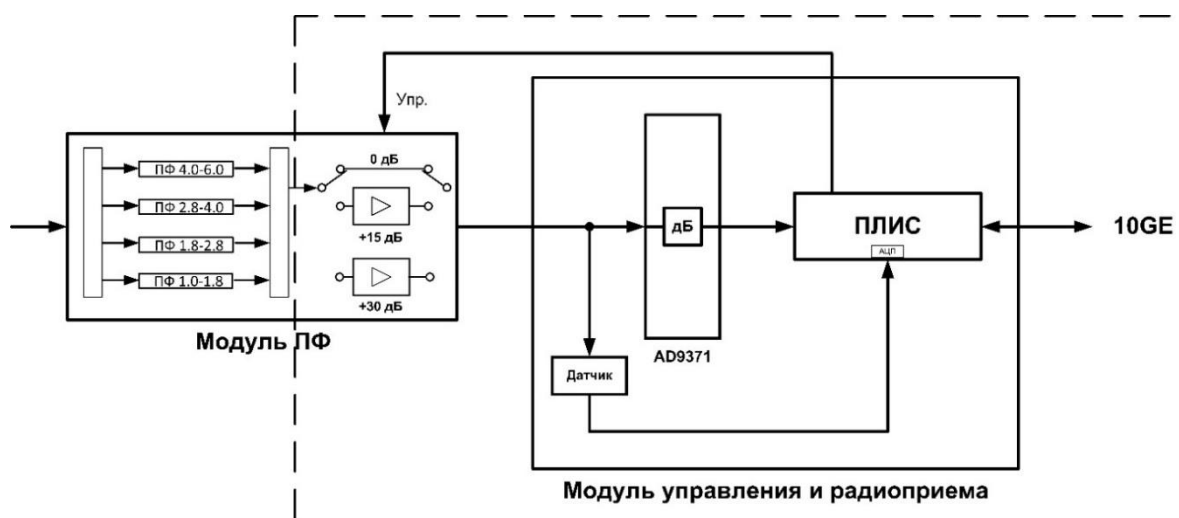


Рисунок 2. Функциональная схема АРУ

Предлагаемый алгоритм АРУ построен на использовании показаний датчика мощности и состоит из следующих этапов:

1. Сбор и накопление данных (по каждому из преселекторов) о мощности принимаемого сигнала с помощью оцифровки АЦП сигналов с датчика.
2. По окончании гиперцикла (прохода по всем заданным частотам – от 1 до 6 ГГц) выполнение вычисления уровня принимаемого сигнала и принятия решения об его изменении (неизменности):
 - вычисляется среднее значение мощности сигнала по каждому из преселекторов и пересчитывается значение усиления в дБм;
 - определяется уровень на входе устройства (до усиления) путем вычитания значения усиления, полученного на предыдущей итерации гиперцикла, из вычисленного среднего значения;

- вычисляется разность между уровнями принятого сигнала (на входе) и требуемого (заданного пользователем). Если разница больше 0, то сигнал меньше нормального и его необходимо усилить. Если разница меньше 0, то сигнал больше нормального и его необходимо ослабить;

- для каждого из преселекторов формируется пара «коэффициент усиления – коэффициент ослабления аттенюатора» и сохраняется в памяти.

3. При выполнении нового гиперцикла устанавливаются для текущего преселектора вычисленные значения коэффициентов усиления и ослабления.

Результаты исследований, их обсуждение. Для исследований алгоритма АРУ был создан макетный образец по схеме, представленной на рисунке 2. Имитация входного сигнала осуществлялась с помощью генератора SMB 100A. Выходные сигналы передавались в ЭВМ по каналу 10GE.

Экспериментальным путем был определен максимальный уровень мощности неискаженного входного сигнала в -30 дБм. Для проведения эксперимента был выбран порог -35 дБм (с запасом в 5 дБм). Именно около значения -35 дБм требовалось сохранять уровень входного сигнала с допустимым отклонением в 3 дБм (выбранный шаг для схем аттенюаторов).

С учетом выбранного порога, калибровочной характеристики и шага схем аттенюаторов алгоритм АРУ был формализован и реализован на языке C++, а загрузочный код алгоритма зашит в ПЛИС.

Эксперимент по исследованию работы алгоритма АРУ проводился для 11-и антенных элементов во всем частотном диапазоне работы пеленгатора.

Результаты исследований АРУ для входных сигналов с набором уровней -15, -20, -25, -50, -60 и -65 дБм представлены на рисунках 3-6.

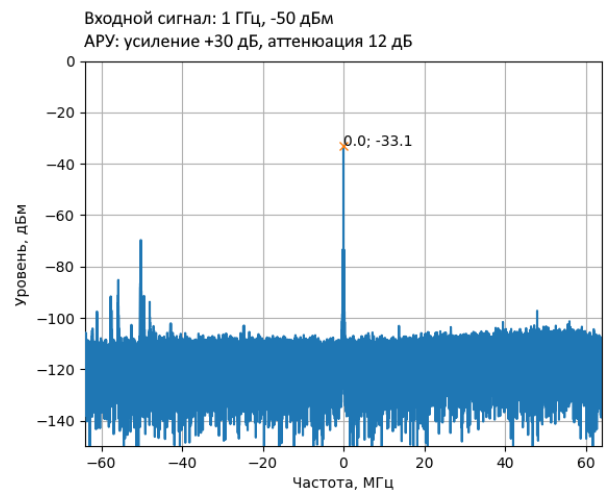
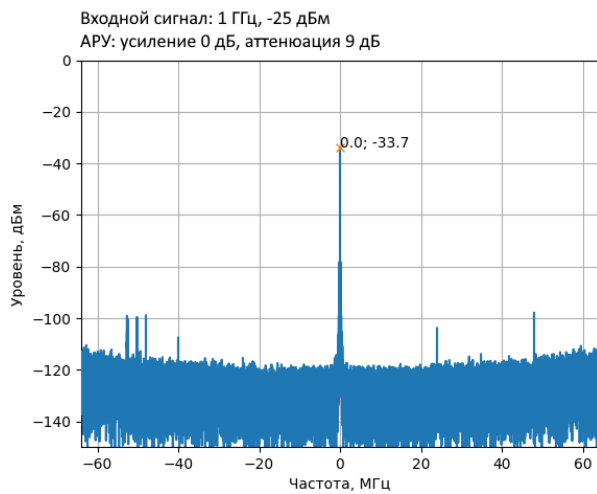


Рисунок 3. Спектры сигналов на частоте 1 ГГц

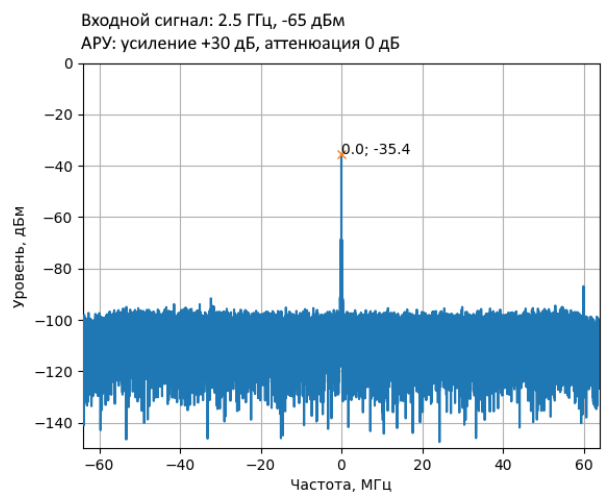
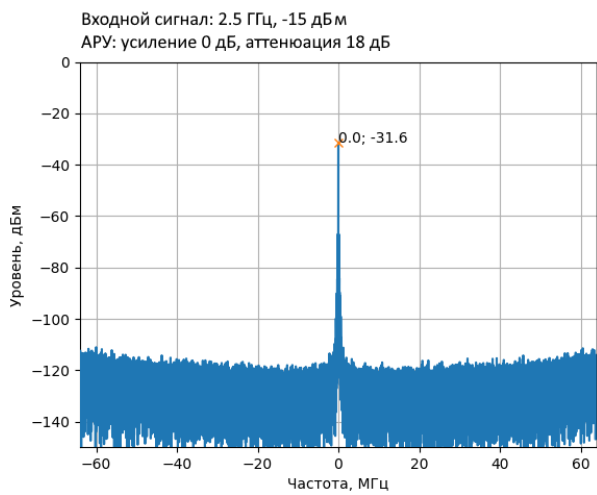


Рисунок 4. Спектры сигналов на частоте 2.5 ГГц

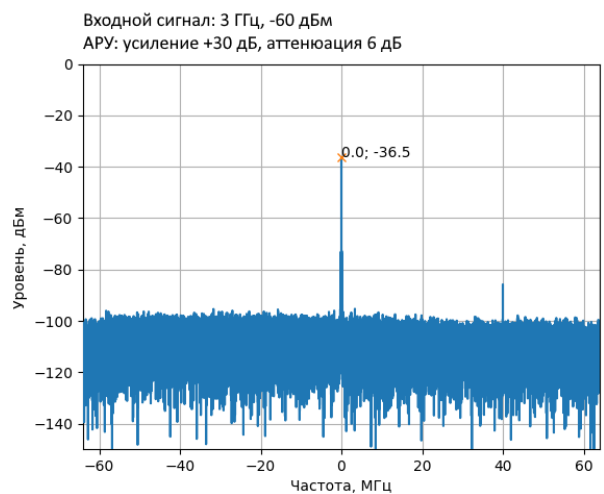
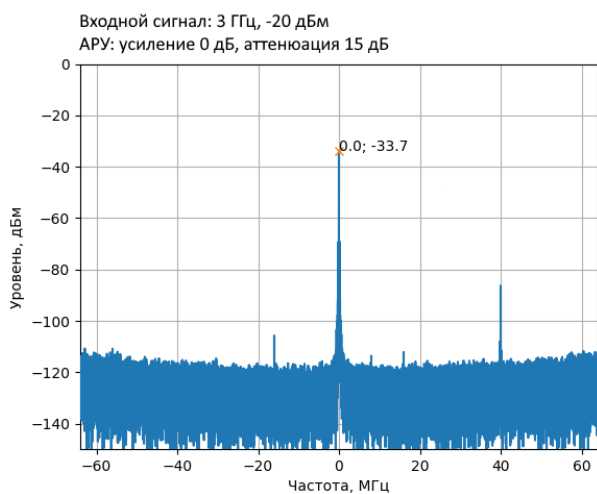


Рисунок 5. Спектры сигналов на частоте 3 ГГц

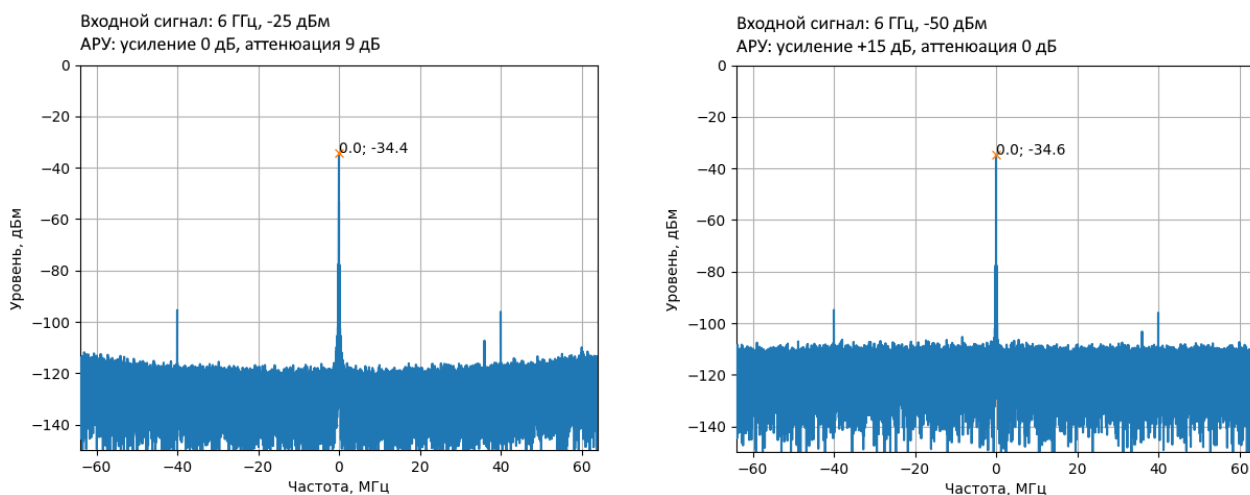


Рисунок 6. Спектры сигналов на частоте 6 ГГц

Спектры сигналов на фиксированных частотах 1.0, 2.5, 3.0 и 6.0 ГГц вычислялись с использованием стандартного приложения на компьютере.

Выводы. Анализ результатов экспериментов показал, что инструментальные отклонения измеренного коэффициента усиления АРУ от коэффициента, задаваемого парой «усилитель-аттенюатор», составили от 0,3 до 1,4 дБм (0,85 – 4 %) и не превышали шага аттенюатора в 3 дБ.

Это подтверждает предположение, что уровень входного сигнала должен регулироваться в пределах шага аттенюатора 3 дБм, и свидетельствует о том, что разработанный алгоритм АРУ работоспособен и действительно позволяет улучшить эффективность работы радиоприемного тракта пеленгатора.

Библиографический список

1. Питолин В. М., Кравцов Е. В., Пашук М. Ф., Стадников М. Д. Способ оценки помехоустойчивости систем радиомониторинга // Вестник ВГТУ. 2015. Т. 11. № 2. С. 64–68.
2. Воропай М. Н., Иванов С. В. Синтез структуры и реализация широкополосного радиоприемного устройства в диапазоне рабочих частот 0,02... 18,00 ГГц для комплексов радиомониторинга // Инженерный вестник Дона. 2010. № 2 (12). С. 108–120.

Методы создания операционной системы

Колупаев Александр Владимирович^а, кандидат технических наук, доцент
Лисянский Павел Олегович^б, студент
Вятский государственный университет^{а,б}, Киров

Аннотация: актуальность создания отечественных операционных систем неразрывно связана с национальной идеей, с безопасностью России в современном мире. Исторически сложилась ситуация, когда россияне впали в зависимость от импортных программных продуктов, и эту ситуацию необходимо изменять в рамках импортозамещения. Целью данной работы является анализ методов создания авторской операционной системы. В результате были проанализированы различные методы и была разработана авторская операционная система.

Ключевые слова: операционная система, методы создания ОС.

Введение. В условиях сложной геополитической обстановки возникла острая необходимость в развитии отечественной индустрии программного обеспечения. В первую очередь необходимо разрабатывать безопасные отечественные операционные системы, так как они являются базой для других программных продуктов [1]. Целью данной работы является анализ методов создания авторской операционной системы.

Определение. Операционная система (ОС) – комплекс взаимосвязанных программ, предназначенных для управления ресурсами компьютера и организации взаимодействия с пользователем [2].

Историческая справка. Если говорить про первую операционную систему для компьютеров, сразу вспоминается GM-НАА [3]. Её создали Роберт Патрик из General Motors и Оуэн Мок из North American Aviation в 1955 году. Первая ОС была основана на системном мониторинге и работала на больших машинах. Основной функцией GM-НАА было автоматическое выполнение новой программы, когда старая программа завершилась.

Классификация ОС. Существует множество классификации операционных систем, они общеизвестны. Например, в источнике [4] собрана информация по большому числу различных классификаций ОС.

Характеристики, которые определяют выбор операционной системы:

- 1) распространенность;
- 2) большое количество программ, работающих на этой системе;

- 3) удобный пользовательский интерфейс;
- 4) легкий переход со старой ОС на новую.

Строение операционной системы. В составе операционной системы различают три группы компонентов:

- ядро, содержащее планировщик; драйверы устройств, непосредственно управляющие оборудованием; сетевая подсистема, файловая система [5];
- системные библиотеки [6];
- оболочка с утилитами [7].

Методы создания операционной системы.

1. Создание ОС при помощи языков программирования. В этом методе программист самостоятельно пишет ядро, добавляет нужные библиотеки и рисует оболочку ОС.

Для создания ОС при помощи этого способа нужен:

- компилятор (PascalABC, IDLE Python, Dev C++);
- знание языка программирования;
- программа для рисования.

Плюсы:

- полностью авторская ОС;
- полное изменение самой ОС;
- опыт, который приобретается при разработке.

Минусы:

- большие временные затраты на разработку;
- при возникновении ошибок, может потребоваться полное удаление кода, либо долгий поиск маленькой проблемы.

2. Создание ОС за счёт другой (модификация). В этом случае пользователь берёт за основу существующую ОС и начинает в неё добавлять новое, либо меняет её отдельные компоненты или структуру полностью.

Для создания ОС при помощи этого способа нам понадобится:

- существующая ОС;
- программы;

- утилита для создания ISO образа.

Плюсы:

- не требует много времени (нужно установить программы, поменять настройки в ОС и создать ISO образ при помощи специального ПО);

- стабильность (так как за основу как правило берут стабильную ОС, то она при установке на другое устройство будет работать нормально).

– Минусы:

- однотипность (если в ОС были минимальные изменения, то она возможно никому не будет нужна).

3. Создание ОС при помощи Linux From Scratch. Linux From Scratch (LFS, «Линукс с нуля») — способ установки Linux [8, 9, 10], а также название книги Герарда Бикманса и др., описывающей процесс сборки своего дистрибутива операционной системы Linux из исходных кодов. Книга свободно доступна с сайта Linux From Scratch. В ней описывается только сборка базовой системы; для тех, кто захочет расширить её за пределы «минимального рабочего варианта», также существует проект Beyond Linux From Scratch (BLFS).

Для этого способа понадобится:

- операционная система Linux;
- необходимые программы;
- книга Linux From Scratch;
- свободное место на диске.

Советы для создания операционной системы с помощью данного способа:

- не пытайтесь создавать ОС на флешку;
- читайте внимательно книгу.

Выводы. При помощи Linux From Scratch одним из соавторов, студентом Лисянским Павлом, была создана авторская ОС Art Linux. Пока эта система находится в бета версии и недоступна для скачивания. Особенности данной системы: 1) бесплатная; 2) кастомизация; 3) простота использования. Так как это Linux, то у данной ОС есть несколько графических окружений на выбор. KDE подойдет тем, кому нужна красивая, стабильная и многофункциональная в

плане кастомизации внешнего вида. Gnome подойдет в первую очередь для ноутбуков, так как само взаимодействие с системой великолепно подходит для touch screena. Но не стоит забывать о том, что для этой красоты нужно иметь хорошее железо. XFCE понравится своей простотой и потреблением ресурсами. А LXDE подойдет слабым или старым системам, так как она является самой лёгкой оболочкой из всех представленных. Полученные результаты работы будут использованы руководителем в учебной работе ВятГУ.

Библиографический список

1. Актуальность и пути разработки отечественной операционной системы / С. Стреж, Е. Трошин. URL: https://consumer.stormway.ru/russ_os.htm (дата обращения 31.03.2023).
2. Операционная система. URL: <https://mb4.ru/operating-system.html> (дата обращения 31.03.2023).
3. Бушуева А. Эволюции операционных систем. Историческое древо сайта timeloast. URL: <https://www.timetoast.com/timelines/30edf2ae-a182-4959-9188-ef3a5d677d9f> (дата обращения 31.03.2023).
4. Классификация операционных систем. URL: <https://komputernulja.ru/operacionnye-sistemy/klassifikaciya-operacionnyx-sistem> (дата обращения 31.03.2023).
5. Что такое ядро операционной системы. URL: <https://wiki.merionet.ru/servernye-resheniya/42/chto-takoe-yadro-operacionnoj-sistemy/> (дата обращения 31.03.2023).
6. Что такое системная библиотека? // imguru.ru // Инфо-портал. URL: <http://imguru.ru/page/chto-takoe-sistemnaja-biblioteka> (дата обращения 31.03.2023).
7. Оболочки операционной системы. URL: <https://www.ibm.com/docs/ru/aix/7.2?topic=administration-operating-system-shells> (дата обращения 31.03.2023).
8. Струков И. Пишем свою ОС: Выпуск 1 // Habr: 15.08.2010. URL: <https://habr.com/ru/post/101810/> (дата обращения 31.03.2023).
9. Как шаг за шагом создать свой собственный дистрибутив Linux // linux adictos: 01.02.2018. URL: <https://www.linuxadictos.com/ru/crear-distribucion-linux.html?msclkid=d8dc1755c2e011ec823305e75f99e832> (дата обращения 31.03.2023).
10. Beekmans G. Linux From Scratch Version 11.3: Published March 1st, 2023. URL: <https://www.linuxfromscratch.org/lfs/view/stable/> (дата обращения 31.03.2023).

Применение нейросетевых моделей для определения привлекательности человека по фото

Устюжанинов Илья Леонидович^a, студент
Бызов Виктор Александрович^b, кандидат физико-математических наук, доцент
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: современные нейросетевые модели способны решать задачу классификации изображений, в том числе и выполнять оценку привлекательности человека по изображению лица. Целью работы является разработка приложения для автоматического определения привлекательности человека по фото. Проводится обучение и сравнение нескольких моделей. Качество оценки определяется с помощью трёх метрик: корреляция Пирсона, средняя абсолютная ошибка и среднеквадратическая ошибка. Наилучшей по качеству оказалась модель, основанная на архитектуре Vision Transformer. Разрабатываемое приложение может применяться в социальных медиа и на сайтах знакомств.

Ключевые слова: автоматическое определение привлекательности человека по фото, машинное обучение, нейронные сети.

Введение. Ежедневно люди оценивают фотографии друг друга в социальных сетях или ищут партнёра в приложениях для знакомств. Человек может определить привлекательность лица на снимке за несколько секунд. Но если фотографий много – на это потребуется намного больше времени. Люди выкладывают в соцсети и приложения тысячи снимков, поэтому актуальной задачей является разработка приложения для оценки привлекательности людей на фотографиях.

Одной из последних работ, посвящённых решению задачи определения привлекательности человека по изображению, является работа Лян Л. и др. [1], в которой привлекательность оценивали с помощью двух способов: с помощью извлечения и анализа геометрических признаков лица и с помощью нейросетей.

В работе Лян Л. и др. [1] были использованы три различные свёрточные нейронные сети и следующие оценки качества: корреляция Пирсона (PC), средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE). Авторы данной статьи работают в университете Китая, поэтому большая часть датасета состоит из фотографий людей азиатского происхождения. Лучшей моделью авторы выделили ResNeXt-50 [2].

Целью работы является разработка приложения для автоматического определения привлекательности человека по фото на основе нейросетевых моделей. В процессе работы были решены следующие задачи:

- подготовлен датасет;
- проведено экспериментальное исследование и сравнение нескольких моделей;
- разработано приложение для детекции лица и определения его привлекательности.

Методы исследования

1. Сбор и предобработка данных

Датасет «SCUT-FBP5500» был взят из статьи Лян Л. и др. [1]. В этом датасете содержится 4000 фотографий лиц людей азиатского происхождения и 1500 изображений лиц людей европеоидной расы с оценками привлекательности в виде действительного числа из диапазона от 1 до 5.

В данной работе использовались следующей нейросетевые модели:

- AlexNet [3];
- ResNet-18 [4];
- ResNeXt-50 [2];
- DenseNet-161 [5];
- Vision Transformer (ViT) [6].

2. Инструменты и план эксперимента

В качестве инструмента для детекции и выравнивания лиц, используется библиотека RetinaFace¹. В качестве модели, основанной на архитектуре Vision Transformer, была взята модель ViT-Base² (86 млн параметров).

Параметры обучения всех моделей, кроме ViT: 30 эпох, размер батча 20, критерий обучения MSE, метод Adam, скорость 10^{-3} и расписание обучения с $\gamma = 0.9$. Каждую эпоху скорость обучения умножалась на γ .

Параметры обучения ViT: 30 эпох, размер батча 20, критерий обучения MSE, метод Adam, скорость 10^{-5} , $\text{weight_decay}=10^{-2}$.

Последний слой всех моделей заменялся на трёхслойный регрессор с размерами линейных слоёв 4096, функцией активации ReLU и слоём Dropout с $p = 0,5$ после первых двух слоёв.

¹ <https://github.com/serengil/retinaface>

² <https://huggingface.co/google/vit-base-patch16-224-in21k>

Лучшие оценки модели Лян Л. и др. [1] указаны в таблице 1.

Таблица 1

Оценки качества модели Лян Л. и др.

Модель	PC	MAE	RMSE
ResNeXt-50	0,8777	0,2518	0,3325

Результаты исследований, их обсуждение. В таблице 2 приведены средние значения оценок для тестовой выборки, вычисленные для пяти запусков обучения каждой модели.

Таблица 2

Средние оценки качества моделей

Модель	PC	MAE	RMSE
DenseNet-161	0,8043	0,3234	0,3905
AlexNet	0,6574	0,4184	0,5076
ResNet-18	0,8868	0,3182	0,3879
ResNeXt-50	0,8147	0,2723	0,3381
ViT	0,8904	0,2389	0,3050

Значения оценок показывают, что лучше всего с оценкой привлекательности справилась модель на основе ViT. Наиболее интерпретируемая оценка – это средняя абсолютная ошибка (MAE). Она показывает, насколько в среднем модель «ошиблась» в оценке привлекательности. Невысокие оценки других моделей можно связать с недостаточным размером датасета. Улучшить оценки можно подобрав гиперпараметры, сделав аугментацию данных или увеличив размер датасета. Модели без замены последнего слоя показывали оценки хуже, чем с заменённым, в среднем на 5–10%.

На рисунках 1–2 приводятся примеры работ приложения. Рядом с детекцией лица отображается выдаваемая моделью оценка.



Рисунок 1. Первый пример работы приложения

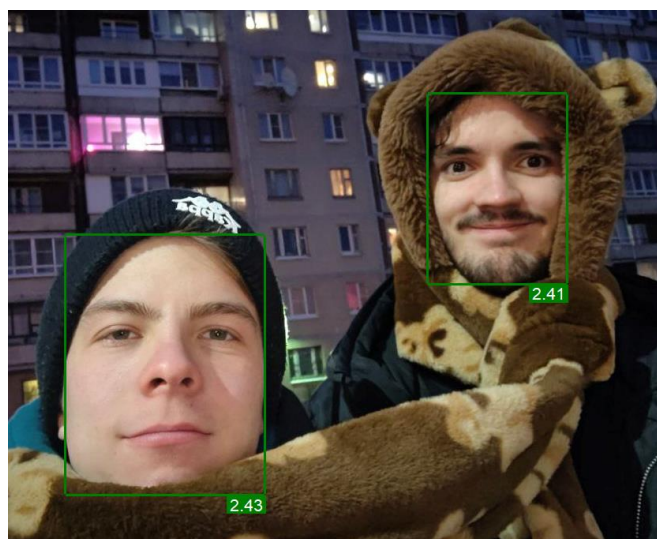


Рисунок 2. Второй пример работы приложения

По примерам можно заметить, что оценка зависит от качества изображения, освещения и выражения лица.

Выводы. В данной работе выполнена подготовка датасета, проведено обучение и сравнение нескольких моделей, в том числе новых для задачи. Наилучшие по качеству результаты показала модель ViT. Разработанное приложение может быть использовано в социальных сетях, приложениях и сайтах для знакомств.

Библиографический список

1. SCUT-FBP5500: A Diverse Benchmark Dataset for Multi-Paradigm Facial Beauty Prediction / L. Liang [et al.] // 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). 2018. SCUT-FBP5500. P. 1598–1603.
2. Aggregated Residual Transformations for Deep Neural Networks / S. Xie [et al.] // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017. P. 5987–5995.
3. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton // Communications of the ACM. 2017. Vol. 60. № 6. P. 84–90.
4. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He [et al.] // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 770–778.
5. Densely Connected Convolutional Networks / G. Huang [et al.] // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017. P. 2261–2269.
6. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale / A. Dosovitskiy [et al.] // arXiv:2010.11929 [cs]. arXiv, 2021. URL: <http://arxiv.org/abs/2010.11929/> (accessed 25.03.2023).

Алгоритм выделения рисунка вен ладони на основе многомерного марковского процесса

Харина Наталья Леонидовна^a, кандидат технических наук, доцент

Чернядьев Сергей Юрьевич^b, аспирант

Земцов Антон Валерьевич^c, аспирант

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

Аннотация: в настоящее время все чаще используются системы биометрической аутентификации по рисунку ладонных вен. В работе рассматривается алгоритм выделения рисунка вен ладони. Основной идеей является аппроксимация биометрического шаблона многомерным дискретнозначным марковским процессом и применение теории условных марковских процессов для построения алгоритма, что позволит в полной мере реализовать статистическую избыточность биометрического шаблона. Метод эффективно применять после процедуры бинаризации шаблона с динамическим порогом. Приведены примеры работы алгоритма на тестовых образцах CASIA MS Palmprint V1 Database.

Ключевые слова обработка биометрического шаблона, алгоритм утоньшения объекта, алгоритм скелетизации, многомерный марковский процесс.

Введение. В настоящее время широкое распространение получили системы биометрической аутентификации пользователей, среди них по рисунку вен ладони [1–4]. Вероятностные характеристики таких систем напрямую зависят от точности определения рисунка, а, следовательно, от методов предобработки биометрического шаблона.

Технологию распознавания биометрического признака пользователя можно разделить на три шага. Первым шагом является обнаружение области, представляющей интерес. Вторым шагом является выделение рисунка отпечатка пальца или ладони и извлечение особых точек (feature extraction) [1–4]. И последним шагом является сопоставление (matching) с шаблонами базы, которое может быть выполнено с использованием различных методов.

В работе представлен алгоритм выделения рисунка вен биометрического шаблона на основе применения теории условных марковских процессов для, что позволит в полной мере реализовать статистическую избыточность биометрического шаблона. Алгоритм применяется после процедуры порогового преобразования шаблона.

Методы исследования. Для разработки алгоритма обработки биометрического шаблона с целью утоньшения областей русла вен ладони воспользуем-

ся математической моделью [6]. Представленная в [6] математическая модель разработана для алгоритмов обработки бинарных изображений в процессе классической развертки (вправо и вниз).

В этом случае изображение является двумерным марковским случайным процессом с двумя ($N=2$) состояниями $Q_i=0$ и $Q_j=1$ с параметрами:

- вектор равновероятных начальных состояний $P = \|p_1, p_2\|^T$;
- матрицами вероятностей переходов (МВП) ${}^1\Pi$ и ${}^2\Pi$ из Q_i в соседнее Q_j состояние ($i, j \in N$) по горизонтали и вертикали соответственно [6].

Состояние каждого элемента шаблона M_{ij} зависит только от известных элементов некоторого подмножества Λ_{ij} , называемого окрестностью элемента. Лучшим образом удовлетворяющее условию каузальности является конфигурация окрестности (Рисунок 1):

$$\Lambda_{ij} = \{M_{i-1,j}, M_{i,j+1}, M_{i+1,j}, M_{i,j-1}, M_{i-1,j-1}, M_{i-1,j+1}, M_{i+1,j+1}, M_{i+1,j-1}\} \quad (1)$$

5	1	6
4	M_{ij}	2
8	3	7

Рисунок 1. Окрестность элемента шаблона

В этом случае МВП двумерной цепи Маркова можно представить в виде:

$$\Pi = \left\| \begin{array}{cccc} \alpha_1 & \alpha_2 & \cdots & \alpha_{256} \\ \alpha'_1 & \alpha'_2 & \cdots & \alpha'_{256} \end{array} \right\|^T \quad (2)$$

Алгоритм утоньшения заключается в выполнении следующих действий:

1. Вычисляются МВП ${}^q\Pi$;
2. Для каждого пиксела бинарного шаблона строится окрестность вида (9);
3. Определяется вектор состояний окрестности Λ_{ij} ;
4. На основе вектора состояний окрестности Λ_{ij} определяется номер столбца k МВП;

5. Если элемент МВП $\alpha_k > 0,5$ $M_{ij} = 0$ (окрашивается черным), иначе $M_{ij} = 1$ (окрашивается белым).

Алгоритм итерационно повторяется до тех пор, пока число перекрашенных пикселей не станет равно 0.

Результаты исследований, их обсуждение. Тестирование предложенного алгоритма проводилось на шаблонах CASIA MS Palmprint V1 Database [7]. Для извлечения ROI был использован алгоритм, описанный в работе [5]. На рисунке 2а приведен биометрический шаблон тестового снимка ладони 007_1_940_03 [7].



Рисунок 2а. Тестовый снимок ладони

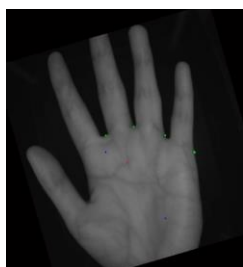


Рисунок 2б. результат процедуры построения геометрии ROI

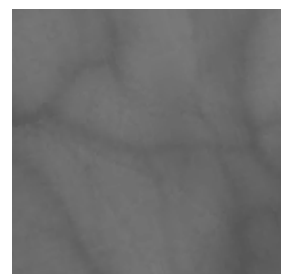


Рисунок 2с. ROI

Далее ROI подлежит пороговому преобразованию по методу Оцу, после чего применяется предложенный алгоритм выделения венозного рисунка. Как видно из Рисунок 3а полученный рисунок вен отражает реальный рисунок, но требует дальнейшей доработки. Для получения более точного рисунка вен применен модифицированный алгоритм бинаризации – пороговое преобразование по Оцу с динамически изменяющимся порогом (бинаризация по блокам). На рисунке 3б приведен пример работы алгоритма после выполнения порогового преобразования по блокам (16×16).



Рисунок 3а. Последний раунд применения предложенного алгоритма



Рисунок 3б. Последний раунд применения предложенного алгоритма

Рисунок 3b показывает, что применение порогового преобразования с динамически изменяющимся порогом позволяет более точно выделить рисунок вен с помощью предложенного алгоритма за счёт более гибкого выбора порогового значения на разных фрагментах изображения.

Выводы. Предложенный алгоритм позволяет за счет реализации статистической избыточности и теории условных марковских процессов выделять рисунок вен биометрического шаблона. Может использоваться для выделения рисунка протяженных объектов на изображении. Алгоритм не требователен к вычислительным ресурсам. Следует отметить, что для работы алгоритма требуется вычисление матриц вероятностей перехода по каждому изображению. Однако, проведенные исследования работы алгоритма в системах биометрической аутентификации по венам ладони [5], показали, что использование усредненных по всему датасету МВП не искажает выделенный рисунок вен, что существенно уменьшает вычислительную сложность. Кроме того, за счет использования корреляции между соседними пикселями возможно устранение разрывов рисунка при выполнении порогового преобразования.

Библиографический список

1. Chantaf S., Hilal A., Elsaleh R. Palm Vein “Biometric Authentication Using Convolutional Neural Networks” // Proceedings of the 8th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT’18). 2018. Vol. 1. P. 352–363. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-21005-2_34
2. Ma Xin, Jing Xiaojun. Palm vein recognition method based on fusion of local Gabor histograms // The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. 2017 Vol. 24. Is. 6. P. 55–66. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/journal/10058885>
3. Kalyani Ch. Various Biometric Authentication Techniques: A Review // Journal of Biometrics & Biostatistics, J Biom Biostat. 8. P. 371. DOI: 10.4172/2155-6180.1000371
4. Zhang L., Cheng Z., Shen Y., Wang D. Palmprint and Palmvein Recognition Based on DCNN and A New Large-Scale Contactless Palmvein Dataset // Symmetry. 2018. 10(4). P. 78. URL: <https://dblp.org/rec/journals/symmetry/ZhangCSW18.html>
5. Kurbatova E., Kharina N., Zemtsov A., Plyaskin S. Investigating Palm Vein Pattern Recognition Methods // 24th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). 2022. DOI: 10.1109/DSPA53304.2022.9790783
6. Petrov E. P., Medvedeva E. V., Kharina N. L., Tchobanou M. K. Intra frame compression and video restoration based on conditional Markov processes theory // Multidimensional Systems and Signal Processing. 2016. Vol. 27. Is. 3. P. 719–742.
7. CASIA MS Palmprint V1 Database. URL: http://www.cbsr.ia.ac.cn/MS_Palmprint_Database.asp.

ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выявление генов трансглутаминаз в геномах штаммов и почвенных изолятов стрептомицетов

Барамзин Михаил Николаевич, инженер-исследователь
Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: трансглутаминазы – образующие сшивки в молекуле белка ферменты, используемые в пищевой промышленности для обработки мяса и молока. Цель: выявить в геномах стрептомицетов гены трансглутаминаз. Для их выявления применялась локус-специфическая полимеразная цепная реакция. Гены трансглутаминаз выявлены у одного штамма и одного изолята. Выявлено два продуцента, они могут быть использованы как основа для получения ферментных препаратов трансглутаминаз стрептомицетов.

Ключевые слова: стрептомицеты, трансглутаминазы, полимеразная цепная реакция.

Введение. Трансглутаминазы (ЕС 2.3.2.13; TGases) представляют собой семейство ферментов-трансфераз, которые катализируют перекрестное связывание между γ -карбоксиамидной группой в остатках глутамина и различными первичными аминами (акцепторами ацила), включая аминогруппу лизина. Данные ферменты продуцируются у стрептомицетов в виде зимогена, активируемого протеазами, удаляющими N-концевую область [1, 3, 7].

В пищевой промышленности данный фермент может применяться для сшивки белков мяса и молока [2]. Они изменяют следующие свойства белков в пищевом сырье: эмульгирование, гелеобразование, вязкость [4].

Микробные препараты трансглутаминаз значительно дешевле препаратов животных трансглутаминаз, что удешевляет их использование в пищевой промышленности. Трансглутаминазы стрептомицетов являются хорошо изученными [5]. Их трансглутаминазы обладают большим разнообразием, наиболее известным продуцентом является: *Streptomyces mobaraensis* NRRL B3729 [6].

Цель исследования: при помощи локус-специфической полимеразной цепной реакции (ПЦР) выявить в геномах штаммов и почвенных изолятов стрептомицетов гены трансглутаминаз.

Задачи:

1. Выявить при помощи локус-специфической ПЦР гены трансглутаминаз у штаммов стрептомицетов.

2. Выявить при помощи локус-специфической ПЦР гены трансглутаминаз у почвенных изолятов стрептомицетов.

Методы исследования. Локус-специфическая ПЦР позволяет при помощи пары специфичных праймеров выявить в геноме, в данном случае, стрептомицетов конкретные гены. Праймеры к специфическим для стрептомицетов участкам генов трансглутаминаз подбирались на основе анализа выравнивания данных генов. В ходе локус-специфической ПЦР в реакционной среде накапливается специфический амплификат, который дальше можно отделить при помощи электрофореза в агарозном геле.

Вначале выделялась ДНК штаммов и почвенных изолятов стрептомицетов при помощи буфера, содержащего 2% СТАВ. Препарат подвергался очистке при помощи центрифугирования с добавлением хлороформа. В конце ДНК осаждался из верхней фазы 95% этанолом. После центрифугирования осадок ДНК растворялся в деионизованной воде. Дальше выполнялась постановка реакции ПЦР с праймерами, специфичными к участкам генов трансглутаминаз стрептомицетов: f 5'-СААСААСТАСАТАСГСААГТGG-3', r 5'-GCCTTCATCTTGGATGGGTCG -3'. С температурой отжига: 59°C. Длина целевого ПЦР продукта: 435 пар нуклеотидов.

После окончания реакции ПЦР производился учёт результатов при помощи электрофореза в 1,1% агарозном геля. Для определения длины продуктов реакции ПЦР использовался маркер (М) на 3000, 1500, 1000–100 с шагом 100 пар нуклеотидов.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе анализа результатов локус-специфической ПЦР с парой праймеров специфичных к участкам генов трансглутаминаз стрептомицетов выявлено, что у следующих штаммов и почвенных изолятов есть искомые гены (таблица 1).

**Результаты выявления при помощи ПЦР генов транsgлутаминаз
у штаммов и почвенных изолятов стрептомицетов**

Группа	№ образца ДНК	Представитель	Результат
Штаммы (из коллекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого)	1	<i>Streptomyces flavogriseus</i> Tk-5	Не выявлен
	2	<i>Streptomyces alfalfae</i> 3 Из. 12	Не выявлен
	3	<i>Streptomyces castelarensis</i> 8A13	Выявлен
	4	<i>Streptomyces castelarensis</i> A4	Не выявлен
	5	<i>Streptomyces flavogriseus</i> 3 Из. 7	Не выявлен
	6	<i>Streptomyces anulatus</i> T-2-20	Не выявлен
Изоляты	7–25	Изоляты 1–19	Не выявлен
	26	Изолят 20	Выявлен
	27–39	Изоляты 21–33	Не выявлен

Целевые фрагменты, показанные на фотографии электрофореза в агарозном геле (рисунок 1), были обнаружены у изолята № 20 и штамма *Streptomyces castelarensis* 8A13, отсутствие у другого штамма *Streptomyces castelarensis* A4, можно объяснить мутацией в местах присоединения праймеров.

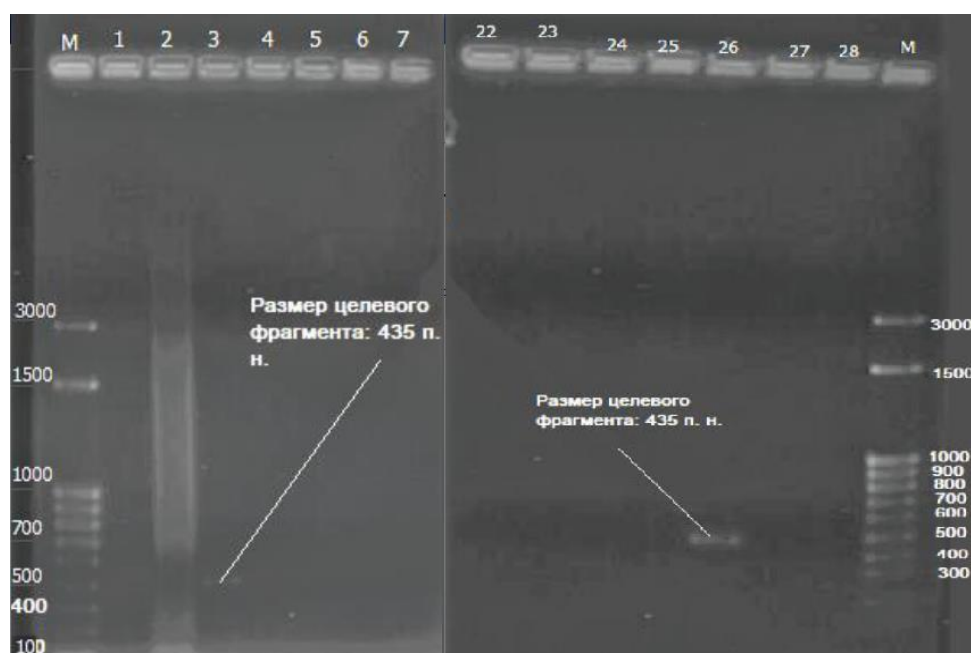


Рисунок 1. Результаты электрофореза результатов ПЦР исследуемых образцов ДНК: 1–7 и 22–28, на наличие в их геномах генов транsgлутаминаз

Выводы. Ген транsgлутаминазы выявлен у штамма *Streptomyces castelarensis* 8A13. Данный штамм предлагается как новый потенциальный продуцент фермента транsgлутаминаза, который можно применить в пищевой промышленности.

Ген трансклутаминазы выявлен у почвенного изолята стрептомицетов № 20. Данный природный почвенный изолят стрептомицетов предлагается как потенциальный продуцент трансклутаминазы. Необходимо провести секвенирование гена, выделить, оценить активность фермента.

Библиографический список

1. Du K., Liu Z., Cui W., Zhou L. et al. pH-dependent activation of *Streptomyces hygroscopicus* transglutaminase mediated by intein // *Appl Environ Microbiol.* 2014. – 80 (2). 723-9. DOI: 10.1128/AEM.02820-13. Epub 2013 Nov 15. PMID: 24242235; PMCID: PMC3911110.
2. Fatima S. W., Khare S. K. Current insight and futuristic vistas of microbial transglutaminase in nutraceutical industry // *Microbiol Res.* 2018. 215. P. 7–14. DOI: 10.1016/j.micres.2018.06.001. Epub 2018 Jun 4. PMID: 30172311.
3. Gaspar A. L., de Góes-Favoni S. P. Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins : a review // *Food Chem.* 2015. 15; 171. P. 315–22. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.019. Epub 2014 Sep 16. PMID: 25308675.
4. Giosafatto C. V. L., Fusco A., Al-Asmar A., Mariniello L. Microbial Transglutaminase as a Tool to Improve the Features of Hydrocolloid-Based Bioplastics // *Int J Mol Sci.* 2020. 22; 21(10). P. 3656. DOI: 10.3390/ijms21103656. PMID: 32455881; PMCID: PMC7279461.
5. Kieliszek M., Misiewicz A. Microbial transglutaminase and its application in the food industry : a review // *Folia Microbiol (Praha).* 2014. 59(3). P. 241–50. DOI: 10.1007/s12223-013-0287-x. Epub 2013 Nov 8. PMID: 24198201; PMCID: PMC3971462.
6. Nagy V., Szakacs G. Production of transglutaminase by *Streptomyces* isolates in solid-state fermentation // *Lett Appl Microbiol.* 2008. 47(2). 122–7. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2008.02395.x. Epub 2008 Jul 31. PMID: 18673432.
7. Yin X., Rao S., Zhou J. et al. Improved Productivity of *Streptomyces mobaraensis* Transglutaminase by Regulating Zymogen Activation // *Front Bioeng Biotechnol.* 2022. 14;10. P. 878795. DOI: 10.3389/fbioe.2022.878795. PMID: 35497347; PMCID: PMC9047793.

Влияние химического состава на твердость и структуру закаленных сплавов на основе Al–49%Zn

Бёрдов Данила Алексеевич^a, аспирант
Скворцов Александр Иванович^b, доктор технических наук, профессор,
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: показано, что твердость сплавов на основе Zn–49%Al после закалки зависит химического состава: легирования Mg, Cu и модифицирования Zr. Проанализированы закономерности упрочнения при закалке. Установлено, что наибольший эффект улучшения твердости сплавов на основе Zn–49%Al получен за счет модифицирования Zr. Перспективным является более детальный анализ полученных микроструктур, а также изучение влияния химического состава сплавов на основе Zn–49%Al и их термической обработки на параметры амплитудной зависимости внутреннего трения.

Ключевые слова: сплавы на основе Al–49%Zn, легирование, модифицирование, закалка, твёрдость, микроструктура.

Введение. Алюминий-цинковые сплавы нашли применение в промышленности, в частности, авиастроении, машиностроении благодаря своим высокотехнологичным свойствам, относительной доступностью и невысокой стоимостью компонентов. Они могут обладать высокой демпфирующей способностью, сверхпластичностью, высокой жидкотекучестью. В первую очередь, эти свойства зависят от химического состава и способа обработки. Анализ работ показал [1–7] показал, что физико-механические свойства сплавов системы Al–Zn в интервале компонентов, находящемся в области середины диаграммы состояний системы алюминий–цинк малоизучены. Представляет интерес изучения влияния закалки на физико-механические свойства и структуру сплавов на основе Al–49%Zn, дополнительно легированных Mg, Cu и модифицированных Zr.

Целью работы является: 1) изучение влияния температуры закалки из однофазной α -области на твёрдость и структуру сплавов на основе Al–49%Zn, 2) углубления фундаментальных знаний о сплавах системы Al–Zn, дополнительно легированных Mg, Cu и модифицированных Zr.

Методы исследования. Были изготовлены образцы из отливок, полученных литьём в металлическую форму, высотой 15 мм и диаметром 15 мм. Образцы подвергались отжигу при температуре 400°C. После образцы закаливались. Образцы нагревались до температуры 415°C с выдержкой 15 минут. Зака-

лочная среда – вода. Для изучения структуры и измерения твёрдости из образцов изготавливали шлифы.

Таблица 1

Химический состав сплавов (мас. %)

Сплавы	Al	Zr	Mg	Cu	Примеси (не более)	Zn
1	49	–	–	–	0,15	Остальное
2	49	0,05	–	–	0,15	Остальное
3	49	0,03	0,13	–	0,15	Остальное
4	49	0,03	1,2	1,0	0,15	Остальное

Микроструктуру изучали на микроскопе «Neophot 21» после травления образцов в растворе кислот с последующей промывкой в воде. Состав реактива: H_2SO_4 – 10 мл, HF – 10 мл, H_2O – 80 мл. Твёрдость HV измеряли на приборе ТВМ 1000 при нагрузке 9,8 Н.

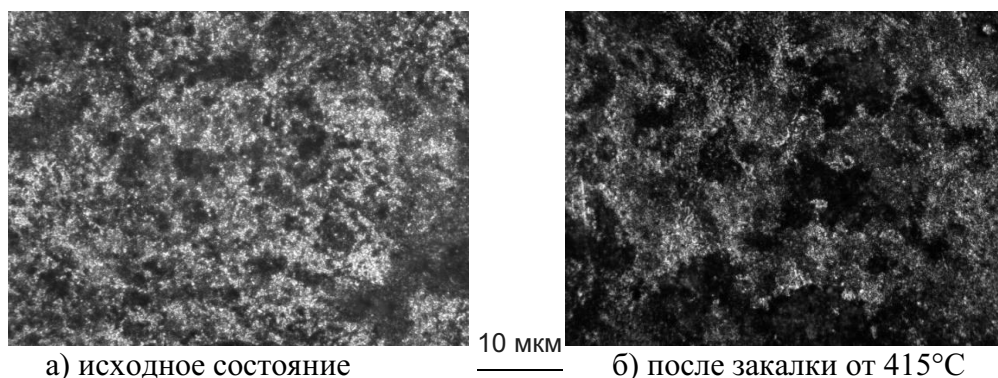
Результаты исследований, их обсуждение. В таблице 2 представлены результаты измерения твёрдости сплавов на основе Zn–49%Al до и после закалки.

На рисунках 1–4 представлены микроструктуры сплавов Zn–49%Al, Zn–49%Al–0,05%Zr, Zn–49%Al–0,13%Mg–0,03%Zr, Zn–49%Al–0,13%Mg–0,03%Zr, Zn–49%Al–1,0%Cu–1,2%Mg–0,03%Zr.

Таблица 2

Твёрдость сплавов

Сплав	HV	
	Исходное состояние	После закалки 415°C
Zn–49%Al	84	82
Zn–49%Al–0,05%Zr	83,1	123,7
Zn–49%Al–0,13%Mg–0,03%Zr	103,5	124,5
Zn–49%Al–1,0%Cu–1,2%Mg–0,03%Zr	102	117,9



а) исходное состояние

б) после закалки от 415°C

Рисунок 1. Микроструктура сплава Zn–49%Al

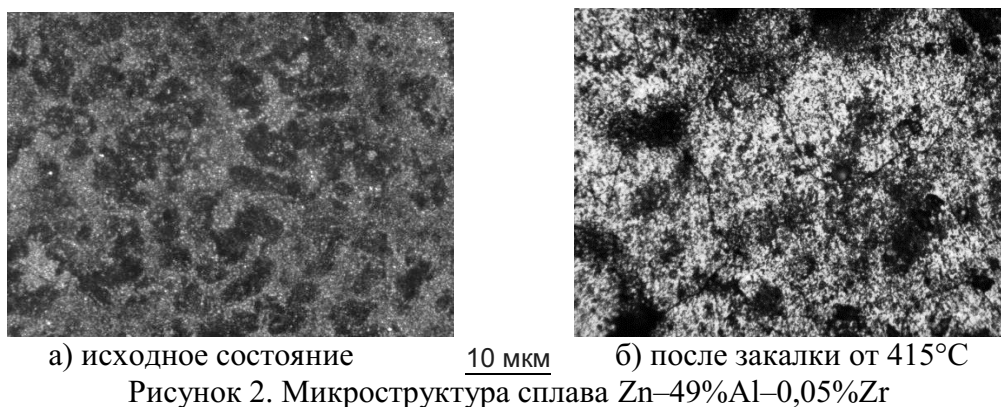


Рисунок 2. Микроструктура сплава Zn–49%Al–0,05%Zr

Анализ микроструктуры сплавов показывает, что температура нагрева под закалку 415 °С сплава Zn–49%Al приводит к частичному пережогу, следствием чего является увеличение зерна, а также оплавление границ зёрен. Данный эффект отрицательно влияет на твёрдость этого сплава, которая практически не изменилась после закалки. Однако у легированных и модифицированных сплавов наблюдается рост твёрдости. Наибольший рост твёрдости зафиксирован у сплава Zn–49%Al–0,05%Zr. Поэтому модифицирование цирконием, а в случае сплава Zn–49%Al–0,13%Mg–0,03%Zr модифицирование и магнием, вносит существенный вклад в упрочнение модифицированных сплавов.

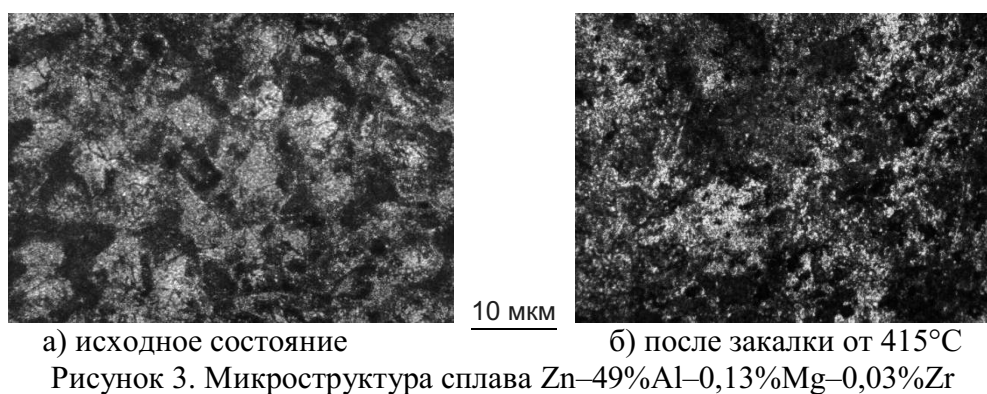


Рисунок 3. Микроструктура сплава Zn–49%Al–0,13%Mg–0,03%Zr

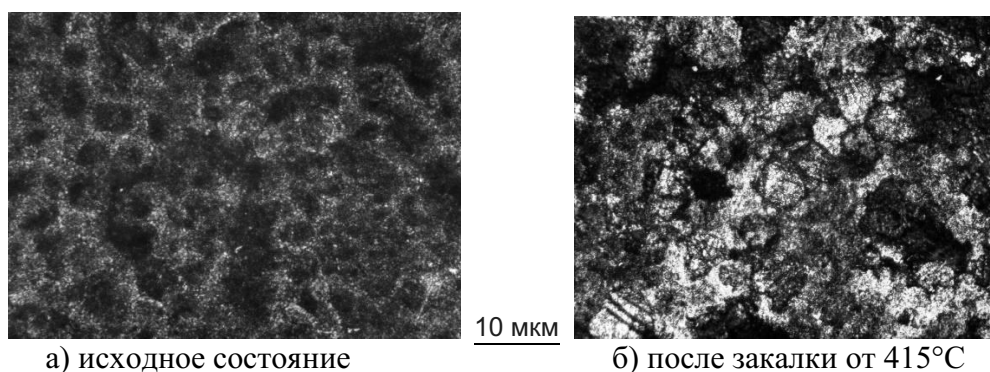


Рисунок 4. Микроструктура сплава Zn–49%Al–1,0%Cu–1,2%Mg–0,03%Zr

Выводы. 1. Твердость сплавов на основе Zn–49%Al зависит от химического состава до и после закалки.

2. В результате закалки от 415 °С твердость всех легированных и модифицированных сплавов увеличивается, а в наибольшей степени увеличивается твердость сплава Zn–49%Al–0,05%Zr.

3. С точки зрения развития исследований в данном направлении считаем перспективным: 1) более подробный анализ полученных в настоящей работе микроструктур, 2) изучение влияния закалки и старения сплавов на основе Zn–49%Al на амплитудную зависимость внутреннего трения.

Библиографический список

1. Nuttal K. The damping characteristics of a superplastic Zn–Al eutectoid alloy // Journal of Institute of Metals. 1971. Vol. 99. P. 266–270.
2. Tagamai M., Ohtani T., Usami T. Effects of heat treatment, contents of Cu and Mg, and rolling reduction on the damping capacity and mechanical properties of Zn–Al alloy // J. Japan Institute Light Metals. 1988. Vol. 38. P. 107–113.
3. Скворцов А. И. Фазовые и структурные превращения в сплавах системы алюминий–цинк. Киров : ВятГУ, 2016. 42 с.
4. Скворцов А.И. Демпфирующие и механические свойства сплавов цинк–алюминий // Известия вузов. Цветная металлургия. 1991. № 1. С. 118–122.
5. Скворцов А. И., Полев В. В. Разупрочнение и упрочнение металлов и сплавов системы Al–Zn при пластической деформации // Металловедение и термическая обработка металлов. 2017. № 8. С. 31–36.
6. Скворцов А. И., Бердов Д. А. Влияние пластической деформации при комнатной температуре и последующего отжига на структуру и твердость сплава Al–22%Zn // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 14–20 сентября 2020 г. Донецк : ДонНТУ, 2020. С. 366–368.
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. P. 340–345.
8. Алюминий и его сплавы : учеб. пособие / сост. А. Р. Луц, А. А. Суслина. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 81 с.

Получение и исследование композиции на основе полилактида и натурального каучука

Бурков Андрей Алексеевич^a, кандидат химических наук, доцент

Краев Александр Дмитриевич^b, аспирант

Шестакова Ульяна Андреевна^c, студент

Бояринцев Данил Алексеевич^d, студент

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

Аннотация: одной из главных проблем человечества является загрязнение окружающей среды пластмассовыми отходами. Это связано с тем, что ежегодно возрастает количество произведенных товаров из невозобновляемых ресурсов. Такие изделия стойки к воздействию многих факторов, поэтому они медленно разлагаются в естественных условиях и составляют серьезную угрозу загрязнения окружающей среды. Одним из решений данной проблемы является создание биоразлагаемой композиции, которая после использования будет разрушаться в естественных условиях без ущерба природе. Целью работы является создание биоразлагаемого материала и исследование влияния пероксида на композицию. В ходе эксперимента были получены и исследованы две серии образцов с различным содержанием полилактида и натурального каучука.

Ключевые слова: биополимер, пероксид, физико-механические свойства, равновесное набухание, дифференциальная сканирующая калориметрия.

Введение. Использование биополимеров является отличной альтернативой традиционным пластикам. Они быстрее разлагаются в естественных условиях и не создают серьезную угрозу загрязнения окружающей среды. В данном исследовании используется смесь на основе полилактида и натурального каучука. Полилактид считается одним из лучших заменителей полимеров на нефтяной основе. Это биоразлагаемый полимер из возобновляемых источников (кукуруза, сахарный тростник). Данным материалом можно не только легко решить проблему загрязнения, но благодаря свойствам полимера повышается спрос в различных областях применения. Натуральный каучук – аморфное, способное кристаллизоваться твёрдое тело. Сырьем для получения натурального каучука является млечный сок каучуконосных растений. В качестве вулканизирующего агента используется органический пероксид Luperox F40 [1].

Целью работы является создание биоразлагаемого материала и исследование влияния пероксида на композицию.

В задачи исследования входило исследование влияния пероксида на показатель текучести расплава, физико-механические свойства, количество поперечных связей натурального каучука в композиции с полилактидом.

Методы исследования. Исследовали композиции с содержанием полилактида и натурального каучука были введены маркировки составов, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Исследуемые композиции

Образец	Состав образца
60/40 ПЛА/НК 0	60 массовых частей ПЛА, 40 массовых частей НК, 0 массовых частей перекиси
60/40 ПЛА/НК 2	60 массовых частей ПЛА, 40 массовых частей НК, 2 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке
60/40 ПЛА/НК 4	60 массовых частей ПЛА, 40 массовых частей НК, 4 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке
60/40 ПЛА/НК 6	60 массовых частей ПЛА, 40 массовых частей НК, 6 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке
40/60 ПЛА/НК 0	40 массовых частей ПЛА, 60 массовых частей НК, 0 массовых частей перекиси
40/60 ПЛА/НК 2	40 массовых частей ПЛА, 60 массовых частей НК, 2 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке
40/60 ПЛА/НК 4	40 массовых частей ПЛА, 60 массовых частей НК, 4 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке
40/60 ПЛА/НК 6	40 массовых частей ПЛА, 60 массовых частей НК, 6 массовых частей перекиси с предварительным распределением пероксида в каучуке

Исследование композиций начиналось с оценки показателя текучести расплава. Далее для образцов двух серий были проведены испытания на физико-механические свойства на разрывной машине серии Shimadzu Autograph AGSX 5KN со скоростью 100 мм/мин. С помощью метода дифференциально-сканирующей калориметрии было исследовано поведение фазы ПЛА. С помощью метода равновесного набухания определялось влияние пероксида на количество поперечных связей в композициях. В исследовании использовался прибор DSC-60 фирмы «Shimadzu».

Результаты исследований, их обсуждение. В результате исследования было выявлено, что в образцах 60/40 ПЛА/НК и 40/60 ПЛА/НК с увеличением содержания пероксида показатель текучести расплава уменьшался. Результаты занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты исследования показателя текучести расплава

Образец	Показатель текучести расплава , г/10 мин
60/40 ПЛА/НК 0	33
60/40 ПЛА/НК 2	15
60/40 ПЛА/НК 4	12

Образец	Показатель текучести расплава, г/10 мин
60/40 ПЛА/НК 6	11
40/60 ПЛА/НК 0	50
40/60 ПЛА/НК 2	20
40/60 ПЛА/НК 4	24
40/60 ПЛА/НК 6	14

Оценив физико-механические свойства смесей установлено, что при увеличении содержания пероксида относительное удлинение при разрыве возрастает с 6 до 80 %, условная прочность при растяжении увеличивается с 6,5 до 24,5 МПа [2].

Методом равновесного набухания установлено, что с увеличением содержания пероксида количество поперечных связей возрастает с 96 до $131 \cdot 10^{-19}$ на 1 см^3 .

С увеличением содержания пероксида теплота кристаллизации фазы полилактида закономерно снижается (с 5,7 до 1,9 Дж/г), теплота плавления также падает (с 20,9 до 15,3 Дж/г). Полилактид формирует более развитую площадь межфазных слоев с натуральным каучуком, поэтому подвижность его макромолекул ниже и кристалличность его фазы также ниже [3].

Выводы. Таким образом, были исследованы две серии композиций с различным содержанием полилактида и натурального каучука. Было выявлено положительное влияние пероксида на смесь. При увеличении содержания пероксида повышались физико-механические свойства. Методом равновесного набухания было доказано, что происходит сшивание эластомерной фазы пероксидом. Исходя из полученных результатов, можно планировать следующий этап исследования композиций на основе возобновляемого сырья.

Библиографический список

7. Крутько Э. Т., Прокопчук Н. Р. Технология биоразлагаемых полимерных материалов. Минск : БГТУ, 2014. 105 с.
8. Wang Y. et al. Fully Biobased Shape Memory Thermoplastic Vulcanizates from Poly (Lactic Acid) and Modified Natural Eucommia Ulmoides Gum with Co-Continuous Structure and Super Toughness // Polymers. 2019. Vol. 11. № 12. P. 112040.
9. 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. P. 4350–4359.

Особенности древостоя и подлеска насаждений памятника природы «Яранская берёзовая роща» (г. Яранск Кировской области)

Козлов Кирилл Евгеньевич^а, студент
Шабалкина Светлана Вениаминовна^б, кандидат биологических наук, доцент
Вятский государственный университет^{а,б}, Киров

Аннотация: образование большого количества особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в городской черте – это тенденция второй половины XX в. Кроме действия абиотических и биотических факторов, они подвергаются высокой антропогенной нагрузке. Одним из ценных в средообразующем, историко-эколого-просветительском, рекреационном, эстетическом, исследовательском смысле местом в Кировской области является памятник природы «Яранская берёзовая роща». В статье охарактеризованы состав древостоя и подлеска насаждений этой ООПТ, дана оценка жизненного состояния древостоя и подроста. По материалам 10 собственных полных геоботанических описаний 2022 г., выполненных по традиционным методикам, установлено, что данное насаждение не способно к самоподдержанию в виде берёзовой рощи из-за отсутствия естественного возобновления видов *Betula*. Необходимы планомерные и регулярные обновления отдельных участков.

Ключевые слова: древостой, подлесок, подрост, особо охраняемая природная территория.

Введение. Со второй половины XX в. наблюдается тенденция образования большого количества особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в городских ландшафтах [1]. В настоящее время в Российской Федерации насчитывается 20 373 ООПТ различных категорий [2], из них более 5% находится в городах. Из городских охраняемых территорий около 80% расположено в европейской части России. Эти ООПТ – природные и природно-культурные объекты; являются ключевыми элементами экологического каркаса; выполняют средообразующую, эколого-просветительскую, рекреационную, эстетическую, историческую функции; значимы для сохранения биоразнообразия, при проведении научных исследований и экологического мониторинга. Правовой статус ООПТ способствует лучшей сохранности природных объектов и лучшему выполнению возложенных задач, по сравнению с парками и зелёными насаждениями [1, с. 96]. Научных работ, посвященных расположенным в городе биологическим ООПТ, немного, поэтому исследование их современного состояния актуально и своевременно.

В Кировской области также имеются охраняемые территории в черте городов. В г. Яранске создан биологический (ботанический) памятник природы

регионального значения «Яранская берёзовая роща» [3]. Расположенная в городе, эта ООПТ испытывает высокую антропогенную нагрузку, что сказывается на её состоянии. Цель работы – характеристика состава и оценка жизненного состояния древостоя и подлеска насаждений Яранской берёзовой рощи с позиций сохранения биоразнообразия и экосистемных функций.

Методы исследования. Во время вегетационного периода 2022 г. на территории памятника природы заложено 10 временных пробных площадей размером 20×20 м, в пределах которых проведены полные геоботанические описания по традиционным методикам [4]. Жизненное состояние деревьев оценивали, используя разработки В. А. Алексеева [5].

Результаты исследований, их обсуждение. Берёзовая роща – искусственно созданное насаждение паркового типа из *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh., заложена в 1914 г. по инициативе А. Д. Боченкова для защиты от шума планировавшейся железной дороги. Из-за изменений обстановки в стране, пути не были проложены, а посадки заброшены [6]. Позднее было разработано множество проектов по благоустройству территории, однако жители города желали, чтобы это место оставалось в первозданном виде. По решению исполкома Кировского областного Совета народных депутатов № 498 от 29.10.1990 г. Яранская берёзовая роща приобрела статус государственного памятника природы [3]. Почти за 110-летний период существования произошли изменения в общем облике и составе фитоценозов.

В результате исследований описаны следующие типы насаждений: елово-берёзовые клеверо-копытневый (состав древостоя по числу деревьев 6Б4Е) и клеверо-кисличный (6Б4Е), липово-берёзовый клеверо-снытевый (7Б3Лп), берёзовые кисличный (два насаждения – 10Б, одно – 9Б1Е), снытевый (7Б2Е1Лп), разнотравный (8Б2Е, 8Б1Лп1Е), ежово-костяничный (10Б). Как видно, в древостое начались естественные преобразования, сопровождающиеся появлением *Picea abies* (L.) H. Karst. и *Tilia cordata* Mill., которые встречаются в основном во втором ярусе.

Средний диаметр ствола деревьев берёзы варьирует от 20,7 см в берёзовом разнотравном до 49,1 см в берёзовом кисличном лесу; минимальная и мак-

симальная средние высоты охарактеризованы в тех же насаждениях: 15,5 м и 35,5 м соответственно. Число деревьев на 1 га в среднем составило 222,5 шт., изменяясь от 175 шт. до 350 шт. Двукратное отличие обусловлено, по-видимому, проведёнными мероприятиями, сопровождающимися вырубкой старых и повреждённых деревьев. Больше всего насаждений (40%) имеют сомкнутость крон древостоя 0,8, при крайних значениях от 0,4 до 0,9 в берёзовых кисличных лесах. Значение полноты изменяется от 0,3 до 0,99.

Древостой здоровый: значение высчитанного индекса жизненного состояния варьирует от 94,6 до 100%. Это закономерно, т. к. преобладают деревья первой категории жизненного состояния, особи второй категории единичны. Данные показывают, что древостой насаждений отличается по жизненности незначительно; имеющиеся отличия могут быть обусловлены возрастом деревьев берёзы, внутривидовой и межвидовой конкуренцией.

В естественном возобновлении насаждений участвуют *Picea abies*, *Tilia cordata*, *Abies sibirica* Ledeb., *Acer platanoides* L., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L., *Quercus robur* L. При изучении характеристик подроста определены следующие составы по числу особей пород: 5ДЗЕ1Лп1П, 5ДЗЕ1Лп1П, 3К4Е1Лп1П1Д, 6С2Лп2Е, 5К3П1Е1Д, 5Лп3К2Е1Д1П, 7Д1Лп1К1Е, 6Д2К1С1Лп, 4Лп3Ос2Д1К+Е, 4Д2Лп1К1Лп1Е1Ос. Наиболее успешно возобновляются *Acer platanoides*, *Tilia cordata* и *Quercus robur*: они встречаются на 90% площадей. Вызывает тревогу отсутствие возобновления видов *Betula*: данное насаждение не способно к самоподдержанию, поэтому сохранить берёзовую рощу сегодня возможно только путём искусственной посадки.

Подрост редкий: самое большое количество особей выявлено в липово-берёзовом клеверо-снытевом лесу (480 шт. на 1 га), наименьшее – в берёзовом разнотравном лесу (100 шт. на га). Редкость возобновления обусловлена, вероятно, высокими сомкнутостью крон древостоя и полнотой, антропогенным воздействием (сенокосение отдельных участков и вытаптывание).

Подавляющее большинство растений подроста относятся к категории среднего (0,6–1,5 м), в категорию крупного (более 1,5 м) попадают лишь единичные особи *Picea abies*, *Acer platanoides*, *Abies sibirica*, *Tilia cordata* и *Populus*

tremula. Значение индекса жизненного состояния подроста варьирует от 80 (берёзовый кисличный лес) до 100% (липово-берёзовый клеверо-снытевый лес), и он оценивается как здоровый. Понижение показателя индекса связано с наличием погрызов на листьях дуба, клёна, липы, грибковых заболеваний на дубе, усыхающей хвое у пихты.

Кустарниковый ярус отличается богатством видового состава: *Sorbus aucuparia* L., *Lonicera xylosteum* L., *Frangula alnus* Mill., *Rubus idaeus* L., *Padus avium* Mill., *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch, *Ribes rubrum* L., *Rosa majalis* Herrm., *Viburnum opulus* L., *Swida alba* (L.) Opiz., *Crataegus sanguinea* Pall., *Sambucus racemosa* L., *Salix caprea* L., *Malus domestica* (Suckow) Borkh. На каждой пробной площади произрастают от 4 до 8 видов, при этом *Sorbus aucuparia* и *Frangula alnus* встречаются на всех обследованных участках, *Lonicera xylosteum* и *Amelanchier spicata* – на 90% площадей. Сомкнутость полога подлеска выше оценена в берёзовом снытевом лесу (70%), ниже – в елово-берёзовом клеверо-копытневом лесу (25%). Кустарники жизнеспособные, встречаются лишь единичные особи *Frangula alnus* и *Sorbus aucuparia* пониженной жизнеспособности из-за повреждений животными. Растения образуют два подъяруса: в первый входят *Sorbus aucuparia*, *Padus avium*, *Swida alba*, *Amelanchier spicata*, *Crataegus sanguinea*, *Salix caprea*.

Выводы. Яранская берёзовая роща – искусственное старовозрастное насаждение, в котором начинается выпадение из основного полога старых ослабленных деревьев берёзы, выход в верхний ярус *Picea abies* и *Tilia cordata*. В естественном возобновлении участвуют семь лесообразующих пород, кроме видов *Betula*. Подрост редкий, средний по высоте и благонадёжный. Древостой и подрост здоровые с высокими значениями индексов жизненного состояния. Видовое разнообразие подлеска богатое (14 видов), в составе встречаются типичные таксоны таёжной зоны и не характерные для неё. Сохранение берёзовой рощи значимо в историко-эколого-просветительском, рекреационном и эстетическом аспектах; с исследовательских позиций – наблюдений за сукцессией и динамикой биоты. Однако, результаты исследования естественного возобнов-

ления показали: без вмешательства человека это сообщество не способно к самоподдержанию.

Библиографический список

1. Иванов А. Н., Чинова В. П. Охраняемые природные территории : учеб. пособие. М. : Географический факультет МГУ, 2010. 184 с.
2. ООПТ России. 2012–2023. URL: <http://www.oopt.aari.ru/> (дата обращения 25.03.2023).
3. Кадастровый отчет по ООПТ памятник природы регионального значения «Яранская березовая роща»: составлен ИАС «ООПТ России». URL: <http://www.oopt.aari.ru/> (дата обращения 25.03.2023).
4. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
5. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
6. Смоленцев И. А. Д. Боченков – основатель берёзовой рощи // Отечество. № 95. Яранск : КОГАУ «Издательский дом «Яранский», 2011.

Оценка силы взаимодействия между Psa-антигеном и комплементарными антителами с помощью лазерной ловушки

Коньшев Илья Владимирович^a, кандидат биологических наук, доцент
Бывалов Андрей Анатольевич^b, доктор медицинских наук, профессор
Загоскин Максим Андреевич^c, студент
Вятский государственный университет^{a,b,c}, Киров

Аннотация: в рамках данного исследования изучены взаимодействия между рекомбинантным антигеном Psa и мышинной сывороткой, содержащей комплементарные антитела к указанному белку. Антиген сорбировали на поверхности полистироловых микросфер методом пассивной сорбции и посредством кремний-органических сшивок, после чего определяли силу взаимодействия и долю положительных исходов опытов с помощью лазерной ловушки. В обоих случаях выявлены достоверные различия в силе отрыва между контрольными носителями и микросферами, обработанными белком Psa.

Ключевые слова: Psa-антиген, антитела, микросфера, лазерная ловушка.

Введение. Очевидным вызовом настоящего времени можно считать рост числа заражений бактериальными и вирусными инфекциями. Известно, что исход и течение болезни напрямую зависят от скорости прохождения возбудителем защитных барьеров организма. В этой связи особый интерес представляет изучение начальных стадий инфицирования — адгезии и инвазии инфекционного агента. К основными адгезинами бактерий наряду с молекулами клеточной стенки (пептидогликаном, липополисахаридом, тейхоевыми кислотами и т. д.) относят наружные белки, одним из которых, по-видимому, является антиген Psa (pH6), выделенный из наружной мембраны бактерий *Yersinia pestis*.

Белок Psa — пилиевый адгезин *Yersinia pestis* — синтезируется в виде мономеров с молекулярной массой 15 кДа, которые агрегируют с образованием макромолекулярных комплексов и формируют полиморфные фимбрии диаметром 3 – 5 нм [1]. Psa образуется в клетках *Yersinia pestis* при температуре, близкой к температуре тела позвоночных животных (около 37 °C), и слабокислой среде (pH = 6.0) [2], способствуя выживанию бактерий во вторичных макрофагальных лизосомах [3]. Кроме того Psa-белок опосредует адгезию чумного микроба к поверхности клеток млекопитающих и способствует гемагглютинации [4], что позволяет считать его важным фактором патогенности, изучение которого необходимо для совершенствования средств диагностики и терапии чумы и прочих микробных инфекций.

Цель настоящей работы состояла в сравнении двух методов сенсibilизации микросфер целевым антигеном с последующей оценкой силы взаимодействия в паре «антиген-антитело».

Материалы и методы. *Сенсibilизация микросфер антигеном.* Для опытов использовали аминированные полистироловые микросферы диаметром 1.4 мкм («Ленхром», Россия), на которые двумя способами наносили Psa-антиген, полученный из ФБУН ГНЦ ПМБ (г. Оболенск) (Таблица 1).

Таблица 1

Схема сенсibilизации микросфер целевыми белками

Химическая сшивка		Пассивная сорбция	
Пробирка 1	Пробирка 2	Пробирка 3	Пробирка 4
40 мкл суспензии микросфер, 2.5% w/v	40 мкл суспензии микросфер, 2.5% w/v	40 мкл суспензии микросфер, 2.5% w/v	40 мкл суспензии микросфер, 2.5% w/v
2 мкл р-ра NHS (4.6 мг/мл)		6 мкл ФБР	6 мкл ФБР
4 мкл р-ра EDC (9.8 мг/мл)			
Выдержать 5 мин при комнатной температуре			
300 мкл р-ра Psa, 0.3 мг/мл	300 мкл р-ра БСА, 0.3 мг/мл	300 мкл р-ра Psa, 0.3 мг/мл	300 мкл р-ра БСА, 0.3 мг/мл
18 часов при +4 °C			
Троекратное промывание осадка ФБР (13000 g, 5 минут)			
500 мкл р-ра БСА, 1%			
Однократное промывание осадка ФБР (13000 g, 5 минут)			
200 мкл ФБР с 0.01% NaN ₃			
PS-1.4-NH ₂ -NHS-Psa	PS-1.4-NH ₂ -NHS-BSA	PS-1.4-NH ₂ -Psa (пасс. сорбция)	PS-1.4-NH ₂ -BSA (пасс. сорбция)

Сенсibilизация подложки антителами. Для сенсibilизации использовали стекла толщиной 0.19 мкм. Предварительно вырезали из них квадраты 20 × 20 мм, которые наклеивали на дно титановой заготовки (d = 32 мм) с округлой внутренней прорезью (d = 23 мм). Чашку аминировали в парах АРТЕS, после чего сорбировали растворённый антиген согласно методике [5].

Лазерный пинцет. Для оценки сил взаимодействия в модельной системе «микросфера – подложка» использовали лазерный пинцет JPK Nanotracker™ (JPK, Германия) на основе иттрий-гранатового источника инфракрасного излучения ($\lambda = 1064$ нм). Методика оценки сил разрыва идентична той, что описана ранее [5].

Результаты и обсуждение. Факт сенсibilизации микросфер целевым антигеном установлен методом обеднения сывороток при постановке твердо-

фазного иммуноферментного анализа. Сведения об исходах опытов и силах отрыва в системе «микросфера – подложка» представлены ниже (Таблица 2).

Таблица 2

**Силовые характеристики взаимодействия антигена Psa
с комплементарными антителами**

Тип микросфер	Исходы опытов, %			N с отрывом	F _{ср.} , пН
	Необратимые	Нулевые	С отрывом		
PS-1.4-NH ₂ -NHS-Psa	2.95	77.86	19.19	325	6.34 ± 4.55
PS-1.4-NH ₂ -NHS-BSA	2.21	80.02	17.77	209	4.16 ± 2.97
PS-1.4-NH ₂ -Psa (пасс.)	1.66	75.76	22.58	312	7.92 ± 4.75
PS-1.4-NH ₂ -BSA (пасс.)	2.97	79.92	17.11	294	4.75 ± 1.78

Как видно, в обоих случаях средняя сила разрыва связи в системе «антиген-антитело» превосходила данный параметр для контрольных микросфер, обработанных БСА, при этом сила связи при использовании химических сшивок была сопоставима с указанным параметром для случая, когда антиген наносили на поверхность носителей методом пассивной сорбции. Более 75% отведений завершались «нулевыми» отрывами, сила которых не превышала величину шума хронограммы, что может объясняться химическими свойствами модифицированных поверхностей и преобладанием сил отталкивания над силами притяжения. Указанные результаты позволяют сделать следующие **выводы**:

- 1) предварительная обработка микросфер химическими сшивками повышает надёжность фиксации антигена;
- 2) по данным ИФА вероятность фиксации антигена методом пассивной сорбции равнозначна таковой при использовании сшивок;
- 3) для получения достаточного числа отрывов целесообразно проводить эксперименты в первый день после нанесения антител на поверхность стёкол;
- 4) метод может быть рекомендован для исследования адгезивности иных молекул (в том числе неинфекционного происхождения).

Список источников

1. Lindler L. E., Klempner M. S., Straley S. C. *Yersinia pestis* pH 6 antigen: genetic, biochemical, and virulence characterization // Infect. Immun. 1990. Vol. 8. P. 311–324.
2. Ben-Efraim S., Aronson M., Bichowsky-Slomnicki L. New antigen component of *Pasteurella pestis* formed under specified conditions of pH and temperature // J. Bacteriol. 1961. Vol. 81. P. 704–714.
3. Galvan E. M., Chen H., Schifferli D. M. The Psa fimbriae of *Yersinia pestis* interact with phosphatidylcholine on alveolar epithelial cells and pulmonary surfactant // Infect. Immun. 2007. Vol. 75. P. 1272–1279.
4. Li P., Wang X., Smith C. et al. Dissecting *psa* locus regulation in *Yersinia pestis* // J. Bacteriol. 2021. Vol. 203. e0023721.
5. Konyshov I., Byvalov A., Ananchenko B. et al. Force interactions between *Yersinia* lipopolysaccharides and monoclonal antibodies: an optical tweezers study // J. Biomech. 2020. Vol. 99. 109504.

Жаропонижающие средства синтетического и растительного происхождения: определение качественного и количественного состава

Корпакова Татьяна Николаевна^a, студент
Кадомцева Алёна Викторовна^b, кандидат химических наук, доцент
Гуленова Марина Валентиновна^c, кандидат химических наук, доцент
Пискунова Марина Сергеевна^d, кандидат химических наук,
доцент, заведующий кафедрой
Приволжский исследовательский медицинский университет^{a,b,c,d}, Нижний Новгород

Аннотация: в настоящее время существует большое количество различных жаропонижающих средств. Некоторые из них активно рекламируются, что создает иллюзию полной безопасности их применения. На практике же дела обстоят иначе. Альтернативой обычной фармакотерапии служит фитотерапия, то есть лечение растениями. Извлечения из лекарственных растений проявляют целебные свойства, сопоставимые с действием обычных лекарств, и дают меньшее количество побочных эффектов.

Ключевые слова: полифенолы, танины, флавоноиды, титриметрия, анилиды, ацетилсалициловая кислота

Введение. В ходе работы изучены основные методы определения количественного и качественного состава синтетических и природных жаропонижающих средств. В работе экспериментально определен количественный и качественный состав синтетических и природных жаропонижающих средств.

Целью настоящей работы явилось изучение общности действия жаропонижающих средств синтетического и растительного происхождения.

Материалы и методы: теоретические – проведение литературного поиска по данной проблеме; практические – анкетирование; аналитические – анализ ассортимента аптечных сетей; экспериментальные – титриметрический метод, осаждение полисахаридов этиловым спиртом, качественные реакции на присутствие енольного гидроксила, в том числе и фенольного с раствором хлоридом железа, качественные реакции, позволяющие зафиксировать присутствие флавоноидов – растительных полифенолов.

Результаты исследования, их обсуждение. Исследование выполнено на базе кафедры общей химии Приволжского исследовательского медицинского университета, г. Нижний Новгород.

Проведен качественный анализ объектов – парацетамола и салициловой кислоты на наличие фенольного гидроксила. При взаимодействии их с раство-

ром хлорида железа(III) в обоих случаях отмечается появление окрашенных комплексов. Обработка исследуемых растворов бромной водой приводит к образованию осадка. Данные аналитические эффекты являются подтверждением наличия фенольного гидроксила в анализируемых объектах.

При взаимодействии салициловой кислоты с ионами железа(III) возможно образование неполного салицилата железа(III), который, как мы полагаем, влияет на появление побочных эффектов при приеме данного препарата.

В ходе качественного анализа экстрактов лекарственных растений (цветки липы обыкновенной, череды, листья земляники, плоды малины) обнаружены флавоноиды – природные полифенолы, обладающие большей безопасностью для организма человека. При проведении качественных реакций (цианидиновая реакция, реакция с хлоридом алюминия, реакция с хлоридом железа(III), реакция с раствором аммиака) отмечено образование соответствующих окрашенных продуктов.

Также были проведены аналитические реакции на танины с ацетатом свинца. Танины обладают дубильными свойствами и характерным вяжущим вкусом. Дубящее действие танинов основано на их способности образовывать прочные связи с белками, полисахаридами и другими биополимерами. К одному мл фильтрата добавили 3 -5 капель раствора $Pb(CH_3COO)_2$. В образцах липы и череды выпал осадок желтого цвета, что свидетельствует о наличии танинов, которые влияют на улучшение работы желудка и кишечника.

В ходе исследования осуществлен количественный анализ, как лекарственных препаратов, так и экстрактов лекарственных растений. Количественный анализ исследуемых лекарственных препаратов проводился методом прямого алкалиметрического титрования. Алкалиметрическое титрование в случае спиртовых экстрактов лекарственных растений оказалось малоэффективным. Количественное определение флавоноидов в лекарственных растениях осуществляли спектрофотометрически при длине волны 410 нм.

Выводы. Экспериментально осуществлен качественный и количественный состав жаропонижающих средств: «Парацетамол», «Ацетилсалициловая

кислота», цветки липы обыкновенной, череды, листьев земляники, плодов малины. Выявлено наличие в препаратах «Парацетамол», «Ацетилсалициловая кислота» фенольного гидроксила, в цветках липы обыкновенной, череды, листьев земляники, плодов малины обнаружены флавоноиды (природные полифенолы). Фенолы, а особенно флавоноиды легко подвергаются окислению с образованием хиноидных структур, что способствует снижению температуры тела человека. Также в образцах липы и череды содержатся танины, которые влияют на улучшение работы желудка и кишечника.

Штаммы, стимулирующие рост растений, в загрязненной гербицидом почве

Коршунова Татьяна Юрьевна^a, д-р биологических наук, ведущий науч. сотр.

Кузина Елена Витальевна^b, кандидат биологических наук, ст. науч. сотр.

Мухаматдьярова Светлана Ринатовна^c, кандидат биологических наук, ст. науч. сотр.

Искужина Миляуша Галимьяновна^d, кандидат биологических наук, науч. сотр.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН^{a,b,c,d}, Уфа

Аннотация: в связи с необходимостью детоксикации находящихся в длительном использовании сельскохозяйственных почв одним из приоритетных направлений биотехнологии стали исследования, посвященные разработке способов их биоремедиации. Цель настоящей работы – изучение способности бактерий стимулировать рост растений в стрессовых условиях, вызванных присутствием в почве гербицидов. Описано 7 штаммов псевдомонад, которые продуцировали индолил-3-уксусную кислоту и проявляли устойчивость к гербицидам на основе 2,4-Д и веществ из класса имидазолинонов. Отмечено, что использование штаммов *Pseudomonas alcaligenes* UOM 10, *P. frederiksbergensis* UOM 11 и *P. avellanae* UOM 16 значительно улучшало рост клевера в почве, загрязненной гербицидом, что может служить основанием для применения данных штаммов при ремедиации почв с помощью фитомелиорантов.

Ключевые слова: *Pseudomonas*, гербициды, ремедиация, индолил-3-уксусная кислота, клевер.

Введение. Значительные площади сельскохозяйственных почв контаминированы различными химическими средствами защиты растений. Самым многочисленным классом среди них являются гербициды [1]. Они отрицательно воздействуют на микробиоценоз почвы [2] и ингибируют рост и физиологические функции растений [3]. Предложено много различных способов удаления этих ксенобиотиков [4–5]. Цель настоящего исследования заключалась в поиске штаммов бактерий рода *Pseudomonas*, устойчивых к гербицидам и обладающих способностью стимулировать рост и развитие растений-фитомелиорантов. Полученные результаты можно будет использовать при разработке способов очистки и восстановления антропогенно нарушенных территорий.

Методы исследования. В работе использовали штаммы псевдомонад из Коллекции Уфимского института биологии УФИЦ РАН: *Pseudomonas silesiensis* UOM 9, *P. alcaligenes* UOM 10, *P. frederiksbergensis* UOM 11, *P. arsenicoxydans* UOM 13, *P. jessenii* UOM 14, *P. zhaodongensis* UOM 15 и *P. avellanae* UOM 16 [6]. Устойчивость штаммов к действию гербицидов определяли визуально по интенсивности роста на МПА с добавлением различных концентраций

гербицидов. Использовали селективные гербициды российского производства: Октапон экстра, Чисталан, Тапир, Гермес, Фенизан. Концентрацию препаратов в среде варьировали в пределах 1–10 мл/л, культивирование осуществляли в течение 7 суток при 28°C.

Содержание индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) в культуральной жидкости (КЖ) анализировали хроматографически так, как это было описано [7]. Отбор проб для оценки содержания ИУК в КЖ проводили после выращивания бактерий на среде МПА в течение 5 суток.

Изучение влияния штаммов на рост и развитие растений при загрязнении гербицидом проводили в чашках Петри, в которые помещали почву, обработанную раствором гербицида Тапир (180 мкл рабочего раствора гербицида на одну чашку). После обработки почвы на нее раскладывали семена клевера лугового (красного) (*Trifolium pratense* L.) сорта Ранний 2 по 20 штук в чашку. Контрольные семена обрабатывали водопроводной водой. Необходимое количество жидкой культуры бактерий для инокуляции семян рассчитывали таким образом, чтобы титр клеток на семени составлял 10^4 КОЕ. Чашки инкубировали при 24–26°C в течение 4 суток, после чего определяли всхожесть, длину побегов и длину корней. Эксперимент на чистой почве (без гербицида) проводили аналогичным образом.

Статистическую обработку данных проводили по стандартным программам MS Excel. На рисунке представлены средние арифметические $\pm$ стандартные ошибки средних арифметических. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований, и их обсуждение. Гербициды Октапон экстра, Тапир и Гермес содержат разные действующие вещества (2,4-дихлорфеноксиксусная кислота (2,4-Д), имазетапир, имазамокс + хизалофоп-П-этил соответственно). Несмотря на это, все исследуемые штаммы обладали устойчивостью к ним во всем диапазоне концентраций. Исключение составлял *P. jessenii* UOM 14, который не выдерживал присутствие Октапона экстра в количестве более 5 мл/л. Устойчивость бактерий к Чисталану и Фенизану была намного

ниже (1–5 мл/л). В состав этих препаратов входит дополнительный компонент дикамба (3,6-дихлор-2-метоксибензойная кислота). Возможно, именно этим объясняется негативное влияние Чисталана и Фенизана на рост бактерий.

Все исследуемые штаммы синтезировали ИУК. Ее самая большая концентрация обнаружена в культуральной жидкости штаммов *P. alcaligenes* UOM 10 и *P. jessenii* UOM 14 (1627 и 1615 нг/мл соответственно). Бактерии *P. silesiensis* UOM 9 и *P. arsenicoxydans* UOM 13 продуцировали наименьшее количество этого вещества (539 и 305 нг/мл культуральной жидкости соответственно).

Ростстимулирующую активность штаммов оценивали в присутствии гербицида Тапир. Этот препарат устойчив к разложению и может накапливаться в почве. Всхожесть семян и морфометрические показатели проростков клевера на почве, обработанной гербицидом, оказались значительно ниже, чем на чистой почве. Всхожесть уменьшилась с 72 до 52%, длина корня и побега сократилась на 12,7 и 26,9% соответственно. Отношение длины корня к длине побега увеличилось с 0,72 до 0,86 (Табл.). Бактеризация семян клевера перед их проращиванием на почве с гербицидом улучшила все три анализируемых показателя. Всхожесть инокулированных семян составила 76–84%. Длина побегов после применения микроорганизмов выросла на 28,2–47,6%. Длина корней также увеличилась, но достоверные отличия от контроля (на 22,5–29,2%) были установлены только в вариантах со штаммами *P. alcaligenes* UOM 10, *P. frederiksborgensis* UOM 11 и *P. avellanae* UOM 16 (Рисунок). Как известно, соотношение корень/побег характеризует условия произрастания растений. В результате интродукции бактерий произошло уменьшение соотношения корень/побег по сравнению с необработанными растениями, оно приблизилось к значению данного показателя на почве без гербицида (Табл.). Это значит, что бактеризованные растения успешно преодолели стресс и сохранили ростовые показатели на уровне растений, развивавшихся на чистой почве.

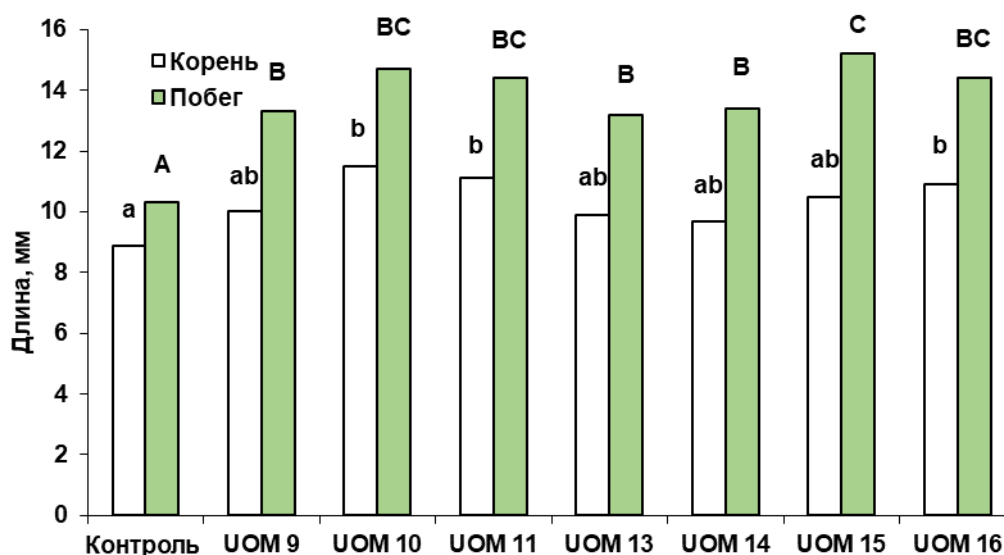


Рисунок. Влияние бактеризации на длину корней и побегов растений клевера в присутствии гербицида. Достоверно отличающиеся значения помечены разными буквами ($p \leq 0,05$, t-тест).

Таблица

Соотношение корень/побег у растений клевера

Вариант	Контроль	UOM 9	UOM 10	UOM 11	UOM 13	UOM 14	UOM 15	UOM 16
Чистая почва	0,72	0,69	0,82	0,84	0,81	0,76	0,79	0,80
Тапир	0,86	0,75	0,78	0,77	0,75	0,72	0,69	0,76

Выводы. В настоящем исследовании представлены 7 штаммов псевдомонад, устойчивых к гербицидам на основе различных действующих веществ (2,4-D, имазетапира, смеси имазамокса и хизалофоп-П-этила). Все изученные бактерии стимулировали рост корней и побегов клевера в почве с гербицидом Тапир, тем самым помогая растениям преодолевать стресс, вызванный присутствием поллютанта. Наибольшим потенциалом в качестве основы микробно-растительных комплексов для восстановления загрязненных сельскохозяйственных почв обладают штаммы *P. alcaligenes* UOM 10, *P. frederiksbergensis* UOM 11 и *P. avellanae* UOM 16.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00130 <https://rscf.ru/en/project/23-24-00130/>

Библиографический список

1. Gupta P. K. Reproductive and developmental toxicology. Academic Press, 2017. P. 657–679.
2. Fernández-Calviño D., Rousk J., Baath E. et al. Short-term toxicity assessment of a triazine herbicide (terbutryn) underestimates the sensitivity of soil microorganisms // Soil Biol. Biochem. 2021. Vol. 154. P. 108130.
3. Mahapatra K., De S., Banerjee S., Roy S. Pesticide mediated oxidative stress induces genotoxicity and disrupts chromatin structure in fenugreek (*Trigonella foenum – graecum* L.) seedlings // J. Hazard. Mater. 2019. Vol. 369. P. 362–374.
4. Sun S., Sidhu V., Rong Y., Zheng Y. Pesticide pollution in agricultural soils and sustainable remediation methods: a review // Curr Pollution Rep. 2018. Vol. 4. P. 240–250.
5. Pileggi M., Pileggi S. A. V., Sadowsky M. J. Herbicide bioremediation: from strains to bacterial communities // Heliyon. 2020. Vol. 6. P. e05767.
6. Коршунова Т. Ю., Кузина Е. В., Мухаматдырова С. Р., Шарипова Ю. Ю. Полифункциональные штаммы бактерий-нефтедеструкторов для экологической биотехнологии // Экобиотех. 2022. Т. 5. № 3. С. 90–97.
7. Стариков С. Н., Четвериков С. П. Штамм *Enterobacter* sp. UOM-3 способен к синхронной деструкции гербицидов и синтезу индол-3-уксусной кислоты // Экобиотех. 2020. Т. 3(4). С. 716–721.

Закономерности формирования структуры бронзы $\text{BrCu}_{20}\text{Ni}_{10}\text{Zn}_{10}\text{P}_{15}$ в зависимости от условий кристаллизации

Лисовская Ольга Борисовна^a, кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой

Кускова Татьяна Александровна^b, магистрант
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: предпосылками к проведению исследований является дефицитность и дороговизна олова, которое входит в составы большинства антифрикционных бронзовых сплавов, на настоящее время. Цель работы – изучение микроструктуры сурьмяных бронз. Объект исследования – сплав $\text{BrCu}_{20}\text{Ni}_{10}\text{Zn}_{10}\text{P}_{15}$. Исследуемые образцы вырезаны из опытно-промышленных отливок, полученных методами литья в кокиль, в ПГФ, по выжигаемым моделям, по выплавляемым моделям. Методы исследования: рентгеноспектральный микроанализ, металлографический анализ. В ходе проведения исследований была доказана перспективность возможного замещения оловянных антифрикционных бронз сурьмяными бронзами.

Ключевые слова: антифрикционные сплавы, сурьмяная бронза, влияние метода кристаллизации на микроструктуру сплава.

Введение. Сплавы с высокими антифрикционными свойствами являются наиболее ценными для машиностроения. Они находят свое применение для изготовления подшипников скольжения, которые используются в различных приборах, машинах, технологическом оборудовании и должны обладать хорошей износостойкостью, способностью выдерживать высокие циклические нагрузки, иметь низкий коэффициент трения. Одними из самых распространенных антифрикционных сплавов являются оловянные бронзы. В силу своей дефицитности олово – довольно дорогостоящий материал. В связи с этим актуальной задачей современного материаловедения является проведение исследований по возможности замещения олова другими, менее дорогостоящими, элементами, без потери уровня эксплуатационных свойств сплавов. Перспективными заменителями высокооловянной может стать сурьмяная бронза. Целью данной работы является изучение микроструктуры отливок из сурьмяной бронзы, полученных различными методами литья.

Методы исследования. Опытные плавки получали в графитовом тигле на чистых шихтовых материалах в электрической печи под слоем древесного угля. Дегазацию сплавов производили аргоном через графитовую трубку. Образцы для исследования вырезали из опытно-промышленных отливок диамет-

ром 100 мм и длиной 200 мм, полученных литьем в кокиль, по выплавляемым и выжигаемым моделям и в песчано-глиняную форму (ПГФ). Химический состав сплавов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Аналюст-300» фирмы Перкин – Эльмер. Металлографические исследования выполняли на оптическом микроскопе Neophot 2. Тонкую структуру исследовали с помощью электронного микроскопа JEM-210 и сканирующего электронного микроскопа JSM-6510 LV. Определение механических свойств проводили по стандартным методикам. Производили испытания на растяжение и измеряли микротвердость. Изучаемый сплав – $\text{BrCu}_{20}\text{Hf}_{30}\text{Zr}_{20}\text{Sn}_{15}$.

Результаты исследований, их обсуждение. Сурьмяная (сурьмянистая) бронза – медный сплав, где основным легирующим элементом является сурьма. Они имеют высокие антифрикционные свойства и износостойкость. Применяются для изготовления деталей трения топливной аппаратуры и подшипников. Для упрочнения основы сплава и повышения коррозионной стойкости в состав сурьмяных бронзовых сплавов вводят никель, цинк и фосфор.

Диаграмма состояния сплавов системы медь-сурьма представлена на рисунке 1 /1/. Данная диаграмма включает в себя образование следующих шести промежуточных фаз: – фаза β (Cu_3Sb) существует в интервале температур 684–435 °, область гомогенности от 19,4 % до 30,8 % (ат.) Sb. Данная фаза претерпевает эвтектоидный распад на фазы κ и Cu_2Sb ; – фаза Cu_2Sb существует в интервале температур от 586 ° и устойчива до комнатной температуры. Ее образование происходит по перитектической реакции из жидкости, содержащей 46 % (ат.) Sb, и фазы β . Область гомогенности не более 0,6 % (ат.); – фаза η существует в интервале температур 488–400 °. Ее образование происходит по перитектической реакции из твердого раствора на основе Cu и фазы β . Ее распад происходит при эвтектоидной реакции на (Cu) и фазу ϵ ; фаза ϵ существует в интервале температур от 462 ° и устойчива до комнатной температуры.

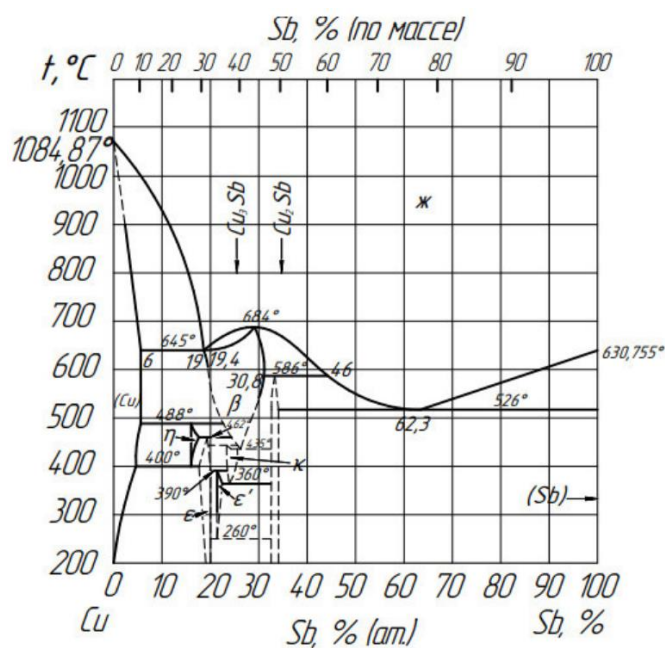


Рисунок 1. Диаграмма состояния сплавов системы медь-сурьма

В литом состоянии структура носила ярко выраженный дендритный характер (рисунок 2). Оси и ветви дендритов твердого раствора α видны на фотографиях как светлые области. Оси и ветви дендритов представляют собой α -фазу. Между ветвями дендритов имеются колонии эвтектоида сложного состава ($\alpha + \epsilon + \delta$). Следует отметить, что отливки, полученные литьем в кокиль, имеют более мелкозернистую структуру и большее количество эвтектоида.

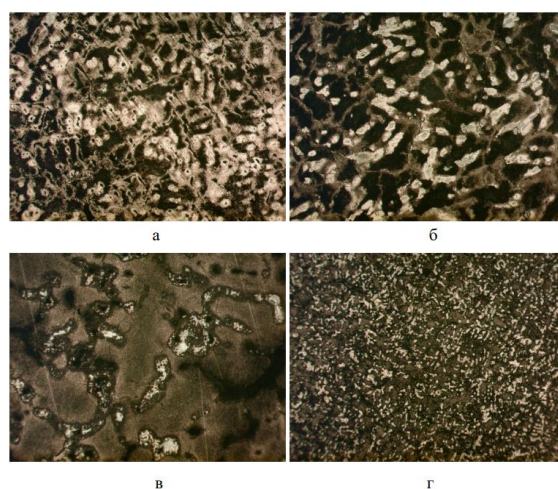


Рисунок 2. Микроструктура образцов из сплава $\text{BrCu}_2\text{H}_3\text{C}_2\text{S}_{15}$ ($\times 250$)
а – образец, полученный методом литья в ПГФ; б – метод литья по выжигаемым моделям;
в – метод литья по выплавляемым моделям; г – литье в кокиль

На рисунке 3 представлена микроструктура образцов, полученная методом электронно-микроскопического анализа.

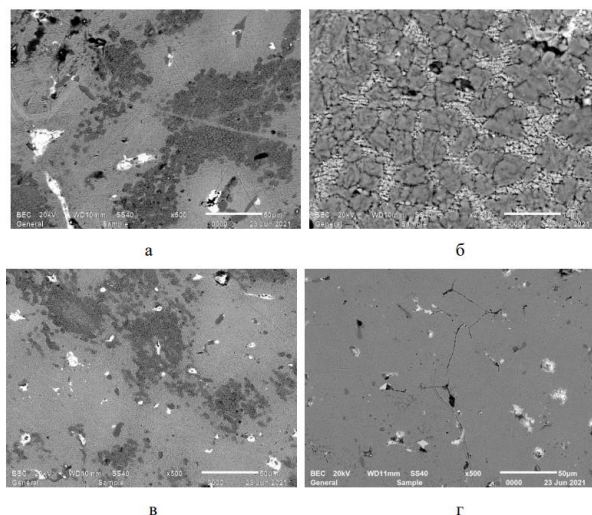


Рисунок 3. Микроструктура образцов из сплава $\text{BrCu}_2\text{H}_3\text{Ц}_2\text{C}_{15}$, полученная методом электронно-микроскопического исследования ($\times 2500$)
а – ППФ; б – литьё по выжигаемым моделям; в – литьё по выплавляемым моделям;
г – литьё в кокиль

Проведенное электронно-микроскопическое исследование образцов сурьмяной бронзы позволило изучить особенности тонкой структуры фаз, образующихся при различных условиях кристаллизации. После литья образовалась ярко выраженная гетерофазная структура. Структура состоит из зерен α -фазы и эвтектоида $\alpha + \varepsilon + \delta$; включений свинца в виде звездочек (светлые). Эвтектоид имеет тонкодиспергированное строение.

Выводы. Установлено, что структура отливок из сурьмяной бронзы $\text{BrCu}_2\text{H}_3\text{Ц}_2\text{C}_{15}$ состоит из α -фазы, включений чистого свинца и эвтектоида ($\alpha + \varepsilon + \delta$). В случае применения сурьмяной бронзы $\text{BrCu}_2\text{H}_3\text{Ц}_2\text{C}_{15}$ можно достичь значительного экономического эффекта за счет замены дорогостоящего олова, входящего в антифрикционные сплавы, сурьмой.

Библиографический список

1. Лякишев Н. П., Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 Справочник : в 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. М. : Машиностроение, 1996. 307 с.
2. Бронтвайн, Л. Р., Чурсин В. М. Отливки из сурьмяных бронз. М. : Машиностроение, 1985. 78 с.
3. Сурьмяные бронзы / Л. П. Кочеткова, О. Г. Смирнова, О. Б. Лисовская, В. А. Лисовский // Наука-производство-технологии-экология. 2004. Т. 5. С. 10.
4. Лисовский В. А. Исследование и разработка колокольных бронз с улучшенными функциональными характеристиками : дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01. Киров, 2010. 141 с.
5. Паршакова А. А. «Исследование физико-механических характеристик сурьмяной бронзы в зависимости от структурного состояния» : выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) / ВятГУ. Киров, 2021. 68 с.

**Возможность использования метода биохемилюминесценции
для определения антиоксидантной активности растительного сырья
(листья аронии черноплодной)**

Маслова Анастасия Антоновна^a, студент
Козвонин Валерий Анатольевич^b, кандидат медицинских наук,
старший научный сотрудник
Тупицын Вадим Константинович^c, студент
Еликов Антон Вячеславович^d, кандидат медицинских наук, доцент
Вятский государственный университет^b, Киров
Кировский государственный медицинский университет^{a,b,c,d}, Киров

Аннотация: в работе рассмотрена возможность использования метода биохемилюминесценции в определении и оценке антиоксидантной активности растительного сырья (листья аронии черноплодной) с применением сыворотки крови как модельной среды. Установлено, что листья аронии черноплодной вызывают снижение интенсивности биохемилюминесценции, что свидетельствует о наличии в листьях антиоксидантных веществ.

Ключевые слова: индуцированная хемилюминесценция, свободнорадикальное окисление, антиоксидантная активность, сыворотка крови, листья аронии черноплодной.

Введение. Изучение процессов свободнорадикального окисления (СРО) и методов их снижения является перспективным направлением исследования свойств растительного сырья. В физиологических условиях процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) и СРО протекают очень медленно. В патологическом процессе их интенсивность достигает максимума; при этом запускается цепная реакция, усугубляющая повреждение основных макромолекул клетки [1, с. 100]. Исследование свободных радикалов и СРО представляет значительную трудность: данные соединения обладают высокой химической активностью и связанной с ней низкой стационарной концентрацией, а также, в большинстве своем, являются короткоживущими [2, с. 110]. Одной из методик, используемых для анализа СРО и оценки динамики ПОЛ, является методика индуцированной хемилюминесценции (ХЛ).

Методы исследования. Методика индуцированной ХЛ основана на каталитическом разложении пероксида ионами металлов с переменной валентностью (в работе использовалось двухвалентное железо по реакции Фентона) с образованием свободных радикалов ($R^{\cdot}$, $OH^{\cdot}$, $RO^{\cdot}$, $RO^{2\cdot-}$, $O^{2\cdot-}$). Они вступают в процесс СРО с образованием одного из продуктов (тетроксид), распадающегося

с выделением кванта света, который фиксируется биохемилюминометром (БХЛ). Для оценки ХЛ используются следующие показатели:

1. $I_{\max}$ – максимальная интенсивность, показывает способность биообъекта к СРО;

2. S – светосумма, отражает содержание радикала RO_2 , соответствующего обрыву цепи. Позволяет оценить компенсаторные механизмы СРО (в том числе, антиоксидантную активность);

3. tg_2 и коэффициенты a и Z – отражают антиоксидантный потенциал. Чем выше значения tg_2 и ниже a и Z , тем выше антиоксидантная активность [3, с. 8].

4. Рассчитывается показатель общей антиоксидантной активности (ОАА) по методу К. Н. Конторщиковой [4].

В настоящей работе были изучены листья аронии черноплодной как источник фитофлавоноидного комплекса, обладающего антиоксидантной активностью и подавляющий активные процессы ПОЛ в модельной среде, в качестве которой применялась сыворотка крови [5, с. 175].

Для получения сыворотки крови животное вводилось в состояние общего наркоза, глубину наркоза оценивали по отсутствию роговичного рефлекса и полной миорелаксации с угнетением глубоких рефлексов. Туберкулиновым шприцом на 1 мл, предварительно гепаринизированным для предотвращения свертывания крови, осуществляли пункцию камер сердца введением иглы параллельно грудине до ощущения чувства «провала». Осуществлялся забор 2 мл крови с дальнейшим отделением сыворотки путем центрифугирования в течение 20 мин при 1500 об./мин.

Оценку антиоксидантной активности листьев аронии черноплодной проводили с помощью метода индуцированной ХЛ перекисью водорода с сульфатом железа на БХЛ-07, согласно руководству по эксплуатации прибора.

Перед началом измерений прибор прогревался не менее 30 минут; предварительно подготовленную пробирку с компонентами реакции устанавливали в прибор и регистрировали ХЛ, наблюдая фоновый сигнал в камере в течение 30 с. Максимальная фоновая активность ХЛ в измерительной камере ($I_{\max}$) составляла 16 мВ.

Для исследования использовалось две группы образцов: контроль (модельная система) и опыт (модельная система с листьями). Модельная система содержала 0,2 мл сыворотки; 0,8 мл фосфатного буфера (20 мМ KH_2PO_4 , 105 мМ KCl , $\text{pH}=7,40$); 0,8 мл $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,05 мМ); перед измерением вносился 0,4 мл свежеприготовленного 2% раствора перексида водорода.

Для образцов опытной группы готовился гомогенат из листьев аронии черноплодной. Для этого к измельченным листьям добавляли дистиллированную воду в соотношении 1:3 [4]. Гомогенат добавляли к модельной системе в равном соотношении с сывороткой.

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты с необходимыми показателями, полученными в ходе ХЛ, представлены ниже (табл. 1).

Таблица 1

Показатели оценки ХЛ в контрольной и опытной группах

Показатели ХЛ, среднее	Контроль	Стандартное отклонение	Опыт	Стандартное отклонение
$I_{\max}$, мВ	418,33	39,54	286,50	15,5
S, мВ*сек	3939,67	477,72	2891,00	16,00
tg_2	-84,5	10,7	-48	15,0
a	0,314	0,016	0,3595	0,006
Z	9,405	0,486	10,7705	0,162
OAA	0,1066	0,0078	0,0928	0,0014

Максимальная интенсивность в группе контроля выше, чем в опытной группе, что говорит об интенсивности протекания СРО. Несмотря на незначительно повышенные коэффициенты a и Z в опытной группе, суммарный антиоксидантный потенциал у опытных образцов выше (исходя из показателя tg_2), чем у контрольных. ОАА в опытной группе меньше за счет сниженного содержания радикалов в пробе. Уменьшение интенсивности ХЛ и повышение антиоксидантного потенциала в опытных пробах свидетельствует о наличии антиоксидантных свойств листьев аронии черноплодной.

Выводы. Таким образом, с помощью метода индуцированной ХЛ возможна оценка антиоксидантной активности фитофлавоноидного комплекса листьев аронии черной. Метод БХЛ позволяет определить антиоксидантную ак-

тивность растительного сырья по их тормозящему влиянию на развитие СРО в предлагаемой модельной системе.

Библиографический список

1. Узбеков М. Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантные системы при психических заболеваниях // Социальная и клиническая психиатрия. 2014. Т. 24. № 4. С. 97–103.
2. Фархутдинов Р. Р., Мусин Ш. И., Кзыргалин Ш. Р. Свободные радикалы, пролиферация и канцерогенез // Креативная хирургия и онкология. 2011. № 3. С. 109–111.
3. Руководство по эксплуатации биохемилюминометра БХЛ-07. URL: https://www.medozons.ru/rus/products/bhl-07_1.html
4. Конторщикова К. Н. Перекисное окисление липидов в норме и при патологии : учеб. пособие. Н. Новгород, 2000. 24 с.
5. Бубенчиков Р. А., Дроздова И. Л. Изучение антиоксидантной активности листьев растений рода лопух и травы фиалки полевой методами ТСХ и хемилюминесцентного анализа // Вестник Ставропольского государственного университета. 2005. № 42. С. 173–176.

Участие липополисахарида и рН6 антигена в рецепции бактериофага Л-413С

Морозова Надежда Александровна^а, студент
Дудина Любовь Геннадьевна^б, кандидат биологических наук, доцент
Вятский государственный университет^{а,б}, Киров

Аннотация: изучение стадии адсорбции бактериофагов на поверхность бактериальной клетки является обязательным этапом при оценке их возможного использования для фаготерапии и как диагностического средства. Цель работы состояла в оценке вклада липополисахаридов (ЛПС) энтеробактерий и рН6 антигена путем инактивации бактериофага Л-413С антигенами в растворе. Известно, что рецептором Л-413С является N-ацетилглюкозамин наружной области кора ЛПС *Yersinia pestis*, что согласуется с полученными нами данными в модельной системе. Остальные же использованные в работе ЛПС близкородственных бактерий *Escherichia coli* и *Yersinia pseudotuberculosis* оказались не способны связывать фаговые частицы. Установлено также, что рН6 антиген иерсиний оказался способен адсорбировать бактериофаг Л-413С.

Ключевые слова: бактериофаг, липополисахарид, рН6 антиген, *Yersinia*.

Введение. Фаговая терапия инфекционных заболеваний известна уже столетие, но последнее время она получила большее признание в связи с множественными случаями выявления антибиотикоустойчивых бактериальных патогенов [1]. Среди представителей патогенных иерсиний также обнаруживаются устойчивые штаммы, появление которых представляет собой проблему мирового здравоохранения [2]. Несомненно, использование фагов является привлекательным подходом для борьбы с бактериями-мишенями, благодаря специфичности действия, но вопросы эффективности и безопасности их использования требуют дальнейших исследований [1, 3]. На современном этапе идет разработка нескольких направлений терапии с использованием бактериофагов, к примеру «фаговых коктейлей», фаговых ферментов, совместное использование бактериофагов и антибиотиков и другие [3]. Известно, что первой стадией взаимодействия бактериофага с восприимчивым микробом является его прикрепление к рецептору на поверхности бактериальной клетки, что определяет возможность реализации последующих стадий его жизненного цикла. Таким образом, изучение качественного и количественного вклада различных поверхностных структур бактерий на стадии адсорбции является необходимым этапом для использования бактериофагов в любом из названных направлений фаготерапии.

Распознаваемые бактериофагами рецепторы представляют собой разнообразные молекулы, формирующие клеточную стенку бактерий [4]. Для бактериофагов, инфицирующих грамотрицательные бактерии, рецепторы располагаются главным образом на ЛПС и белках наружной мембраны [4]. Причем, ряд фагов могут использовать в качестве первичных и вторичных рецепторов сразу несколько поверхностных антигенов, имеющих различную химическую природу [4].

Целью данной работы является оценка вклада поверхностных антигенов энтеробактерий во взаимодействие со специфическим бактериофагом Л-413С. Задачей исследования является установление факта участия ЛПС энтеробактерий и рН6 антигена *Y. pestis* в адгезии бактериофага Л-413С путем инактивации фага антигенами в растворе.

Методы исследования. Бактериофаг. В настоящей работе использовали диагностический бактериофаг Л-413С, выпускаемый РосНИПЧИ «Микроб», Россия. Бактериофаг относится к семейству *Myoviridae* и проявляет высокую специфичность в отношении *Y. pestis*.

Препараты антигенов. Иерсиниозные ЛПС были получены из бактериальных культур *Y. pseudotuberculosis* 1b, выращенных при 10 и 37 °С, и *Y. pestis* EV, выращенной при 27 °С, методом водно-фенольной экстракции по Вестфалу. Далее по тексту они обозначены как ЛПС 10, ЛПС 37, ЛПС EV соответственно.

Коммерческий лиофильно высушенный препарат ЛПС *E. coli* 055:B5 «Difco», США. Далее по тексту обозначен как ЛПС *E. coli*.

рН6 антиген получен специалистами ГНЦ ПМ иБТ, г. Оболенск из клеток рекомбинантного штамма *E. coli* DH5α/pIG824.

Инактивация бактериофага антигенами в растворе. Иерсиниозные ЛПС разводили в забуференном физиологическом растворе с 0,01 % ДДС-Na (ЗФР + 0,01% ДДС-Na) до конечной концентрации 0,5 мг/мл. ЛПС *E. coli* и контрольный препарат сравнения – бычий сывороточный альбумин (БСА) («Sigma Aldrich» США) растворяли в ЗФР + 0,01% ДДС-Na до той же конечной концентрации. Далее выдерживали препараты ЛПС в термошейкере при 37 °С в течение

ние 2 ч при 500 об./мин для повышения растворимости, после чего центрифугировали при 13000 об./мин в течение 15 мин. Рекомбинантный рН6 антиген разводили в ЗФР + 0,01% ДДС-Na до конечной концентрации 0,2 мг/мл.

Смешивали 100 мкл растворов исследуемых антигенов либо БСА с 20 мкл препарата бактериофага Л-413С, содержащего 8×10^5 БОЕ/мл и инкубировали в термошейкере при 27 °С в течение 3 ч при 500 об./мин. Затем препараты разводили в 100 раз в буфере SM и далее определяли концентрацию бактериофага методом двухслойных агаровых слоев по Грациа. Содержание оставшихся не связавшимися фаговых частиц выражено в процентах по отношению к контрольному препарату БСА (принято за 100 %) (рисунок 1).

Результаты исследований, их обсуждение. Используемый метод оценки вклада антигенов, находящихся в водорастворимой форме, во взаимодействие с бактериофагом был уже неоднократно применен для характеристики других энтеробактериальных фагов, в том числе и иерсиниозных [6, 7].

Результаты, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что ЛПС, полученный из *Y. pestis* штамма EV, сорбирует около 94 % присутствовавшего исходно в препарате бактериофага Л-413С ($p < 0.01$). Эти результаты согласуются с имеющимися в литературе данными, согласно которым ключевую роль для необратимого связывания данного бактериофага играет N-ацетилглюкозамин наружной области коровой части ЛПС [5].

ЛПС, выделенные из культур *Y. pseudotuberculosis* 1b и *E. coli*, не показали способности адгезировать бактериофаг Л-413С. В строении коровой части ЛПС выделяют высоко консервативную внутреннюю область кора и переменную внешнюю область. Так как рецептор фага Л-413С располагается в переменной области кора ЛПС, то это указывает на его высокую видоспецифичность в отношении *Y. pestis* и объясняет отсутствие у него способности связываться даже с ЛПС, выделенным из *Y. pseudotuberculosis* 1b, являющегося «предком» *Y. pestis*.

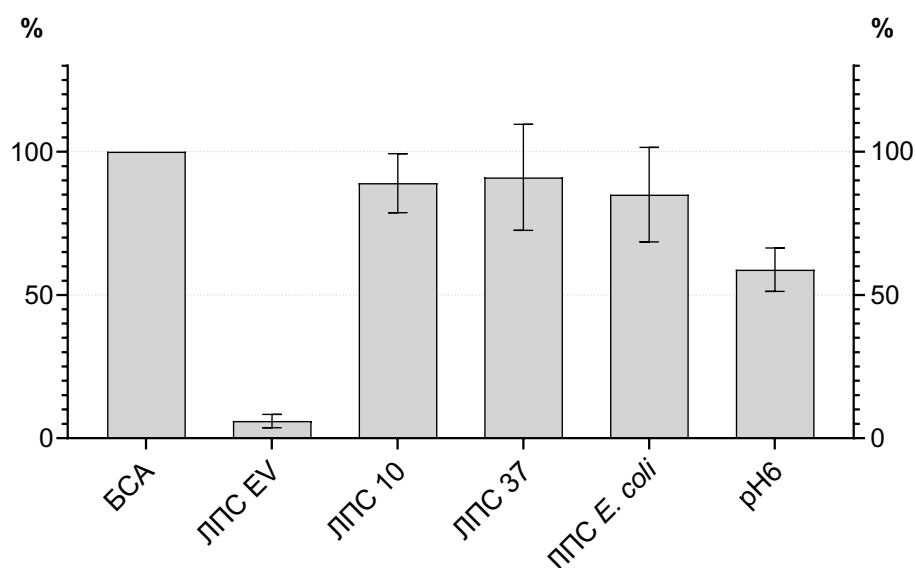


Рисунок 1. Количество оставшихся не связавшимися частиц бактериофага Л-413С после совместного инкубирования с антигенами в растворе (%)

Поверхностный рН6 антиген иерсиний является доказанным адгезином к клеткам млекопитающих и способен также связываться с Fc-частью молекул иммуноглобулинов, что может свидетельствовать о его потенциальной возможности взаимодействовать и с бактериофагами. Ранее было показано отсутствие в структуре данного антигена рецепторов, распознаваемых бактериофагами псевдотуберкулезным диагностическим и Покровской [8]. Из данных, представленных на рисунке 1, следует, что около 40 % частиц фага Л-413С оказались связанными с рН6 антигеном, что указывает на его возможную роль в качестве первичного рецептора данного бактериофага.

Выводы. Таким образом, в ходе проведенной работы была подтверждена локализация рецептора фага Л-413С на молекуле ЛПС *Y. pestis* и показана способность рекомбинантного рН6 антигена в растворе связывать частицы исследуемого бактериофага. Однако роль рН6 антигена в процессе адсорбции бактериофага Л-413С *in vivo* требует дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Bacteriophage Therapy: Effective Antibiotic Replacer Against Emerging Ghost of Antimicrobial Resistant Bacteria / T. Jamil, A. Mehmood, M. H. R. Farhan, F. Kalim // Unique Scientific Publishers. 2023. Vol. 1. № 24. P. 158–167.
2. Plasmid-mediated doxycycline resistance in a *Yersinia pestis* strain isolated from a rat / N. Cabanel, C. Bouchier, M. Rajerison, E. Carniel // Int J Antimicrob Agents. 2018. Vol. 51. № 2. P. 249–254.

3. Phage Therapy: Consider the Past, Embrace the Future / J. Wei, N. Peng, Y. Liang, K. Li. // *Applied Biosciences and Bioengineering*. 2020. Vol. 10. № 21. 7654.
4. Adsorption of Bacteriophages on Bacterial Cells / A. V. Letarov, E. E. Kulikov // *Biochemistry (Mosc)*. 2017. Vol. 82. № 13. P. 1632–1658.
5. Bacteriophage-resistant mutants in *Yersinia pestis*: identification of phage receptors and attenuation for mice / A. A. Filippov, K. V. Sergueev, Y. He, X-Z. Huang // *PLoS One*. 2011. Vol. 6. № 9. e25486.
6. Участие липополисахарида и неспецифических поринов *Yersinia pseudotuberculosis* в рецепции псевдотуберкулезного диагностического бактериофага / Л. Г. Дудина, О. Д. Новикова, О. Ю. Портнягина, В. А. Хоменко // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2021. Т. 57. № 4. С. 332–241.
7. *Yersinia pestis* Surface Antigens in Reception of Specific Bacteriophages / A. A. Byvalov, L. G. Dudina, S. A. Ivanov, P. Kh. Kopylov // *Bull Exp Biol Med*. 2022. Vol. 174. № 2. P. 241–245.

Эколого-токсикологические и микробиологические показатели почвы в зависимости от внешних условий

Олькова Анна Сергеевна^a, доктор биологических наук, доцент
Товстик Евгения Владимировна^b, кандидат биологических наук,

доцент, научный сотрудник

Шуплецова Ольга Наумовна^c, доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник

Вятский государственный университет^a, Киров
ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого^{b,c}, Киров

Аннотация: исследовали почву, подверженную загрязнению кадмием (Cd, подвижная форма, $6,4 \pm 0,5$ мг/кг), засухе (25 суток), кислотности ($\text{pH}_{\text{KCl}}=4,8$). Показано, что эколого-токсикологические и микробиологические характеристики почв, больше всего зависят от оптимального уровня pH почвенной среды и в меньшей степени от загрязнения и засухи. Этот вывод применим к низкой степени испытанных нагрузок.

Ключевые слова: неблагоприятные факторы, почва, токсичность, ферменты, микроорганизмы.

Введение. В современных условиях изменяющегося климата почвенные экосистемы всё чаще испытывают усиление биотических стрессов, включающих изменения в сообществах педобионтов, инфекционные болезни растений, сокращение численности полезных для почвы микроорганизмов и другое. Сопутствующий абиотический стресс включает засуху или, напротив, заболачивание, экстремальные температуры, солёность или щёлочность почвенной среды, нетипично обильные осадки [1].

Для принятия решения о возможности сельскохозяйственного использования земель, прежде всего изучаются различные характеристики почвы. Условно их можно разделить на показатели плодородия и характеристики экологического статуса почвы. В последний набор параметров входят природные и антропогенные факторы почвообразования, взаимосвязь которых активно изучается во всем мире [2, 3]. Если почва испытывает действие стресс-факторов, то одними из наиболее информативных характеристик могут быть токсикологические и микробиологические показатели её состояния.

Целью работы – сравнительная оценка действия загрязнения почвы ионами тяжелых металлов (на примере кадмия), кратковременной засухи и снижения уровня pH почвы на токсикологические и микробиологические показатели почвы.

Методы исследования. В условиях микрополевого опыта моделировалось загрязнение дерново-подзолистой почвы кадмием (Cd, подвижная форма, $6,4 \pm 0,5$ мг/кг) и кратковременной засухи (отсутствие атмосферных осадков в течение 25 суток). В этих же условиях культивировалась почва, близкая по физик-химическим характеристикам, но отличающаяся повышенной кислотностью (4,8 ед. pH_{KCl} относительно 6,6 ед. pH_{KCl} в контроле). Посевы ячменя имитировали растительный покров. Продолжительность опыта с мая по август 2021 года.

Биотестирование почвы осуществляли элюатным методом. Для этого готовили водные почвенные вытяжки (1:4) и оценивали их по хемотаксической реакции *Paramecium caudatum* [4] и биолюминесценции *Escherichia coli* [5]. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в почве определялась стандартными методами путём посева соответствующих разбавлений почвенной суспензии на селективные питательные среды. Определение активности каталазы проводили газометрическим, уреазы – спектрофотометрическим методом [6].

Результаты исследований, их обсуждение.

Реакции бактерий и инфузорий на водные вытяжки из исследуемых проб почвы были противоположными: хемотаксис *P. caudatum* угнетался, тогда как биолюминесценция *E. coli* увеличивалась в пробах по сравнению с методическим контролем. Вероятно, это связано с тем, что почвенная среда обитания более свойственна бактериям, чем простейшим (табл.).

Таблица

Влияние внешних факторов на токсичность почвы, % относительно контроля

Интегральный экологический показатель		Условия		
		Кадмий	Засуха	Кислотность
Ответные реакции лабораторных организмов	<i>P. caudatum</i>	-117	-102	-57
	<i>E. coli</i>	113	113	136
Активность почвенных ферментов	Каталаза	88	87	75
	Уреаза	115	115	61

Пробы почвы, отличающейся от наиболее благоприятного контрольного варианта, пониженным уровнем pH, для инфузорий были наиболее токсичными среди трёх опытных вариантов. Увеличение значения индекса токсичности достигло 36,4% к контролю ($p < 0,05$). В биотесте с тест-системой «Эколюм» (бак-

терии) стимуляция была наименьшей также в вытяжках из кислой почвы. Оказалось, что ответные реакции *P. caudatum* и *E. coli* коррелируют между собой с высоким уровнем связи ($r=0,97$). Следовательно, с помощью двух лабораторных экспресс-биотестов показано, что кислотность почвы оказывает наибольшее токсическое действие, по сравнению с кадмием и кратковременной засухой.

Активность каталазы, по сравнению с активностью уреазы, была более стабильна под действием неблагоприятных факторов. Угнетение активности каталазы наблюдалось во всех вариантах, тогда как активность уреазы возрастала в ответ на обе функциональные нагрузки, а в одном опытном варианте (кислотность) была ниже контрольных значений (табл.).

Таким образом, в почве с повышенной кислотностью реакция ферментов оказалась максимальной и находилась в зоне угнетения для обоих ферментов. При этом снижение уреазной активности достигло 39,09%, снижение активности каталазы составило 25,23% ($p<0,05$ для двух ферментов, при сравнении с контролем).

Реакции аборигенной микрофлоры на стресс-факторы были асинхронны (Рисунок).

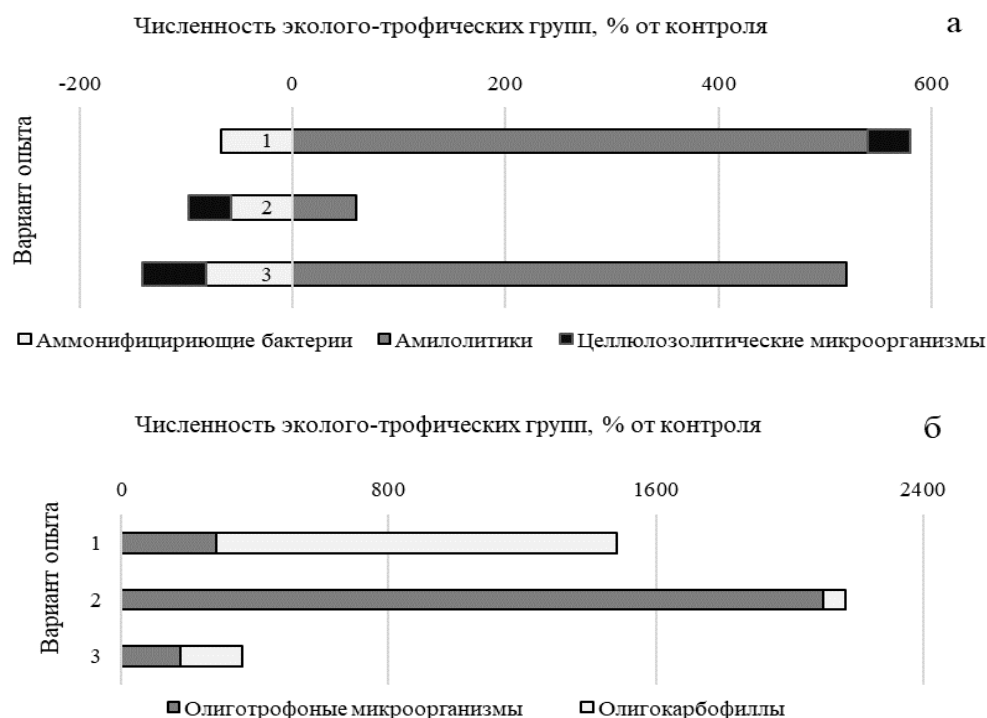


Рисунок Влияние загрязнения почвы кадмием (1), засухи (2) и кислой реакции почвенной среды (3) на численность микроорганизмов зимогенной (а) и олиготрофной экологической ниши (б)

В почвенном микробоценозе в ответ на функциональную нагрузку происходило не абсолютное угнетение микрофлоры, а инициировалась перестройка структуры микробного комплекса почвы. Так, бактерии, минерализующие минеральные формы азота, оказались наиболее чувствительными ко всем видам нагрузки и угнетались, а другие группы микроорганизмов в это время мобилизовались и стали доминировать, чего не наблюдалось в почве, не испытывавшей нагрузку.

Выводы. Токсичность почвы для лабораторных тест-организмов *P. caudatum* и *E. coli* возрастает в ряду примененных функциональных нагрузок: загрязнение кадмием ($6,4 \pm 0,5$ мк/кг подвижная форма) = засуха (25 суток) < кислая реакция солевой вытяжки из почвы (4,8 ед. pH). Похожие результаты были получены при исследовании активности почвенных ферментов. Каталаза и уреазы имели минимальную активность в кислой почве, а эффекты кадмия и засухи были близкими. Отчасти полученные результаты были подтверждены и при изучении численности отдельных представителей эколого-трофических групп почвенной микрофлоры. Аммонификаторы и целлюлозолитики максимально снижали численность в почве в результате действия засухи и повышенной кислотности почвы. Другие микроорганизмы, которых можно отнести к мезотрофам и олиготрофам, напротив, получили численное преимущество в микробном сообществе.

Библиографический список

1. Nexus on climate change: Agriculture and possible solution to cope future climate change stresses / A. Shahzad, S. Ullah, A. A. Dar, M. F. Sardar, T. Mehmood, M. A. Tufail, A. Shakoor, M. Haris // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28(12). P. 14211–14232.
2. Soil properties and distribution in the riparian zone: the effects of fluctuations in water and anthropogenic disturbances / F. Ye, M. H. Ma, S. J. Wu, Y. Jiang, G. B. Zhu, H. Zhang, Y. Wan // European Journal of Soil Science. 2019. Vol. 70(3). P. 664–673.
3. Soil organic carbon stability under natural and anthropogenic-induced perturbations / J. Yang, A. Li, Y. Yang, G. Li, F. Zhang // Earth-science reviews. 2020. Vol. 205: 103199.
4. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: Министерство природных ресурсов РФ. М., 2004 (издание 2010 г.). URL: <https://texpert.vyatsu.ru/>
5. ФР 1.39.2015.19241. Методика определения токсичности проб почв и донных отложений экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер», 2015.
6. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.

Оценка адгезионных свойств битума, модифицированного добавкой «Honeywell Titan 7686»

Опарина Дарья Васильевна^a, студент
Широкова Евгения Сергеевна^b, кандидат химических наук, доцент
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: битум широко применяется в дорожном строительстве. Само дорожное полотно состоит из двух основных компонентов: битума и минеральных наполнителей. Важно, чтобы битум имел хорошее сродство и обеспечивал высокую адгезию к минеральным наполнителям. В данной работе битум был модифицирован добавкой марки «Honeywell Titan 7686» в различных дозировках. Для оценки влияния добавки на свойства битума измеряли адгезию к минеральному наполнителю в баллах, температуру размягчения по кольцу и шару и стойкость к старению. Результаты показывают, что введение добавки увеличивает адгезию и температуру размягчения в сравнении с немодифицированным битумом.

Ключевые слова: адгезия, битум, модификация, температура размягчения.

Введение. Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и металлы (ванадий, железо, никель, натрий и др.) [1]. В зависимости от их области применения: строительство, кровля, гидроизоляция, специальное назначение или дорожные работы к битуму предъявляется ряд требований. Битум, используемый в асфальто-бетонных покрытиях, кроме прочих требований, должен характеризоваться высокой адгезией к минеральным наполнителям, т. е. обеспечивать образование монолитного композиционного дорожно-строительного материала [2]. Для регулирования прочности связи битума с минеральными наполнителями используют специальные адгезионные добавки.

Целью данной работы является оценка эффективности использования добавки «Honeywell Titan 7686» для модификации свойств битума БНД 60/90.

Методы исследования. В данной работе использовались битум марки БНД 60/90, зёрна мрамора фракцией 10–20 мм. и добавка «Honeywell Titan 7686». Добавка вводилась в количестве 1 и 3 мас. % от массы используемого битума. Для этого битум разогревали до жидкого состояния при температуре не выше 150°C. Затем добавку вводили в расплавленный битум, при постоянном перемешивании. Однородность смеси оценивалась нанесением жидкого битума на стекло.

Для исходного и модифицированного битумов оценивали адгезию к мраморным зёрнам по ГОСТ 12801-98 и температуру размягчения по кольцу и ша-

ру по ГОСТ 11506-73 [3]. Температура размягчения показывает, при какой температуре битум из твёрдого состояния переходит в вязко-текучее и определяет, в каких температурных зонах битум может эксплуатироваться. Так же измерялась масса до и после старения по ГОСТ 18180-72 (5 часов при температуре 160°C).

Для определения адгезионных свойств отобранные зёрна промывались в воде и выдерживались в сушильном шкафу в течение 1 часа при температуре близкой к температуре смешения щебня и битума. Битум также заранее разогревался и перед испытанием перемешивался. Подготовленные зёрна окунались в жидкий битум, до полного обволакивания, и сушились. После сушки зерно щебня опускалось в кипящую воду равноудалённо от стенок стакана по центру на 30 минут. По истечению 30 минут зерно охлаждалось в холодной дистиллированной воде. Оценка качества адгезии проводилась визуально в баллах, не менее чем на 3 зёрнах для немодифицированного и 6 зёрнах модифицированного битума [4].

Результаты исследований, их обсуждение. Было установлено, что при введении добавки «Honeywell Titan 7686» в количестве 1 и 3 мас. % сродство битума к минеральному наполнителю увеличивается. Как видно из таблицы 1, площадь покрытия мраморных зерен модифицированным битумом возрастает с увеличением концентрации добавки. В зависимости от площади контакта были проставлены баллы адгезии, так для битума, содержащего 0 мас. % – 0 баллов, 1 мас. % – 2 балла, 3 мас. % – 5 баллов.

Таблица 1

**Результаты оценки адгезии битума марки БНД 60/90 ,
содержащего добавку «Honeywell Titan 7686» в различных количествах**

Содержание добавки «Honeywell Titan 7686», мас. %	Фото зерен после испытания		
0			
1			

Содержание добавки «Honeywell Titan 7686», мас. %	Фото зерен после испытания		
3			

Результаты оценки температуры размягчения по КиШ и изменения массы битума БНД 60/90 и образцов битума, модифицированных добавкой «Honeywell Titan 7686» в количестве 1 и 3 мас. % до и после старения (5 часов при температуре 160°C) представлены в таблице 2.

Температура размягчения по КиШ увеличивается при введении добавки «Honeywell Titan 7686» (таблица 2), что указывает на возможность эксплуатации модифицированного битума при более высоких температурах.

Согласно ГОСТ 18180-72 изменение массы после старения не должно превышать $\pm 1\%$. Как видно из таблицы 2, данное условие соблюдается для всех исследуемых образцов битума; с увеличением содержания адгезионной добавки «Honeywell Titan 7686» отмечается повышение стойкости к старению.

Таблица 2

**Эксплуатационные характеристики битума марки БНД 60/90,
содержащего добавку «Honeywell Titan 7686» в различных количествах**

Содержание добавки «Honeywell Titan 7686», мас. %	Температуры размяг- чения по КиШ до ста- рения, °С	Температуры размягчения по КиШ после старения, °С	Изменение массы после старения, %
0	42,3	43,8	0,21
1	57	57,8	0,19
3	68	66,2	0,17

Выводы. Исследовано влияния добавки «Honeywell Titan 7686» на физические и адгезионные свойства битума марки БНД 60/90. По результатам испытаний установлено, что с ростом количества вводимой добавки улучшаются однородность покрытия и прочность связи битума и минерального наполнителя, уменьшаться водопроницаемость зоны контакта битумной пленки с поверхно-

стью минерального наполнителя. Кроме того, для битумов, содержащих добавку «Honeywell Titan 7686», отмечается возрастание температуры размягчения по КиШ и стойкости к старению, что позволяет расширить температурный интервал их эксплуатации.

Библиографический список

1. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. М. : Химия, 1973. 432 с.
2. Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон : учеб.-метод. пособие. М. : ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. 117 с.
3. ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару : принят 30.06.1974; действ. с 01.07.1974. М., 2009. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/8324/> (дата обращения 18.02.2022).
4. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродинамического строительства. Методы испытаний: принят 12.11.1998; действ. с 01.01.1999. М., 2009. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/43662/> (дата обращения 14.10.2022).

Влияние криогенной обработки на количество остаточного аустенита в инструментальных сталях

Плюснин Евгений Сергеевич^a, старший преподаватель
Пащенко Марина Алексеевна^b, магистрант
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: проведена комплексная оценка изменения твердости при уменьшении количества остаточного аустенита после криогенной обработки углеродистых и легированных инструментальных сталей марок; для стали ХВГ исследован химический и микроструктурный анализ, а также изменение твердости в зависимости от режимов термической обработки; сформулированы выводы по влиянию режимов термической обработки на эксплуатационные характеристики инструментальной стали.

Ключевые слова: остаточный аустенит, инструментальная сталь, твердость, микроструктура.

Введение. Известно, что остаточный аустенит сохраняется в структуре закаленных сталей, имеющих более 0,4–0,5% С вследствие того, что мартенситное превращение не заканчивается при охлаждении до +20°C. Количество аустенита зависит от его состава, получаемого при нагреве, условий охлаждения и в меньшей степени от величины зерна [1].

На рисунке 1 показаны температуры начала и конца мартенситного превращения M_n и M_k для углеродистых сталей в зависимости от содержания углерода. Закалка стали производится чаще всего в воде при комнатной температуре. Эта температура отмечена горизонтальной линией $T_{комн.}$ Эта линия позволяет оценить при каком содержании углерода возможна полная закалка при комнатной температуре или сколько остаточного аустенита будет в стали после закалки. Согласно рисунку 1 закалка при комнатной температуре уже при содержании углерода 0,3–0,4 % становится неполной, так как при таком содержании углерода температура M_k опускается ниже комнатной температуры [2].

Аустенит снижает сопротивление пластической деформации, прочность, стабильность размеров, шлифуемость материала, теплопроводность. Однако, аустенит в структуре стали улучшает ее вязкость и снижает закалочные напряжения. Уменьшаются объемные изменения, а, следовательно, и деформации инструментов при закалке [1]. Отпуск закаленной стали с целью ликвидации или уменьшения количества остаточного аустенита в большинстве случаев неэффективен.

Криогенной обработкой обеспечиваются улучшение эксплуатационных характеристик инструментов, изготовленных из высокоуглеродистых и легированных конструкционных сталей [3].

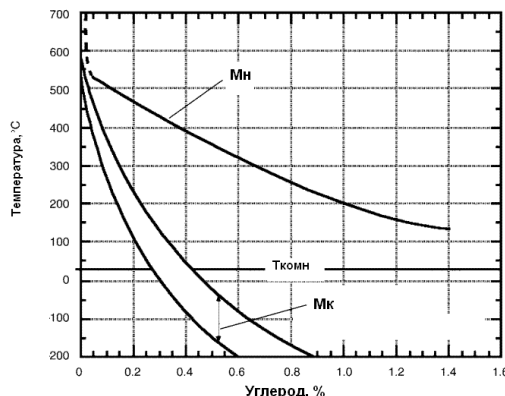


Рисунок 1. Зависимость температур начала M_n и конца M_k мартенситного превращения от содержания углерода в аустените

При оценке целесообразности назначения криогенной обработки стали необходимо учитывать следующие факторы: повторное охлаждение закаленной стали не улучшает ее свойств, если не достигаются температуры более низкие, чем при закалке; продолжительность выдержки при отрицательной температуре не оказывает влияния на результаты обработки; наибольшие структурные изменения под влиянием криогенных температур происходят в сталях с повышенным содержанием остаточного аустенита (высокоуглеродистых и легированных); охлаждение ниже нуля непосредственно после закалки увеличивает напряжения и опасность образования трещин; криогенная обработка приводит к росту объема структурных составляющих при распаде остаточного аустенита.

Исходя, из таблицы 1 [3, 4] выявили, что сталь марки ХВГ представляет наибольший интерес для исследования, так как в ней наблюдается наибольший прирост твердости после обработки.

Таблица 1

Влияние криогенной обработки на свойства стали

Сталь	Мартенситные точки, °С		Количество аустенита, %		Прирост твердости (HRC) после обработки
	M _H	M _K	До обработки	После обработки	
У7	300–250	-50	3–5	1,0	0,5
У8	250–225	-55	4–8	1–6	1,0
У9	225–210	-55	5–12	3–10	1–1,5
У10	210–175	-60	6–18	4–12	1,5–3
У12	175–160	-70	10–20	5–14	3–4
9ХС	210–185	-60	6–17	4–17	1,5–2,5
Х	180–145	-90	9–28	4–17	3–6
ХВГ	155–120	-110	13–45	2–17	5–10

Методы исследования. Для исследования применяли стальной сортмент марки ХВГ квадратного сечения 10х10 мм длиной 70 мм.

Определение химического состава сплава производили рентгеновским флуоресцентным энерго дисперсионным спектрометром EDX-900HS (таблица 2)

Таблица 2

Химический состав исследуемой стали

Si, %	Mn, %	Cr, %	W, %	C, %
0,2	0,96	1,08	1,32	0,92

Для металлографического анализа применялись микроскопы МИМ7, **NEORHOT-21**.

Металлографические шлифы образцов изготавливались в соответствии со стандартной методикой. Все образцы подвергались отжигу в вакуумной печи при температуре порядка 880°С и общей длительностью 12 ч. Далее проводилась закалка в различных средах.

Результаты исследований, их обсуждения. Из анализа микроструктуры стали без термообработки следует, что при содержании 0,92% углерода и около одного процента вольфрама и хрома, сталь имеет перлитно-карбидную структуру.

В таблице 3 указаны твердости образцов после закалки в различные среды с указанием сред, температурных режимов и времени выдержки.

Твердость образцов после закалки в различных средах

	Среда охлаждения	Время выдержки при закалке от 840°С.	Твердость, HRC
1	Азот	1ч	17
2	Азот	1ч	45
3	Селитра	1ч	62
4	Масло	1ч	64
5	Вода	25 мин.	63
6	Вода	20 мин.	63

Микроструктура образцов после закалки в жидкий азот и низкого отпуска приведена на рисунке 2. Микроструктура представляет собой отпущенный мартенсит и мелкодисперсные карбиды.

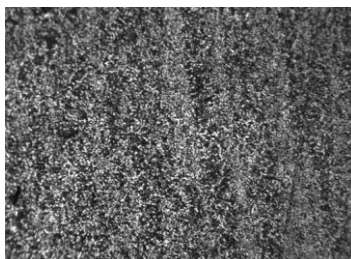


Рисунок 2. Микроструктура образцов после охлаждения в жидкий азот и низкого отпуска.

Рентгеноструктурный анализ показал наличие в образцах мартенсита и карбидов, остаточный аустенит не выявлен.

Выводы. Остаточный аустенит обладает рядом нежелательных свойств для точных инструментов, из-за этого его необходимо устранять из структуры стали.

Для устранения аустенита целесообразно применять на предприятиях наиболее простой и дешевый метод – обработка холодом, так как низкий длительный отпуск не дает ощутимых результатов.

Классическая система термической обработки – закалка + низкий отпуск, понижает твердость, а, следовательно, и износостойкость инструмента, а износостойкость – это наиважнейшее свойство измерительного инструмента, следовательно, необходимо изменение режимов.

В целях устранения остаточного аустенита считаем целесообразным вводить на предприятия в технологические процессы изготовления калибров – обработку холодом для повышения износостойкости инструментов.

Библиографический список

1. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. 4-е изд. М. : Металлургия, 1975.
2. Verhoeven J. D. Steel Metallurgy for Non-Metallurgists. URL: https://www.researchgate.net/publication/268324669_Steel_Metallurgy_for_the_Non-Metallurgist.
3. Упрочнение металлов : справочник / С. Н. Полевой, В. Д. Евдокимов. М. : Машиностроение, 1986. 320 с.
4. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.

Скрининг лактобактерий, продуцирующих поверхностные биосурфактанты

Позолотина Надежда Владимировна^a, кандидат биологических наук, доцент

Базарбаева Виктория^b, магистрант

Кошкина Марина Олеговна^c, магистрант

Дормидонтова Софья Михайловна^d, студент

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

Аннотация: выделены 23 изолята лактобактерий, изучена их способность к продукции ПАВ. Экспресс оценка биосурфактантной активности проводилась методом посева на кровяной MRS-агар, MRS-агар с добавлением СТАБ и метиленового синего. Продукция поверхностных сурфактантов оценивалась методом смачивания гидрофобной поверхности. Наибольшая продукция биосурфактантов была отмечена у изолятов 20 и 40.

Ключевые слова: биосурфактанты, лактобактерии, рамнолипиды.

Введение. В наши дни поверхностно-активные вещества (ПАВ) широко используются в повседневной жизни людей, являясь важным компонентом легкодоступных продуктов, таких как косметические препараты, пищевые добавки, моющие средства и пр. Биосурфактанты лактобактерий по сравнению с химическими ПАВ имеют целый ряд преимуществ. Во-первых, это безопасность, что расширяет возможности их применения в медицинской, косметической и пищевой отраслях. Во-вторых, биосурфактанты экологичны, так как характеризуются более высокой биоразлагаемостью по сравнению с химическими аналогами. В ряде работ также отмечается, что ПАВ лактобацилл не теряют своих свойств при экстремальных значениях температур и pH [1, 2]. Все это делает их привлекательной группой поверхностно-активных соединений для использования в широком спектре промышленных и биотехнологических процессов [1–3]. В нашей стране в настоящее время практически отсутствуют технологии производства микробных ПАВ, поэтому вопрос скрининга штаммов лактобацилл – активных продуцентов биосурфактантов является весьма актуальным.

Объектом исследования являются лактобактерии, выделенные из различных источников. Предмет исследования – биосурфактантная активность штаммов лактобактерий. Цель исследования: скрининг штаммов лактобактерий, способных продуцировать поверхностные биосурфактанты. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. Выделить штаммы лактобактерий из различных источников. 2. Оценить уровень биосурфактант-

ной активности исследуемых штаммов лактобактерий. 3. На основании результатов исследования предложить наиболее перспективные штаммы-продуценты поверхностных биосурфактантов.

Методы исследования. На первом этапе исследования проводили выделение чистых культур лактобактерий из различных образцов: кисломолочных продуктов, квашеных овощей и пр. Для получения накопительной культуры посев образца производили на элективную питательную среду MRS (пептон 10,0 г/л; дрожжевой экстракт 10,0 г/л; мясной экстракт 10 г/л; гидролизат казеина 5,0 г/л; глюкоза 20,0 г/л; натрий уксуснокислый 1,5 г/л; аммоний лимоннокислый 2,0 г/л; натрий лимоннокислый 2,8 г/л; KH_2PO_4 6,0 г/л; MgSO_4 0,575 г/л; MnSO_4 0,12 г/л; FeSO_4 0,034 г/л; твин 80 1,0 г/л), инкубировали в течение суток при $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$. Для получения чистой культуры накопительную культуру (4, 5 и 6 разведения) пересекали на плотную питательную среду с мелом (пептон 10,0 г/л; глюкоза 20,0 г/л; CaCO_3 30 г/л; капустный отвар 1 л), также инкубировали в течение суток при $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$. Для дальнейшей работы отбирали колонии, вокруг которых наблюдалась зона просветления. Это свидетельствует о растворении мела молочной кислотой, выделяемой лактобактериями. Колонии пересекали штрихом на среду MRS, затем производили окраску по Граму и определение каталазной активности. Для проведения дальнейших исследований отбирали каталаза-отрицательные грамположительные палочки [4].

Для экспресс оценки биосурфактантной активности лактобактерий использовалось несколько методов. Метод посева на кровяной MRS-агар (среда MRS с добавлением 5% эритроцитарной массы), позволяет производить отбор бактерий продуцентов экстрацеллюлярных биосурфактантов. У бактерий-продуцентов отмечается зона просветления вокруг колоний, свидетельствующая о гемолизе эритроцитов [5]. Для оценки продукции рамнолипидов, лактобациллы засевали на среду MRS с добавлением СТАВ (4 г/л) и метиленового синего 0,1 г/л. Штаммы лактобактерий, продуцирующие рамнолипиды имели голубую или синюю окраску колоний [6].

Выделение поверхностных биосурфактантов лактобактерий осуществляли в соответствии с методикой, описанной в работе [7]. Для экспресс-оценки

поверхностного натяжения использовали метод смачивания гидрофобной поверхности: оценивали относительный диаметр капель с помощью шкалы микроскопа БМС-1. Объем капли – 20 мкл.

Результаты исследований, их обсуждение. В рамках данного исследования из различных источников было выделено и изучено 23 изолята лактобактерий. В таблице 1 представлены результаты оценки биосурфактантной активности лактобактерий, выделенных из различных источников.

Таблица 1

Биосурфактантная активность лактобактерий

Номер изолята	Источник выделения	Зона гемолиза, мм	Продукция рамнолипидов	Диаметр капли
1	огуречный рассол	9	–	17,3
2	огуречный рассол	9	–	17,5
3	«Ацилакт»	7	+	18,0
4	«Имунеле»	4	+	17,8
5	«Имунеле»	8	+	17,0
6	ряженка	–	–	17,2
7	КТНМ № 42	8	–	17,2
8	«Лактобактерин»	9	+	17,0
9	сметана	9	±	18,0
10	«Аципол»	7	+	17,0
11	огуречный рассол	6	±	18,1
12	огуречный рассол	7	++	17,7
13	кишечное содержимое поросят	7	+	18,1
14	квашеная капуста	–	++	17,8
15	квашеная капуста	5	–	16,9
16	квашеная капуста	7	–	17,3
17	сыворотка	4	+	16,8
18	молоко	6	+	18,0
19	сливочное масло	4	–	18,1
20	капустный рассол	11	++	18,2
40	кишечное содержимое поросят	9	+++	18,5
41	кишечное содержимое поросят	5	++	17,1
44	кишечное содержимое поросят	6	+	18,1

Анализ данных таблицы показал, что лактобактерии являются перспективными источниками биосурфактантов. На основании наличия зон гемолиза можно сказать, что из рассмотренных 23-х изолятов 21 изолят является продуцентом биосурфактантов, из них наиболее активные продуценты – 1, 2, 8, 9, 20 и 40. Продуцентами рамнолипидов являются 16 изолятов, наиболее перспективные – 12, 14, 20, 40 и 41. Наибольшее снижение поверхностного натяжения

характерно для изолятов № 20 и 40, что коррелирует с предыдущими результатами экспресс оценки биосурфактантной активности.

Выводы. Хотя, лактобактерии по сравнению с отдельными представителями родов *Pseudomonas* и *Bacillus* производят значительно меньшее количество биосурфактантов и более требовательны к питательным средам, они относятся к группе GRAS (общепринято безопасно), что открывает широкие перспективы использования их биосурфактантов в пищевой и медицинской промышленности. Из различных источников было выделено 23 изолята лактобактерий. Экспресс оценка биосурфактантной активности показала, что большинство изолятов являются активными продуцентами ПАВ. Наиболее перспективными были выбраны два штамма: № 20, выделенный из квашенной капусты и № 40, выделенный из кишечного содержимого поросят. В дальнейшем целесообразно оптимизировать состав питательной среды с целью повышения продукции биосурфактантов и продолжить скрининг новых штаммов лактобактерий.

Библиографический список

1. Гаврилова Н. Н. и др. Антагонистическая активность сурфактантов различных видов молочнокислых и пропионовокислых бактерий // Биотехнология. Теория и практика. 2006. № 4. С. 57–65.
2. Sharma D., Saharan B. S., Kapil S. Biosurfactants of lactic acid bacteria. Cham : Springer, 2016.
3. Gudina E. Biosurfactant-producing Lactobacilli: screening, production profiles, and effect of medium composition // Applied and Environmental Soil Science. 2011. January.
4. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними : учеб.-метод. пособие / Д. Р. Яруллина, Р. Ф. Фахруллин. Казань : Казанский университет, 2014. 51 с.
5. Velraeds M. M., Van der Mei H. C., Reid G., Busscher H. J. Inhibition of initial adhesion of uropathogenic *Enterococcus faecalis* by biosurfactants from *Lactobacillus* isolates // Appl Environ Microbiol. 1996. 62(6). P. 1958–1963.
6. Tiso T. et al. Methods for recombinant rhamnolipid production // Hydrocarbon and lipid microbiology protocols: synthetic and systems biology-applications. 2016. P. 65–94.
7. Sharma D., Saharan B. Simultaneous Production of biosurfactants and bacteriocins by probiotic *Lactobacillus casei* MRTL3 // Int J Microbiol. 2014.

Технологии общественного питания и их использование для морепродуктов

Пушкарева Анастасия Валерьевна^a, кандидат технических наук, доцент
Гасанова Вероника Алексеевна^b, магистрант
Пензенский государственный технологический университет^{a,b}, Пенза

Аннотация: важными этапами в общественном питании являются обеспечение сырьем и предотвращение микробиологического загрязнения, физического и химического разложения при преобразовании сырья в продукты питания. Предпосылками этого являются личная гигиена и полное применение систем замораживания-охлаждения. Сырьем, наиболее легко адаптируемым к технологии общественного питания, являются морепродукты. Так как их очень легко приготовить путем потрошения и филетирования. В данном исследовании рассмотрены технологии общественного питания, место морепродуктов в технологии общественного питания готовых к употреблению товарных продуктов из морепродуктов.

Ключевые слова: морепродукты, общественное питание, технология производства.

Введение. Одним из наиболее важных вопросов в современном мире является обеспечение производства здоровых пищевых продуктов адекватным и квалифицированным способом. Наиболее важные факторы, влияющие на развитие пищевой промышленности, можно обобщить как технологические разработки, условия конкуренции и изменение потребительских тенденций [1].

Морепродукты заняли свое почетное место в развитии пищевых технологий.

Технология общественного питания включает в себя этапы длительного консервирования пищевых продуктов, предназначенных для приготовления и представления потребителю после предварительной обработки и процесса приготовления или после применения различных способов хранения и подогрева перед употреблением.

Продукты общественного питания, к которым применены удобные способы обработки и защиты, имеют определенный срок хранения, могут употребляться в пищу непосредственно или в подогретом виде до температуры употребления и считаются пищей сами по себе или в сочетании с определенными веществами [1].

Основной целью технологии производства продуктов питания является производство продуктов с высокими органолептическими и питательными свойствами. Микроорганизмы являются одним из важнейших факторов порчи пищевых продуктов.

Рыба не только перерабатывается с различными продуктами, но и сама по себе предлагается как продукт общественного питания. При представлении потребителю рыбы без какой-либо обработки ее готовят либо в вертикальной нарезке, либо в виде филе, либо с удалением головы, плавников, хвоста и внутренних органов. Способ приготовления рыбы существенно зависит от вида и в основном используются виды запекания, гриля, запекания в пакете, жарки на сковороде и во фритюре [2].

Помимо филе, пользу приносят и кусочки мяса рыбы. Мясо рыбы можно хранить в виде пасты для добавления в различные продукты. Фарш рыбный без кости и кожи может быть получен как из разделанного филе без кожи, так и из рыбы без костей, кожи и чешуи. Однако в этом случае фарш может содержать чешую, кожицу и кусочки костей. Также есть еще один вид фарша, получаемый из рыбного фарша после удаления ее внутренних органов, но опять же, в него входят кусочки чешуи, кожи и костей.

Вкус, консистенция и водосвязывающие свойства улучшаются за счет подмешивания к этому фаршу некоторых добавок.

Мясные белки и молоко, обычно используемые в качестве гидроколлоидов, поддерживают текстуру за счет образования геля и связывания воды. Таким образом вкус улучшается, но при чрезмерном употреблении возникает неприятная структура, как у пудинга. Предоставление отходов перерабатывающего завода для потребления путем повторного использования их в качестве пищи с другим вкусом может быть предпочтительным из-за его вклада в производителя и экономику.

Методы исследования. Ориентированное на прибыль или ориентированное на затраты производство продуктов питания для потребления человеком является кейтеринг. В то время как разнообразие методов общественного питания бесконечно, можно упомянуть некоторые важные системы, которые часто используются в обслуживании общественного питания. Классический и предпочтительный метод кейтеринга заключается в покупке, приготовлении и приготовлении непосредственно перед подачей на стол свежего сырья. Другими

словами, во время приготовления и подачи пищи не существует временной разницы между температурами. Хотя это предпочтительный метод, его невозможно применить к большинству операций общественного питания из-за необходимого места для хранения, подготовки и приготовления пищи, а также необходимого количества рабочей силы для обслуживания операции.

В последние века были разработаны альтернативные методы для решения этих проблем и необходимости получения прибыли коммерческими фирмами. В настоящее время широко используются предварительно приготовленные и замороженные или охлажденные продукты, которые описываются как продукты общественного питания, а также методы приготовления и разогрева. Первый основан на хранении недоготовленного блюда, которое можно быстро приготовить в тарелке. Второй включает в себя приготовление блюда и выдерживание его при высокой температуре до подачи на стол, чтобы предотвратить рост микроорганизмов.

Оба метода имеют недостатки. Продукты питания могут быть дорогими, а их приготовление и приготовление находятся вне контроля фирмы. Метод разогрева особенно чувствителен к контролю температуры и повторному разогреву неиспользованной пищи. Это применение приводит к низким микробиологическим и пищевым качествам продуктов с точки зрения вкуса, текстуры и внешнего вида. Наконец, неконтролируемо и рискованно позволять приготовленной еде остывать, пока она выставлена на витрине, и разогревать ее для подачи.

По этой причине многие кейтеринговые компании столкнулись с новыми методами улучшения структуры своей деятельности и оптимизации рабочей силы и используемого оборудования. Продукты питания типа быстрого питания были разработаны с появлением методов приготовления-заморозки и приготовления-охлаждения, которые могут выполнять крупномасштабные операции.

Результаты исследования, их обобщение. Чтобы производить успешную еду для общественного питания и предлагать ее на рынке, недостаточно производить ее только здоровым способом. Также очень важно, чтобы это был приемлемый продукт для компании и потребителя. При разработке нового про-

дукта общественного питания для вывода на рынок необходимо учитывать одиннадцать основных шагов.

1. Должны быть разработаны конкретные цели компании;
2. Для достижения целей компании необходимо определить стратегию и составить операционные планы;
3. Должны быть созданы новые концепции и продукты;
4. Новые концепции и продукты следует группировать, тестировать и сортировать в соответствии с приоритетами;
5. Новые концепции и продукты следует тестировать в качестве прототипов на пилотном заводе;
6. Прототипы должны быть протестированы с помощью сенсорных тестов с потребителями;
7. Производство опытной установки должно быть адаптировано к промышленной эксплуатации;
8. Потребление в домах должно быть протестировано;
9. Продукт должен быть протестирован путем предоставления покупателю дегустации на рынках;
10. Новая продуктовая линейка (от производства до потребителя) должна быть протестирована;
11. Продуктовую линейку необходимо внедрить в систему дистрибьюции в стране

Выводы. Услуги общественного питания предоставляются родственными пищевыми предприятиями (фирмами общественного питания) во многих местах, таких как государственные учреждения и организации, школы и рабочие места. Учитывая потребность в питательных и здоровых продуктах общественного питания, которые также служат для массового кормления с таким интенсивным потребительским потенциалом, рыбные продукты считаются важным сырьем, которое может служить сектору.

Библиографический список

1. Варлик С., Эركان Н., Озден О. и др. Технология общественного питания // Технология переработки рыбы / ред. С. Мол, К. Варлик ; публикации факультета рыбного хозяйства Стамбульского университета. Стамбул, 2011. С. 389–405.
2. Terrell M. E., Professional Cooking. ed. 2. N. Y. : John Wiley and Sons, Inc., 1971.
3. Light N., Walker A. Cook-chill Restaurant Catering: Technology and Management. Springer Science & Business Media, 1990.

Дизайн и сборка генов для получения рекомбинантной пептидной вакцины против коронавирусной инфекции COVID-19 на основе мутантной формы дифтерийного токсина CRM197

Рогожкин Сергей Олегович^a, аспирант
Герасимов Андрей Сергеевич^b, кандидат биологических наук, доцент
Сазанова Евгения Витальевна^c, магистр
Вятский государственный университет^{a,b,c}, Киров

Аннотация: разработка новых вакцинных препаратов, обладающих высокими профилями эффективности и безопасности, является одним из приоритетных трендов развития фармацевтической биотехнологии на сегодняшний день. Одним перспективных направлений в данной области является дизайн рекомбинантных пептидных вакцин. В данном исследовании мы предложили и сконструировали вариант гибридного антигена, содержащего RBD-домен вируса SARS-CoV-2, который слит с иммуногенным фрагментом мутантного дифтерийного токсина CRM197. Полученные результаты могут послужить серьезной основой для создания отечественных профилактических препаратов против COVID-19 полностью пептидной природы, а также развить отдельную технологическую платформу по разработке и производству рекомбинантных вакцин следующего поколения, включая онковакцины.

Ключевые слова: пептидные вакцины, CRM197, рекомбинантные белки, ПЦР, гибридная экспрессия.

Введение. Разработка вакцинных препаратов является одним из приоритетных трендов развития фармацевтической биотехнологии на сегодняшний день. Создание вакцин, обладающих более высокими профилями эффективности и безопасности, более длительными протективными свойствами, а также относительно простых и рентабельных в масштабах производства, является сложной и мультидисциплинарной задачей. Поэтому особенно важно акцентировать разработку технологических платформ, результатом которой является производство нескольких вакцин по однотипной технологии. Одним из таких ярких примеров является производство вакцин на основе CRM197.

CRM197 (**C**ross **R**eacting **M**aterial 197) – неактивная и нетоксичная форма дифтерийного токсина, находящая свое широкое применение как в фундаментальной науке, так и в медицине. Он нашёл своё применение в качестве одного из самых распространённых токсоедов в составе противодифтерийных вакцин нового поколения. Он также был признан идеальным носителем для конъюгированных вакцин, в которых ковалентно связан с капсульными полисахаридами бактерий. Новейшим направлением использования CRM197 является разработка рекомбинантных пептидных вакцин, в которых в качестве антигена высту-

пают антигенные фрагменты белковой природы. Известно о разработке конъюгированных пептидных вакцин против коронавируса [1], вируса гриппа и даже онкологических заболеваний.

В качестве объекта исследования который, по нашему мнению, вызывает наибольший научный и практический интерес, выбран антиген новой коронавирусной инфекции (COVID-19).

COVID-19 является одним из самых обсуждаемых вопросов в 2020–2022 годах, который поставил множество задач для научного сообщества, в том числе и создание высокоэффективной вакцины. Большинство разрабатываемых вакцин основаны на гликопротеине Spike (или нуклеотидной последовательности, кодирующей гликопротеин S), который играет основополагающую роль в связывании с ферментом ACE2. Однако, проблема также усложняется постоянными мутационными процессами вируса, которые, как правило, носят спонтанный и регулярный характер. Следовательно, данный факт ставит перед собой цель не только создания отдельного препарата, а также и технологической платформы, позволяющей в кратчайшие сроки запустить производство актуальной вакцины для текущей ситуации в будущем.

Решение данной задачи начинается с рационального конструирования прототипов вакцинных антигенов, с последующей сборкой гибридных генов и генетических конструкций. Известно, что дифтерийный токсин из двух субъединиц: А (21164 Да), и В (37194 Да). Последняя, в свою очередь, несёт рецептор-связывающий (R) и трансмембранный (Т) домены. Данная структурная особенность, а также современные методы генетической инженерии, позволяют заменить R-домен дифтерийного токсина на RBD-домен вируса SARS-CoV-2. Известно также несколько попыток отдельного биосинтеза RBD-домена, однако, выходы целевого продукта достаточно скромные и не превышают 10 мг с литра культуры. Поэтому, необходима инженерия молекулы с целью повышения ее стабильности. По данным литературы, мутации V320G и C538S позволяют достичь приемлемых характеристик, в контексте возможности производства. Таким образом, создание химерной белковой молекулы RBD^{320G,538S} является интересным решением для разработки новой вакцины.

Методы исследования

Работа с последовательностями нуклеиновых кислот проводилась при помощи программного обеспечения SnapGene Viewer и DNA builder. Оптимизация кодонного состава гена химерного антигена производилась при помощи сервиса GeneScript. Синтез олигонуклеотидов осуществлялся компанией ЗАО «Евроген» (Москва, Россия).

Сборка гена RBD^{320G,538S} проводилась при помощи метода crossPCR. В качестве матрицы использовали смесь олигонуклеотидов, взаимно перекрывающихся между собой на 15 оснований. В качестве фермента использовали высокоточную полимеразу Phusion (ThermoScientific, США), согласно протоколу изготовителя. Рабочие параметры реакции PCR: начальная денатурация – 98°C; 30 сек, денатурация – 98°C, 10 сек; отжиг – 45°C, 20 сек; амплификация – 72°C, 30 сек; финальная амплификация – 72°C, 5 минут; количество циклов – 30. Разделение PCR-продуктов проводили при помощи электрофореза в 2%-ном агарозном геле.

Оптимизацию реакции ПЦР проводили по следующим параметрам: концентрация матрицы (от 0.2 до 0.02 мкМ), температура отжига (от 38°C до 50°C), добавление энхансеров PCR – бетаина до 1 М, ДМСО до 1%, ПЭГ4000 до 5%.

Результаты исследований, их обсуждение. Для эффективной экспрессии целевого гена необходимо заранее учесть ряд факторов, критически влияющих на выходы целевого продукта. Так кодонный состав гена RBD^{320G,538S} был адаптирован под клетки *E. coli*, согласно частоте встречаемости. Процентное содержание GC-пар составило 51,3%. В таблице 1 приведен список олигонуклеотидов, на которые была разбита последовательность гена RBD^{320G,538S}.

Таблица 1

Олигонуклеотиды, сконструированные для сборки гена RBD^{320G,538S}

Название	Последовательность (5' – 3')
RBD1	GGTGGTGGCGGTTCTAACTTCCGTGG
RBD2	TTGGTGATGTTTCGGGAAACGAACGATAGATTCGGTCGGCTGACCACG
RBD3	TTCCCGAACATCACCAACCTGTGCCCGTTCGGTGAAGTTTTCAACGC
RBD4	ACGCAGTTAGAGATACGTTTACGGTTCACGCGTAAACAGACGCGAAA
RBD5	ACGTATCTCTAACTGCGTTGCGGACTACTCTGTTCTGTACAACTCTGCG
RBD6	AGGTCGTTTCAGTTTGGTCGGAGAAACACCGTAGCATTTGAAGGTAGAGA
RBD7	GACCAAACCTGAACGACCTGTGCTTCACCAACGTTTACGCGGACTCTTTTCG

Название	Последовательность (5' – 3')
RBD8	ATTTTACCGGTCTGACCCGGCGCGATCTGACGAACTTCGTCACCACGGAT
RBD9	GGGTCAGACCGGTAAAATCGCGGACTACAACCTACAACTGCCGGACGAC
RBD10	CCAACTTTAGAGTCCAGGTTGTTAGAGTTCCACGCGATAACGCAACCGGT
RBD11	CCTGGACTCTAAAGTTGGTGGTAACTACAACCTACCTGTACCGTCTGTTCC
RBD12	TGGTAGATTTTCGGTAGAGATGTCACGTTTCGAACGGTTTCAGGTTAGATTT
RBD13	CTCTACCGAAATCTACCAGGCGGGTTCTACCCCGTGCAACGGTGTTGAAG
RBD14	CCGTTGGTCGGCTGGAACCGTAAGACTGCAGCGGGAAGTAGCAGTTGAA
RBD15	TTTCCAGCCGACCAACGGTGTTGGTTACCAGCCGTACCGTGTTGTGGTTC
RBD16	GACTTTTTTCGGACCGCAAACGGTCGCCGCGCGTGCAGCAGTTCGAAAGA
RBD17	TTGCGGTCCGAAAAAGTCTACCAACCTGGTTAAAAACAAGTCTGTAACT
RBD18	CCGCTCGAGTTATTAGAAGTTAACAG

Наработка гена при помощи метода crossPCR оказалась малоэффективной, что потребовало проведение оптимизации методики. Например, добавление энхансеров PCR увеличило долю высокомолекулярных молекул ДНК (Рисунок 1, 2 – 4), а комбинация бетаина, ПЭГ4000 с повышением температуры отжига до 45°С позволило получить PCR-продукт требуемого размера (Рисунок 1, 5).

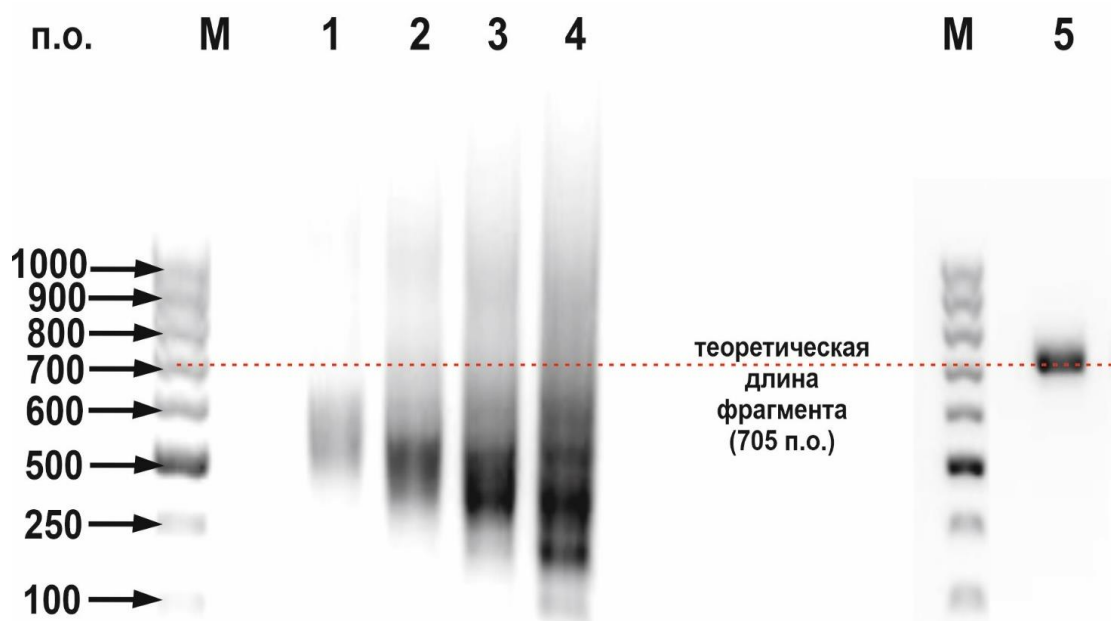


Рисунок 1. Оптимизация условий проведения crossPCR. 1 – без оптимизации; 2 – + 1% ДМСО, 3 – + 5% ПЭГ4000, 4 – + 1М бетаина, 5 – +5% ПЭГ4000, 1М бетаина и температура отжига – 45°С

Выводы. В ходе исследования разработана методика дизайна и сборки гена мутантного RBD-домен вируса SARS-CoV-2. Полученный ген имеет размер, соответствующий теоретическому, а также может быть использован для получения гена вакцинного антигена с белком CRM197.

Библиографический список

1. A Bacterially Expressed SARS-CoV-2 Receptor Binding Domain Fused With Cross-Reacting Material 197 A-Domain Elicits High Level of Neutralizing Antibodies in Mice / Liqin Liu, Tingting Chen, Lizhi Zhou, Jie Sun // Front. Microbiol. 2022. 13. 854630.

Определение факторов комбинированной обработки, влияющих на качество облицовочных изделий из низколиквидной древесины

Тарбеева Наталья Александровна^а, кандидат технических наук, доцент
Рублева Ольга Анатольевна^б, доктор технических наук, доцент, профессор
Вятский государственный университет^{а,б}, Киров

Аннотация: для изготовления облицовочных изделий из низколиквидной древесины комбинированным способом, включающим операции обжига, браширования, прессования и термической обработки необходимо определение оптимальных параметров технологического процесса. Решение задачи поиска оптимальных параметров режимов обработки начинается с определения факторов, воздействующих на процесс и результат обработки. Целью данной работы является определение факторов комбинированной обработки, влияющих на качество облицовочных изделий из низколиквидной древесины. Для определения факторов использовали методы анализа, классификации и систематизации. Полученные результаты исследований являются основой для разработки технологии изготовления облицовочных изделий и направлены на ускоренное ее внедрение в промышленное производство.

Ключевые слова: низколиквидная древесина, комбинированная обработка, факторы процесса.

Введение. В настоящее время облицовочные изделия из древесины для отделки интерьеров широко востребованы ввиду своей экологичности и уникального внешнего вида [1]. Производство облицовочных изделий является достаточно ресурсозатратным, а выпускаемая продукция дорогостоящей, что обусловлено в традиционных технологиях использованием дефицитного сырья – твердолиственной древесины.

Перед деревообрабатывающей промышленностью России согласно Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года поставлена задача ресурсосбережения [2]. Для производства облицовочных изделий данная задача может быть решена путем замены высококачественного твердолиственного сырья низколиквидной древесиной хвойных пород. Использование низколиквидного сырья требует его специальной обработки, улучшающей декоративные и физико-механические свойства. С этой целью на основании разведывательных экспериментов авторами предложен комбинированный способ обработки, включающий четыре технологические операции: обжига, браширования, прессования и термической обработки [3]. Для разработки технологии изготовления облицовочных изделий на основе данного способа необходимо установить оптимальные режимы обработки. Ввиду того, что процесс обработки является мно-

гоступенчатым, и на конечный результат – качество готовой продукции – в процессе обработки воздействует множество факторов, решение задачи поиска оптимальных режимов обработки следует начинать с определения перечня всех влияющих факторов, а также установления значимости их влияния. В связи с этим целью настоящей работы является определение совокупности факторов комбинированной обработки низколиквидной древесины обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой, влияющих на качество облицовочных изделий.

Задачи исследования:

- выявить совокупность факторов, влияющих на результат обработки заготовок из древесины на каждом этапе комбинированной обработки: обжига, браширования, прессования и термической обработки;
- систематизировать выявленные факторы;
- определить наиболее значимые факторы комбинированной обработки.

Методы исследования. В настоящей работе использованы методы анализа, классификации и систематизации.

На первом этапе исследования проводили анализ четырех способов обработки древесины, входящих в многоступенчатый процесс комбинированной обработки: обжига, браширования, прессования и термической обработки – для выявления всех влияющих факторов на каждом этапе процесса. Далее методом классификации систематизировали информацию о факторах, полученную в результате анализа. По результатам классификации и систематизации определяли факторы, которые неоднократно воздействуют на процесс обработки и качество готовой продукции для учета их влияния в дальнейшем при определении оптимальных технологических режимов.

Результаты исследований, их обсуждение. Процесс комбинированной обработки начинается с операции поверхностного обжига. На поверхности древесины происходит процесс обугливания. Скорость обугливания определяется рядом факторов: скоростью перемещения пламени по поверхности, плотностью и влажностью древесины, температурой обработки, размерами заготовок, количеством обжигаемых сторон, шероховатостью поверхности, а также показате-

лями ориентации заготовки в пространстве, формой заготовки, притоком воздуха и наличием трещин [4]. Кратко информация о факторах, воздействующих на качество получаемых в процессе обжига заготовок, сведена в таблицу 1.

Таблица 1

Перечень факторов комбинированного процесса обработки

Этап обработки	Факторы	
	Относящиеся к заготовке	Относящиеся к процессу обработки
1 Обжиг	1.1 Порода древесины 1.2 Влажность заготовок 1.3 Размеры и форма заготовок 1.4 Шероховатость поверхности 1.5 Наличие трещин	1.6 Скорость перемещения пламени по поверхности 1.7 Количество обжигаемых сторон заготовок 1.8 Ориентация заготовок в пространстве 1.9 Приток воздуха
2 Браширование	2.1 Порода древесины 2.2 Вид распила заготовки 2.3 Влажность заготовок	2.4 Вид инструмента обработки (жесткость щеток) 2.5 Скорость вращения инструмента 2.6 Скорость подачи 2.7 Величина выхода инструмента
3 Прессование	3.1 Порода древесины 3.2 Влажность заготовок 3.3 Вид распила заготовок 3.4 Смолистость 3.5 Соотношение ранней и поздней зон	3.6 Степень прессования 3.7 Температура заготовок 3.8 Скорость нагружения 3.9 Время выдержки под нагрузкой 3.10 Наличие / отсутствие пресс-форм
4 Термическая обработка	4.1 Порода древесины	4.2 Температура обработки 4.3 Продолжительность обработки 4.4 Вид агента обработки и его влажность 4.5 Давление в камере

Второй этап обработки – браширование древесины. Качество обработки заготовок в процессе браширования зависит от влияния следующих факторов: вид распила заготовок, тип и жесткость обрабатывающих щеток, их скорость вращения, скорость подачи заготовок. В работе Сергеевой В.В. отмечается, что на результат обработки брашированием прямое влияние также оказывает влажность древесины, порода (определенное соотношение плотностей ранней и поздней зон) и величина выхода инструмента [5].

Третий этап обработки – прессование. Здесь качество получаемых заготовок зависит от породы древесины, влажности, вида распила заготовок, кривизны годичных слоев, соотношения ранней и поздней зон в заготовке, смолисто-

сти, степени прессования, температуры обработки, скорости нагружения, усилия прессования, наличия или отсутствия пресс-форм [6].

Заключительным этапом комбинированного способа является термическая обработка. Свойства древесины, подвергнутой термической обработке, будут определяться породой древесины, температурой и продолжительностью обработки, видом агента обработки и его влажностью, а также давлением в камере [7].

Все факторы, воздействующие на комбинированный процесс и результат обработки, можно разделить на две группы: 1 – относящиеся к заготовке (порода, влажность, вид распила и т. д.); 2 – относящиеся к самому процессу (скорость подачи, степень прессования, температура и т. д.). Факторы, относящиеся к заготовке, оказывают влияние на качество готового изделия на каждом этапе процесса, поэтому, можно полагать, что они будут иметь высокую значимость для всего процесса комбинированной обработки. Факторы, относящиеся к процессу для каждого этапа индивидуальны, вследствие чего их значимость может быть установлена только в результате экспериментальных исследований и статистической обработки экспериментальных данных.

Выводы. На качество облицовочных изделий, изготавливаемых комбинированным способом, включающим операции обжига, браширования, прессования и термической обработки, оказывает влияние совокупность факторов, влияющих на каждом отдельном этапе обработки. Все влияющие можно классифицировать либо по этапам обработки, либо по отношению к заготовкам или процессу. Факторы, относящиеся к заготовкам допустимо считать наиболее значимыми в связи с их влиянием на каждом этапе обработки. Значимость каждого отдельного фактора может быть определена только путем экспериментальных исследований.

Библиографический список

1. Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Теоретические основы получения импортозамещающих конкурентоспособных строительных материалов из древесины с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2015. № 2. С.45–49.
2. Распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2018 г. № 1989-р О Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 г. // Гарант.Ру: информационно-правовой портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71960006/> (дата обращения: 02.03.2023).

3. Тарбеева Н. А., Рублева О. А. Обоснование возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 145–154.
4. Таубкин И. С. Определение температуры и длительности горения древесины на пожаре по параметрам обугленного слоя: методические рекомендации // Теория и практика судебной экспертизы. 2017. № 12(4). С 37–47.
5. Сергеева В. В. Взаимовлияние эстетических свойств фактуры изделий из древесины и технологических аспектов их обработки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : МГУПИ, 2008. 23 с.
6. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. 2-е изд., испр. и доп. М. : Лесная промышленность, 1964. 361 с.
7. Разумов Е. Ю., Данилова Р. В. Способ обработки термомодифицированной древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 4. С. 74–78.

Исследование условий гидролиза молочной сыворотки для проведения дальнейшего сбраживания

Устюжанинова Людмила Васильевна^a,
старший преподаватель кафедры микробиологии
Леушина Анна Дмитриевна^b, студент
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: для производства этанола используются ценные пищевые ресурсы: картофель, сахарная свекла, зерновые культуры. Поэтому стоит вопрос о поиске альтернативного сырья для получения этанола. Как показано ранее, молочную сыворотку после кислотного гидролиза можно сбраживать. Такой вариант поможет решить проблему утилизации молочной сыворотки как отхода молочного производства. Целью данного исследования является подбор оптимальных условий проведения сернокислотного гидролиза молочной сыворотки. В работе использовались методы анализа, обобщения, описания. Основные методы исследования – определение содержания в гидролизате редуцирующих сахаров эбулиостатическим методом, а также метод определения содержания спирта путем окисления этилового спирта до уксусной кислоты и воды смесью бихромата калия с серной кислотой. Данную технологию могут применять предприятия, занимающиеся производством этилового спирта.

Ключевые слова: этанол, молочная сыворотка, кислотный гидролиз.

Введение. В современном мире все более остро стоит проблема поиска альтернативных источников сырья для производства этилового спирта, являющегося важным ресурсом пищевой и технической промышленности. На данный момент для производства этанола задействованы большие объемы ценного пищевого сырья, такого как сахарная свекла, картофель и различные зерновые культуры [1].

Помимо этого, существует проблема, связанная с утилизацией молочной сыворотки, отхода молочной промышленности. Согласно статистическим данным, в России около 2,75 млн. тонн молочной сыворотки сливается на поля и в сточные воды [2]. Это не только увеличивает нагрузку на очистные системы, нанося вред окружающей среде, но и требует определенных финансовых затрат на предварительную очистку.

Получение этилового спирта из молочной сыворотки решит сразу две проблемы: снизит нагрузку на ценные пищевые ресурсы, занятые в производстве этанола, а также уменьшит объем утилизируемой молочной сыворотки.

Ранее нами уже проводились исследования в этом направлении [3]. В ходе экспериментов были определены оптимальный температурный режим для про-

ведения гидролиза, была подобрана кислота и ее концентрация, а также была выявлена необходимость добавления в гидролизат молочной сыворотки минерального питания для увеличения интенсивности и глубины его сбраживания.

Целью данного исследования является определение оптимального времени проведения сернокислотного гидролиза молочной сыворотки для дальнейшего сбраживания сахаромикетами.

Задачи:

- провести кислотный гидролиз молочной сыворотки серной кислотой в автоклаве в течение различного периода времени;
- определить количество образуемых редуцирующих веществ и их общий выход;
- определить количество образуемого этилового спирта в пробе.

Методы исследования. Объектом исследования является образец нативной молочной сыворотки, полученный с молокозавода.

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

Содержание в гидролизате редуцирующих сахаров определяли эбулиостатическим методом Низовкина и Емельяновой [4]. Метод позволяет определить редуцирующие вещества в водных растворах. В основе процесса лежит реакция 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, что позволяет проводить анализ прямым титрованием. Определить окончание титрования позволяет метиленовая синяя, которая в окислительной среде имеет синюю окраску, а в восстановительной среде она бесцветна [4].

Содержание этилового спирта в пробе регистрировалось методом определения содержания спирта в культуральной жидкости. Метод основан на окислении этилового спирта до уксусной кислоты и воды смесью бихромата калия с серной кислотой. По окончании окисления избыток бихромата оттитровывают

раствором тиосульфата натрия. По количеству бихромата, израсходованного на окисление, определяют концентрацию спирта [5].

В пробы перед засеванием вносились дрожжевой экстракт и минеральное питание, что обусловлено исследованиями, проводимыми ранее [3]. Объем анализируемой пробы составляет 50 мл. Количество компонентов, вносимых в пробу, представлено в таблице 1.

Таблица 1

Компоненты дополнительного питания

Название компонента	Количество компонента, г (на 50 мл)
Аммоний сернокислый	0,25
Калий фосфорнокислый	0,05
Магний сернокислый	0,01
Кальций хлористый	0,0025
Дрожжевой экстракт	0,25

Данные компоненты вносились в пробу после проведения гидролиза молочной сыворотки после регуляции pH до значения 6,5 перед стерилизацией и последующей инокуляции полученного субстрата.

Результаты исследований, их обсуждение. При проведении гидролиза использовалась серная кислота в концентрации 2% масс. [3]. Гидролиз проводился в автоклаве при температуре 121 °С в течение 30, 45 и 60 минут. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Исследование влияния времени
гидролиза молочной сыворотки
на эффективность гидролиза и ее последующего сбраживания
(средние значения по двум параллельным пробам)**

Время гидро- лиза молоч- ной сыворот- ки при 121 °С, мин	Концентра- ция РВИ до брожения, мг/мл	Концентрация РВИ после брожения, мг/мл	Степень био- конверсии. %	Количество этанол, % об	Концентра- ция этанола, мг/мл
30	27,60	1,19	95,7	1,87	14,76
45	27,60	2,47	91,0	2,04	16,13
60	25,54	1,73	93,2	1,99	15,71

Как видно из полученных данных, наибольшее количество и концентрация этилового спирта наблюдаются в пробах, подверженных гидролизу серной кислотой в автоклаве при температуре 121 С° в течение 45 минут. Проводить гидролиз большее количество времени не целесообразно, так как в пробах начинаются процессы карамелизации и меланоидинообразования, о чем можно судить по изменению цвета пробы. Эти процессы ведут к снижению питательной ценности гидролизата. Также проведение гидролиза более продолжительное время требует большего количества энергозатрат, что в данном случае неоправданно.

Выводы. Был проведен гидролиз молочной сыворотки серной кислотой в автоклаве при температуре 121 С° в течение 30, 45 и 60 минут с последующим внесением в пробу минерального питания. Наибольший выход этилового спирта наблюдается при проведении гидролиза в течение 45 минут. Проводить сернокислотный гидролиз в течение большего времени не целесообразно, так как выход этилового спирта не увеличивается. В будущем планируется провести эксперимент с большим объемом молочной сыворотки и с дальнейшей перегонкой этилового спирта.

Библиографический список

1. Яровенко В. Л., Устинников Б. А., Богданов Ю. П., Громов С. И. Справочник по производству спирта. Сырье технология и техноконтроль // Легкая промышленность. 1981. С. 5–8.
2. Евдокимов И. А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2006. № 2. С. 34–36.
3. VIII Пущинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», Школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие»: сб. тез. М. : ГЕОС, 2022. 294 с.
4. Емельянова И. З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М. : Лесная промышленность, 1969. 367 с.
5. Ляпустин А. В., Шуплецова О. Н. Теоретические основы биотехнологии : учеб. пособие к практическим занятиям. Киров : ОКраткое, 2008. 49 с.

Применение комбинации наполнителей в резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука

Шилов Иван Борисович^a, кандидат химических наук, доцент, доцент
Шестакова Ульяна Андреевна^b, студент
Бояринцев Данил Алексеевич^c, студент
Эткеева Ксения Сергеевна^d, студент
Вятский государственный университет^{a,b,c,d}, Киров

Аннотация: в настоящее время технический углерод является основным наполнителем резин. Совместное влияние разных марок технического углерода на свойства резин в технической литературе освещено недостаточно подробно. Целью работы было исследование влияния сочетания наиболее применяемых марок технического углерода на характеристики высоконаполненных резин на основе бутадиен-нитрильного каучука. Для исследования характеристик резин применяли стандартизованные методики, принятые в резиновой промышленности. Показано, что применение смесей технических углеродов в высоконаполненных резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40 АМН целесообразно для снижения вязкости резиновых смесей, снижения теплообразования и повышения усталостной выносливости резин. Полученные результаты могут быть полезны при разработке рецептур резин на основе бутадиен-нитрильного каучука.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, технический углерод, резина, вязкость.

Введение. Без применения наполнителей не создать технически ценных полимерных материалов, в частности резин. В промышленности резиновых технических изделий в качестве наполнителей широко используется целая гамма технических углеродов [1, с. 533; 2, с. 307]. Накоплен значительный опыт по использованию разных марок технического углерода для обеспечения тех или иных характеристик резин [3, с. 278; 4, с. 144]. Одной из особенностей рецептуростроения в промышленности резиновых технических изделия является то, что очень часто в рецептуре резины одновременно применяют разные марки технического углерода [5, с. 254]. Например, высокодисперсный технический углерод применяют для обеспечения высоких физико-механических характеристик резины, а для возможности переработки резиновой смеси в этой же самой рецептуре используют менее активный технический углерод. Для обеспечения высокой электропроводности нужно применять специальные марки технического углерода, а для улучшения экономических показателей одновременно можно использовать более дешевый наполнитель. Однако совместное влияние разных марок технического углерода при их одновременном присутствии в эла-

стомерной матрице на свойства резин в доступной технической литературе освещено недостаточно подробно.

Целью работы было исследование влияния сочетания наиболее применяемых марок технического углерода на характеристики высоконаполненных резин на основе бутадиен-нитрильного каучука.

В задачи исследования входило исследование влияния сочетания разных марок технического углерода на вязкость, физико-механические свойства, теплообразование и динамическую выносливость резин на основе бутадиен-нитрильного каучука.

Методы исследования. Исследовали резины состава, мас. ч. на 100 мас. ч. бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40 АМН: сера – 0,5; тетраметилтиурамдисульфид – 2,0; сульфенамид Ц – 2,0; сантогард РVI – 0,4; белила цинковые – 5,0; стеарин технический – 1,5; ацетонил Р – 1,0; N-изопропил-N'-фенил-п-фенилендиамин (IPPD) – 1,5; октофор-N – 3,0; пластификатор дибутилфталат – 25,0; технический углерод – 100,0. В качестве технического углерода применяли N 220 (шифр смеси N220), N 330 (шифр смеси N330), N 550 (шифр смеси N550), П 803 (шифр смеси П803), смеси технических углеродов в соотношении 50,0 мас. ч. : 50,0 мас. ч.: N 220 – N 330 (шифр смеси 23), N 220 – П 803 (шифр смеси 28), N 330 – N 550 (шифр смеси N35), N 550 – П 803 (шифр смеси 58).

Резиновые смеси изготавливали на вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре 30–40 °С. Вулканизацию проводили в гидравлическом прессе с электрообогревом при температуре 170 °С в течение 10 минут. Условия определения характеристик резин приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия определения характеристик резин

Показатель	Документация	Условия
Вязкость по Муни	ГОСТ 10722-76	МБ 1+4, 100 °С
Условная прочность при растяжении	ГОСТ 270-75	23 °С
Напряжение при удлинении 100%	ГОСТ 270-75	23 °С
Относительное удлинение при разрыве	ГОСТ 270-75	23 °С
Сопротивление раздиру	ГОСТ 262-93	23 °С, метод Г
Твердость по Шору А	ГОСТ 263-75	23 °С
Эластичность по отскоку	ГОСТ 27110-86	23 °С

Окончание табл. 1

Показатель	Документация	Условия
Усталостная выносливость при многократном растяжении	ГОСТ 261-79	23 °С, $\varepsilon_0 = 100\%$ и $\varepsilon_0 = 150\%$
Теплообразование (температура после многократного сжатия после 25 мин испытания)	ГОСТ 20418-75	метод Б

Результаты исследований, их обсуждение. Результаты определения характеристик резин приведены в таблице 2. Резиновые смеси, изготовленные с применением комбинаций технических углеродов, имеют вязкость ниже аддитивных значений на 13–38 %. Резины, в составе которых использованы смеси технических углеродов имеют меньшее теплообразование, оцениваемое по температуре после многократного сжатия, чем резины, содержащие индивидуальные марки технических углеродов. Резины, в составе которых использованы смеси технических углеродов имеют существенное преимущество перед резинами, содержащими индивидуальные марки технических углеродов. По остальным исследованным характеристикам резины, в составе которых использованы смеси технических углеродов находятся на одном уровне в пределах ошибки эксперимента с резинами, содержащими индивидуальные марки технических углеродов. Однако следует отметить тенденцию улучшения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве при использовании в качестве наполнителя смесей технических углеродов.

Таблица 2

Характеристики резин

Наименование показателей	Шифр резиновой смеси							
	N220	23	28	N330	35	N550	58	П803
Вязкость по Муни, МБ 1+4(100 ⁰ С), усл. ед.	96	70	53	60	51	55	40	48
Условная прочность при растяжении, МПа	15,2	15,9	14,2	16,1	13,3	12,1	12,7	11,6
Напряжение при удлинении 100%, МПа	7,5	6,1	5,9	4,7	5,6	7,8	4,8	6,2
Относительное удлинение при разрыве, %	210	250	250	250	240	230	290	230
Соппротивление раздиру, кН/м	42	44	45	46	42	47	47	45
Твердость по Шору А, усл. ед.	78	78	74	76	75	73	73	72

Наименование показателей	Шифр резиновой смеси							
	N220	23	28	N330	35	N550	58	П803
Эластичность по отскоку, %	14	11	14	14	15	17	16	18
Усталостная выносливость при многократном растяжении, $\varepsilon_0 = 100\%$, циклы	3,7	10,2	9,4	9,1	24,5	18,5	30,5	4,60
Усталостная выносливость при многократном растяжении $\varepsilon_0 = 150\%$, циклы	195	321	368	162	480	473	990	215
Температура после многократного сжатия после 25 мин испытания	71	67	61	67	57	70	61	64

Таким образом, применение смесей технических углеродов в высоконаполненных резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40 АМН целесообразно для снижения вязкости резиновых смесей, снижения теплообразования и повышения усталостной выносливости вулканизатов при многократном растяжении.

Выводы. Показано, что резиновые смеси на основе высоконаполненных резин на основе бутадиен-нитрильного каучука, в которых использованы разные марки технического углерода, имеют вязкость ниже аддитивных значений. Применение комбинации разных марок технического углерода приводит к уменьшению теплообразования и улучшению усталостной выносливости при многократном растяжении исследованных высоконаполненных резин на основе бутадиен-нитрильного каучука. По остальным исследованным характеристикам резины, в составе которых использованы смеси технических углеродов находятся на одном уровне с резинами, содержащими индивидуальные марки технических углеродов. Однако следует отметить тенденцию улучшения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве при использовании в качестве наполнителя смесей технических углеродов.

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. Махлис Ф. А., Федюкин Д. Л. Терминологический справочник по резине М. : Химия, 1989. 400 с.

3. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности : в 2 ч. Ч. 1. Казань, 2010. 506 с.
4. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М., 2008. 383 с.
5. Аверко-Антонович Ю. О., Омельченко Р. Я., Охотина Н. А., Эбич Ю. Р. Технология резиновых изделий / под ред. П. А. Кирпичникова. М. : Химия, 1991. 352 с.

Влияние бинарных культур стрептомицинов на их антагонистическую активность по отношению к фитопатогенным грибам и бактериям

Широких Ирина Геннадьевна^a, доктор биологических наук
Боков Никита Александрович^b, аспирант
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: актуальность работы связана с тем, что болезни растений, вызываемые фитопатогенными грибами и бактериями, представляют значимую угрозу для сельского хозяйства и могут привести к значительным экономическим потерям. Цель исследования – оценить, влияние совместного культивирования стрептомицетов на их антагонистическую активность против фитопатогенных грибов и бактерий. Основным методом, используемым в исследовании, является метод диффузии в агар. Ассоциация штаммов *S. griseoaurantiacus* МБ 4–2 и *S. antimycoticus* 8A13, активно ингибировала рост фитопатогенных грибов, в среднем диаметр зоны подавления роста был 18,76 мм, что на 69% больше, чем у чистой культуры *S. antimycoticus* 8A13 и значимо не отличимо от антифунгального препарата тербинафина.

Ключевые слова: бинарные культуры, совместное культивирование, антагонистическая активность, стрептомицеты.

Введение. Стрептомицеты представляют собой группу бактерий, которые, производят уникальный набор антимикробных вторичных метаболитов, что делает их экологически чистой альтернативой химическим пестицидам в борьбе с патогенами растений [1]. Например, в одном исследовании оценивалась противогрибковая и антибактериальная активность ризосферных почвенных изолятов актиномицетов в отношении патогенов растений, и было установлено, что совместное культивирование этих изолятов усиливает антагонистическую активность как против грибковых, так и бактериальных патогенов [2]. Объектом исследования являются штаммы стрептомицетов. Предметом исследований является совместное культивирование стрептомицетов друг с другом. Цель исследования – оценить, влияние совместного культивирования стрептомицетов на их антагонистическую активность против фитопатогенных грибов и бактерий. Задачи: 1. исследовать влияние совместного культивирования различных штаммов стрептомицетов на антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов и бактерий; 2. сравнить антагонистическую активность бинарных культур стрептомицетов с используемыми в практике антибиотиками. Актуальность работы связана с тем, что болезни растений, вызываемые фитопатогенными грибами и бактериями, представляют значимую

угрозу для сельского хозяйства и могут привести к значительным экономическим потерям. Использование химических пестицидов для борьбы с патогенами имеют некоторые недостатки, например развитие резистентности к этим пестицидам и загрязнение окружающей среды. Поэтому поиск альтернативных методов борьбы с болезнями растений имеет решающее значение для ведения «устойчивого» сельского хозяйства. Отсутствие эффективного биопрепарата, подавляющего рост фитопатогенных бактерий и грибов не уступающего в эффективности химическим пестицидам, является одной из ключевых проблем сельского хозяйства.

Методы исследования. Штаммы стрептомицетов наращивали в колбах объемом 250 мл (объем среды 50 мл), с жидкой питательной средой на минеральной жидкой среде следующего состава: (г/л): K_2HPO_4 – 2, NaCl – 2, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 1, $MnSO_4$ – 0,05, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,05, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ – 2 [3], с единственным источником углерода в виде соломы (10 г/л). Культивирование вели в течение 7 суток при 28 °С стационарно.

Далее для оценки антагонистической активности штаммы выращивали в монокультурах и в бинарных ассоциациях: 1) *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 + *S. antimycoticus* 8A13; 2) *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 + *Streptomyces* sp. Н 27-25, 3) *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 + *Streptomyces* sp. Н 13-3, 4) *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 + *Streptomyces* sp. Н 13-3, 5) *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 + *Streptomyces* sp. П 13-9. Тест культуры бактерий и грибов по отношению к которым определяли антагонизм наращивали на скошенном агаре при 28°С со средой RHM и Чапека для бактерий 2 суток и 7 суток для грибов. Добавляли в пробирки 5 мл стерильной воды, с помощью микробиологической петли создавали суспензию, из которой на чашки Петри переносили 200 мкл суспензии (для бактерий), и 500 мкл (для грибов). Суспензию растирали по поверхности агара стерильным микробиологическим шпателем. Затем на поверхность среды раскладывали стерильные бумажные диски на них наносили по 10 мкл культуральной жидкости стрептомицетов. В качестве референса использовали антибиотик канамицин (30 мкг) в виде стандартных дисков и антифунгальный препарат тербина-

фин (250 мкг) его так же наносили на стерильные бумажные диски по 10 мкл. Учет результатов производили через 24 часа для бактерий и через 48 часов для грибов, измеряли диаметр зоны подавления роста, для каждого штамма и антибиотика.

Результаты исследований, их обсуждение. В ходе проверки антагонистической активности стрептомицетов к бактериям, зоны подавления роста более 10 мм были только по отношению к 3 из 6 бактериальных штаммов. Штамм *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 подавлял рост бактерий 3А5 и СММ, а ассоциация штаммов Мб 4-2 и 8АЛ3 подавляла рост *E. Rhapontici*. Штамм *Streptomyces* sp. Н 27-25 и его ассоциация с штаммом Мб 4-2, подавляли рост 4 из 6 бактерий и в среднем показали себя лучше, чем ассоциации штаммов *S. antimycoticus* 8АЛ3 и *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2, но различия не были достоверными. Тестовый антибиотик канамицин показал себя, более эффективно, чем штаммы стрептомицетов, подавляя рост 4 из 6 штаммов, зоны подавления роста были в 2 раза больше чем у ассоциации штаммов *Streptomyces* sp. Н 27-25 и Мб 4-2, другие варианты штаммов стрептомицетов и их бинарные культуры продемонстрировали еще меньший уровень антагонистической активности.

Антагонистическая активность по отношению к грибам-фитопатогенам была в 4,3 раза выше, чем по отношению к бактериям у ассоциации штаммов Мб 4-2 и 8АЛ3. Чистая Мб 4-2 не проявил антифунгальной активности. Ассоциация штаммов Мб 4-2 и 8АЛ3, активно ингибировала рост грибов в среднем диаметр зоны под подавления роста был 18,76 мм (табл. 1), что на 69% больше, чем у чистой культуры 8АЛ3, ранее данный актиномицет показал себя как персептивный биофунгицид [4].

Таблица 1

Антифунгальное и анибактериальное действие стрептомицетов

Тест культуры бактерий	Культуры антагонисты					Антибиотик
	Мб 4-2	Мб 4-2+8АЛ3	8АЛ3	Н 27-25	Н 7-25+ Мб 4-2	КАН
	Диаметр зоны подавления роста (мм)					
29г4	0	0	6,67±5,77	10,33±0,58	10,33±0,58	18,33±1,15
29г3	0	0	10±0	9,33±0,58	9,67±0,58	18,33±2,89
1А4	0	0	0	0	0	16,67±1,53

Тест культуры бактерий	Культуры антагонисты					Антибиотик
	Мб 4-2	Мб 4-2+8AL3	8AL3	Н 27-25	Н 7-25+ Мб 4-2	КАН
	Диаметр зоны подавления роста (мм)					
3A5	11,67±0,58	0	0	0	0	0
СММ	12,33±0,58	9,67±0,58	9,67±0,58	13,33±1,15	16,00±2,65	0
<i>E. rhapontici</i>	0	16,67±2,31	10,00±8,66	10,33±0,58	10,33±0,58	29,67±0,58
Среднее	4,00±6,20	4,39±7,15	6,06±4,86	7,22±5,75	7,72±6,41	13,83±11,68
Тест культура грибов						Тербинафин
<i>Fusarium avenaceum</i>	0	20±3,00	20±3,00	13,00±1,00	12,33±2,08	30±4,50
<i>Fusarium moniliforme</i>	0	10,33±0,58	0	0	0	20,00±5,00
<i>F. oxysporum</i>	0	16,33±1,53	7,33±6,43	3,33±5,77	9,67±0,58	15,33 ±1,53
<i>F. proliferatum</i>	0	16,33±2,52	13,33±1,53	0	0	16,33±1,53
<i>Fusarium culmorum</i>	0	15,00±2,65	13,00±1,73	5,33±4,62	10,33±0,58	12,33±1,53
<i>Alternaria Я19/з</i>	0	27,00±2,65	15,00±4,36	11,00±3,61	14,00±2,00	26,33±3,21
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	0	26,33±3,21	9,00±7,94	6,67±5,77	0	18,33±2,89
Среднее	0	18,76±6,11	11,09±6,39	5,62±5,05	6,62±6,35	19,81±6,28

В качестве зарекомендовавшего себя антифунгального средства использовали тербинафин, он активно подавлял рост грибов, в среднем зона подавления роста составила 19,81 мм, что больше, чем у чистой культуры 8AL3 и ассоциации Мб 4-2 и 8AL3 на 78 и 6% соответственно. Штамм Н 27-25 показал антагонистическую активность в два раза ниже чем штамм 8AL3, а его ассоциация с штаммом Мб 4-2, показала себя в 3 раза хуже чем ассоциация Мб 4-2 и 8AL3. Ассоциация актиномицетов Мб 4-2 и 8AL3 лучше всего проявила себя в отношении *Alternaria Я19/з* диаметр зоны подавления рост 27 мм и *Bipolaris sorokiniana* 26 мм, что на 2,5 % и на 44 % соответственно больше, чем при использовании тербинафина.

Выводы. В работе показано, что совместное культивирование стрептомицетов усиливает антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов. В отношении бактерий повышения антагонистической активности при использовании бинарных культур отмечено не было. При сравнении с контрольными антибактериальными средством (канамицин), чистые и бинарные

культуры стрептомицетов имели зоны подавления роста бактерий в два раза меньше. На одном уровне с тербинафином по подавлению роста фитопатогенных грибов была бинарная культура стрептомицетов Мб 4-2 и 8AL3. Создание биопрепаратов на основе ассоциаций культур стрептомицетов, является перспективным направлением в сельском хозяйстве, и может помочь решить проблему с чрезмерным использованием химических фунгицидов.

Библиографический список

1. Synergistic effect of co-culture rhizosphere *Streptomyces*: A promising strategy to enhance antimicrobial activity and plant growth-promoting function / J. Li, L. Zhang, G. Yao, L. Zhu // *Front Microbiol.* 2022. Vol. 13. P. 1–18. DOI: 10.3389/fmicb.2022.976484.
2. Gonzalez-Franco A. C., Robles-Hernández L. Antagonist activities and phylogenetic relationships of actinomycetes isolated from an *Artemisia* habitat // *Rev Argent Microbiol.* 2022. Oct-Dec. 54(4). P. 326–334. DOI: 10.1016/j.ram.2022.05.003. Epub 2022 Jun 17. PMID: 35725666.
3. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.
4. Новые штаммы стрептомицетов как перспективные биофунгициды / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, А. В. Бакулина, Р. И. Абубакирова // *Теоретическая и прикладная экология.* 2021. № 1. С. 172–180. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-172-180. EDN SUHXUY.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) Кировской области

Сморкалова Элина Дмитриевна^a, студент
Олькова Анна Сергеевна^b, доктор биологических наук, доцент
Вятский государственный университет^{a,b}, Киров

Аннотация: концепция лесов высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) является одним из важнейших систем правильной и грамотной оптимизации в лесном хозяйстве. В Кировской области к ЛВПЦ можно отнести лесные массивы особо охраняемых природных территорий и пойменные леса.

Ключевые слова: леса высокой природоохранной ценности, особо охраняемые природные территории, лесопользование, биоразнообразие.

Введение. Любой лесной массив может характеризоваться той или иной степенью природоохранной ценности. К лесам высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) относятся леса, имеющие выдающееся или ключевое значение в связи с их высокой экологической, социально-экономической, ландшафтной ценностью и ценностью для сохранения биоразнообразия [1].

Леса различного хозяйственного значения занимают 62,5% территории Кировской области [2]. В связи с этим целью нашей работы был анализ природоохранного значения лесов Кировской области, относимых или претендующих на отнесение к ЛВПЦ.

Методы исследования. Анализ выполнен с использованием положений концепции ЛВПЦ [1], Лесного кодекса РФ (2006) [3], сайта Министерства лесных ресурсов Кировской области [4].

Результаты исследований, их обсуждение.

В Кировской области расположено 198 особо охраняемых природных территорий различных категорий, в том числе 173 памятника природы регионального значения. Важное средозащитное значение имеет зеленая зона городов Киров, Кирово-Чепецк и Слободской. Она предназначена для оздоровления воздушного бассейна и поддержания экологической стабильности на территориях областного центра. Общая площадь ООПТ в Кировской области составляет 324,1 тыс. га или 2,69 % от площади региона.

В соответствии с концепцией ЛВПЦ выделяют 6 типов лесов высокой природоохранной ценности. В Кировской области к таковым можно отнести лесные массивы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и леса, имеющие водоохранное значение (табл. 1, 2).

Таблица 1

Ключевые ООПТ Кировской области

ООПТ	Пример	Типы охраняемых лесов
Федерального значения	Государственный природный заповедник «Нургуш» (единственный заповедник в области)	– широколиственно-хвойные; – пихтово-еловые; – мелколиственные;
Регионального значения	Государственный природный заказник регионального значения «Бушковский лес»	– смешанные леса; – широколиственно-хвойные; – широколиственно-пихтово-еловые леса;
	Государственный природный заказник «Былина»	– еловые зеленомошные черничные леса; – березовые леса; – осиново-березовые леса; – сосняки зеленомошные и долгомошные;
	Государственный природный заказник «Пижемский»	– хвойно-широколиственные леса; – смешанные леса.

Данные, представленные в таблице № 1, демонстрируют значительное разнообразие типов леса на землях ключевых элементов региональной сети ООПТ, что свидетельствует о высоком биоразнообразии рассматриваемых лесных экосистем.

Леса бассейна р. Вятка, в том числе и леса, расположенные в пойме, имеют важное водоохранное значение. Кроме того, они входят в состав ряда ООПТ, расположенных на пойменных участках (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика ООПТ,
расположенных в пойме р. Вятка**

ООПТ в пойме р. Вятка	Категория	Типы лесов
Заречный парк	Памятник природы регионального значения	– сосновые леса на пойменных грядах; – ельник кисличник;
Оз. Холуново	Памятник природы регионального значения	– смешанные леса

Пойменные леса отличаются большим биоразнообразием. Так, в ООПТ «Заречный парк» богато разнообразие кустарников: встречаются заросли шиповника, черной смородины, малины. Расположение в пойме старичных озер также увеличивает биоразнообразие территории. Леса при этом выполняют водоохранную функцию отношению к реке и озерам.

Выводы.

В Кировской области к лесам высокой природоохранной ценности можно отнести как леса охраняемых территорий, так и имеющие важное водоохранное значение леса поймы р. Вятка. Лесные массивы ООПТ выполняют в основном функции сохранения биоразнообразия, в то время как леса водоохранной зоны имеют в условиях региона высокий природоохранный потенциал более широкого функционального спектра.

Библиографический список

1. ЛВПЦ Кировской области | Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) России. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-kirov> (дата обращения: 25.03.2023).
2. Лесной фонд. Лесные ресурсы. URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/prres/forest.php> (дата обращения: 25.03.2023).
3. Лесной кодекс Российской Федерации (ЛК РФ) от 04.12.2006 № 200-ФЗ (последняя редакция). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 25.03.2023).
4. Официальный сайт министерства лесного хозяйства Кировской области. URL: <https://www.mlh43.ru/> (дата обращения: 25.03.2023).

Электронное научное издание

ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2023)

Сборник материалов

**XXIII Всероссийской (национальной)
научно-практической конференции
12 апреля – 22 июня 2023 г.**

Том 2

Технические и естественные науки

Статьи публикуются в авторской редакции
Технический редактор *Л. А. Кислицына*

Электронное издание сетевого распространения

Объем издания: 7 Мб

Дата подписания к использованию: 22. 06. 2023

Вятский государственный университет
610000, г. Киров, ул. Московская, 36
www.vyatsu.ru, www.vestnik43.ru
Тел. (8332) 20-89-64 (Научное издательство ВятГУ)