

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО *плюс*



2024

№3(67) т.13

технические науки



XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

Шеуджен Асхад Хазретович, академик Российской академии наук,
доктор биологических наук, профессор

Заместители главного редактора:

Авровов Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент
Ефремова Саня Юнусовна, доктор биологических наук, профессор
Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент
Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор
Политаева Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор
Чулков Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор
Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор
Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор
Бакин Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор
Баширов Мусса Гумерович, доктор технических наук, профессор
Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор
Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор
Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор
Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор
Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент
Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент
Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент
Зыбина Ольга Александровна, доктор технических наук, доцент
Ивашенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор
Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Косников Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор
Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор
Куликовских Илона Марковна, доктор технических наук, доцент
Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор
Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор
Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор
Милентьева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, доцент
Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор
Рожнов Евгений Дмитриевич, доктор технических наук
Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор
Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук, доктор
химических наук, профессор
Танклевский Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор
Таранцева Клара Рустемовна, доктор технических наук, профессор
Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор
Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент
Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент
Школьников Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

© ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет, 2024

Основан в 2011 г.

18+

Том 13
№ 3 (67)
2024

Журнал выходит
4 раза в год

Входит в ПЕРЕЧЕНЬ рецензи-
руемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций на
соискание ученой степени кандидата
наук, на соискание ученой степени
доктора наук.

Зарегистрирован Управлением
Федеральной службы по надзору в
сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
по Пензенской области ПИ № ТУ 58 –
00243 от 27 апреля 2015 года.

Компьютерная верстка:
В.В. Зупарова

Технический редактор:
В.В. Зупарова

Адрес редколлегии, учредителя,
редакции и издателя
ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный технологический
университет»:
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11
Тел.: 8(8412) 20-86-39;
E-mail: journal21@penzgtu.ru;
Сайт: <https://vek21.penzgtu.ru>

Подписано в печать 17.09.2024.

Выход в свет 26.09.2024.

Формат 60X84 1/8

Печать ризография.

Усл. печ. л. 26,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 208.

Отпечатано в ПензГТУ,
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11, тел.: 8(8412) 20-86-39
Цена свободная

СВЕДЕНИЯ О ЧЛЕНАХ РЕДКОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Шеуджен Асхад Хазретович, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии
(Кубанский государственный аграрный университет)

Заместители главного редактора:

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Пищевые производства»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, начальник отдела пищевых систем и биотехнологий, главный научный сотрудник

(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия)

Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор, ректор

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Политаева Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

Чулков Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Биомедицинская инженерия»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»

(Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия)

Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор, директор Высшей школы биотехнологии и пищевых технологий

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

Бакин Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессов и аппаратов перерабатывающих производств» (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева г. Москва, Россия)

Баширов Мусса Гумерович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» (Уфимский государственный нефтяной технический университет (филиал в г. Салавате), Институт нефтепереработки и нефтехимии, г. Салават, Россия)

Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» (Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия)

Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор

(Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Республика Казахстан)

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, начальник отдела инженерной экологии и экологического мониторинга Самарского научного центра РАН, заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология» (Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия)

Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пищевых систем и биотехнологий (Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия)

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, директор института автоматизации и информационных технологий (Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия)

Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология и организация общественного питания», начальник отдела подготовки научных кадров

(Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия)

Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

(Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет)

Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительная техника»

(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Зыбина Ольга Александровна, доктор технических наук, доцент, заместитель начальника по научной работе (*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия*)

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника» (*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*)

Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой «Высшая и прикладная математика» (*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*)

Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» (*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*)

Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор, декан факультета биотехнологии и промышленной экологии, заведующий кафедрой «Промышленная экология» (*Российский государственный химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия*)

Куликовских Илона Марковна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем и технологий (*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия*)

Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор, заместитель директора (*Институт Нефтехимических процессов НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан*)

Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, директор (*Международный государственный экологический институт им.А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г.Минск, Республика Беларусь*)

Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор, директор (*Институт нефти и газа, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г.Грозный, Чеченская Республика*)

Милентьева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры бионанотехнологии (*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия*)

Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и системы» (*Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия*)

Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования (*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*)

Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» (*Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева, г. Самара, Россия*)

Рожнов Евгений Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры пищевой инженерии (*Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия*)

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательского центра Академия гражданской защиты (*Академия гражданской защиты МЧС России, г. Москва, Россия*)

Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук, профессор, управляющий директор ГНЦ РФ «Государственный ордена Трудового Красного Знамени НИИ химии и технологии элементоорганических соединений», профессор кафедры химии и технологии элементоорганических соединений (*Московский институт тонкой химической технологии имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*)

Танклевский Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность» (*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа техносферной безопасности, г. Санкт-Петербург, Россия*)

Таранцева Клара Рустемовна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнологии и техносферная безопасность» (*Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия*)

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология и техносферная безопасность» (*Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия*)

Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерные системы» (*Казанский Национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия*)

Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры 801 (*Московский авиационный институт, г. Москва, Россия*)

Школьников Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии питания (*Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия*)

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РЕГУЛЯРИЗАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ МАСКИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ Васильев Константин Александрович, Новиков Анатолий Иванович.....	8
КОНЦЕПЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА УЯЗВИМОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ Никулин Дмитрий Сергеевич.....	17
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ОБОРОТА МОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Степанов Павел Викторович.....	26
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕР В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ Прокофьев Олег Владимирович.....	35
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СЕДИМЕНТАЦИИ Скворцов Даниил Евгеньевич, Шадрин Дмитрий Германович, Бурдонов Александр Евгеньевич, Шонходоев Зандан Чимитдашиевич.....	43
ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ НЕПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ БАКАЛАВРИАТА Бугакова Татьяна Юрьевна, Смирнов Дмитрий Юрьевич.....	51
ОСОБЕННОСТИ СКАНИРОВАНИЯ КИНОПЛЁНОК 3-Й КАТЕГОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУСТОРОННЕЙ ЛАМИНАЦИИ И НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ ПОСТОБРАБОТКОЙ Блинников Александр Вениаминович, Боровинский Дмитрий Владимирович, Ковалев Игорь Владимирович.....	60

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РОСТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ ПО БИОМАССЕ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ Кузьмин Антон Алексеевич.....	70
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОНФЕТ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИКИ Шамилов Шамиль Асхабович, Заворохина Наталия Валерьевна, Тарасов Алексей Валерьевич.....	80
ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ ХЛЕБНЫХ ЗАКВАСОК ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ РАССОЛА КВАШЕНОЙ КАПУСТЫ С МОЛОЧНОКИСЛЫМИ БАКТЕРИЯМИ Буракова Людмила Николаевна, Плотников Даниил Александрович.....	88
ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ШКОЛЬНЫХ СТОЛОВЫХ Г. КЕМЕРОВО Костина Наталья Геннадьевна, Куракин Михаил Сергеевич, Григорьева Роза Завдятовна.....	96
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА, ОБОГАЩЕННОГО ПОРОШКОМ ЕЖОВИКА ГРЕБЕНЧАТОГО И СЕМЕНАМИ ТЫКВЫ И ПОДСОЛНЕЧНИКА Лазарев Владимир Александрович, Порошина Дарья Денисовна.....	104

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ-ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИПИДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Васильева Жанна Вячеславовна, Петров Борис Федорович, Петрова Виктория Николаевна.....111

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

Пузач Сергей Викторович, Витовщик Евгений Владимирович, Воробьев Николай Сергеевич.....117

АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ САФРАНИНА Т) БЕНТОНИТОВЫМИ СОРБЕНТАМИ

Атаманова Ольга Викторовна, Тихомирова Елена Ивановна, Абрамова Александра Сергеевна, Кошелев Алексей Васильевич.....127

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОТЕКАНИЯ СВЕРХТОКА В АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКАХ, МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Мокряк Анна Васильевна.....133

ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ГОРОДЕ ПЕНЗА

Мишина Кристина Дмитриевна, Безбородова Оксана Евгеньевна, Бодин Олег Николаевич, Камардина Наталья Владленовна.....142

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Захарова Елена Анатольевна, Широков Юрий Александрович, Мурко Елена Викторовна.....151

СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОПАСНЫХ ДЕЙСТВИЙ РАБОТНИКОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Хасанова Валерия Карловна, Хайруллина Ляйсан Исмагиловна, Тучкова Оксана Анатольевна, Хайруллин Руслан Зуфарович.....161

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСТОЕЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

Дмитриев Михаил Сергеевич, Старунов Александр Владимирович, Руднев Валерий Валентинович, Хасанова Марина Леонидовна.....170

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОГО АДСОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Вурдова Надежда Георгиевна.....179

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ШУНТИРУЮЩЕМ ЭКРАНИРУЮЩЕМ КОМПЛЕКТЕ ЭП-4(0)»

Перов Сергей Юрьевич, Макарова-Землянская Елена Николаевна, Дремин Алексей Игоревич, Крамаренко Павел Николаевич.....188

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА CO₂-ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ КОМПРЕССИОННЫХ ПЕН

Булатов Наиль Назимович.....194

CONTENT

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

REGULARIZATION ALGORITHM FOR RESTORING A BLURRED IMAGE IN THE TASK OF MASKING INFORMATION Vasiliev Konstantin Alexandrovich, Novikov Anatoly Ivanovich.....	8
CONCEPTS OF USING NEURAL NETWORKS FOR VULNERABILITY ANALYSIS AUTOMATED SYSTEMS Nikulin Dmitry Sergeevich.....	17
SOLVING THE PROBLEM OF UNAUTHORIZED ACCESS IN THE MOBILE EQUIPMENT TURNOVER CONTROL SYSTEM Stepanov Pavel Viktorovich.....	26
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PROVIDE PREVENTIVE MEASURES IN THE FIELD OF INFORMATION PROTECTION Prokofiev Oleg Vladimirovich.....	35
AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR CONDUCTING LABORATORY RESEARCH OF THE SEDIMENTATION PROCESS Skvortsov Daniil Evgenievich, Shadrin Dmitry Germanovich, Burdonov Alexander Evgenievich, Shonkhodoyev Zandan Chimitdashievich.....	43
ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION: TRAINING OF STUDENTS OF NON-CORE SPECIALTIES AND DIRECTIONS OF THE BACHELOR'S DEGREES Bugakova Tatyana Yurievna, Smirnov Dmitry Yurievich.....	51
FEATURES OF SCANNING FILMS OF THE 3RD CATEGORY USING DOUBLE-SIDED LAMINATION AND NONLINEAR DIGITAL POST-PROCESSING Blinnikov Alexander Veniaminovich, Kovalev Igor Vladimirovich, Borovinskii Dmitrii Vladimirovich.....	60

FOOD TECHNOLOGY

EVALUATION OF THE COMPLEX EFFECT OF GROWTH CONDITIONS ON THE PRODUCTIVITY OF BAKER'S YEAST BY BIOMASS DURING BATCH CULTIVATION Kuzmin Anton Alekseevich.....	70
DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL SWEETS FOR THE ARCTIC POPULATION Shamilov Shamil Askhabovich, Zavorokhina Natalia Valeryevna, Tarasov Alexey Valeryevich.....	80
INCREASING THE RATE OF FERMENTATION OF BREAD LEAVENS BY INTRODUCING SAUERKRAUT BRINE WITH LACTIC ACID BACTERIA Burakova Lyudmila Nikolaevna, Plotnikov Daniil Aleksandrovich.....	88
STUDYING THE ISSUE OF RATIONAL USE OF STAFF IN SCHOOL CANTENSES OF KEMEROVO Kostina Natalia Gennadiyevna, Kurakin Mikhail Sergeevich, Grigorieva Roza Zavdyatovna.....	96
DEVELOPMENT OF THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF BREAD ENRICHED WITH COMBED HEDGEHOG POWDER AND PUMPKIN AND SUNFLOWER SEEDS Lazarev Vladimir Alexandrovich, Poroshina Darya Denisovna.....	104
APPLICATION OF MICROWAVE TREATMENT OF RAW MATERIALS FOR IMPROVEMENT OF PROCESSING TECHNOLOGY OF LIPID-CONTAINING WASTES OF FISH INDUSTRY Vasileva Zhanna Vyacheslavovna, Petrov Boris Fedorovich, Petrova Victoria Nikolaevna.....	111

TECHNOSPHERE SAFETY

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF A FIRE EXTINGUISHING METHOD USING ACOUSTIC VIBRATIONS

Puzach Sergey Viktorovich, Vitovshchik Evgeny Vladimirovich, Vorobyov Nikolay Sergeevich.....117

ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS OF ORGANIC DYES (ON THE EXAMPLE OF SAFRANIN T) BY BENTONITE SORBENTS

Atamanova Olga Viktorovna, Tikhomirova Elena Ivanovna,
Abramova Alexandra Sergeevna, Koshelev Alexey Vasilievich.....127

DETECTION OF SIGNS CHARACTERIZING OVERCURRENT FLOW IN ALUMINIUM CONDUCTORS BY THE METHOD OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Mokryak Anna Vasilevna.....133

STUDIES OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN IMPACT OF NEGATIVE FACTORS OF INDUSTRIAL AND ECONOMIC ACTIVITY IN THE CITY OF PENZA

Mishina Kristina Dmitrievna, Bezborodova Oksana Evgenievna,
Bodin Oleg Nikolaevich, Kamardina Natalya Vladlenovna.....142

IMPROVEMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF OIL PRODUCTION PROCESSES

Zakharova Elena Anatolyevna, Shirokov Yuri Alexandrovich, Murko Elena Viktorovna.....151

REDUCING THE NUMBER OF DANGEROUS ACTIONS OF EMPLOYEES AS A WAY TO IMPROVE OCCUPATIONAL SAFETY AT ENTERPRISES

Khasanova Valeria Karlovna, Khairullina Liaisan Ismagilovna,
Tuchkova Oksana Anatolievna, Khairullin Ruslan Zufarovich.....161

STUDY OF TECHNICAL FACTORS AFFECTING THE OPERATIONAL SAFETY OF TWO-POST LIFTS

Dmitriev Mikhail Sergeevich, Starunov Aleksandr Vladimirovich,
Rudnev Valery Valentinovich, Khasanova Marina Leonidovna.....170

A SAFE ECOLOGICAL WAY TO DISPOSE OF WASTE SORBENT FOR WATER PURIFICATION

Vurdova Nadejda Georgievna.....179

INDUCE VOLTAGE MONITORING DETECTOR OF SHIELDING SHUNTING PROTECTIVE SUIT Ep-4(0)

Perov Sergey Yurevich, Makarova-Zemlyanskaya Elena Nikolaevna,
Dremin Aleksey Igorevich, Kramarenko Pavel Nikolaevich.....188

COLLOIDAL-CHEMICAL AND FIRE-TECHNICAL PROPERTIES OF CO₂-GAS-FILLED COMPRESSION FOAMS

Bulatov Nail Nazimovich.....194

УДК: 004.932: 519.64

EDN: FQFJOJ

РЕГУЛЯРИЗАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ МАСКИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

© Автор(ы) 2024

ORCID: 0009-0009-8551-8530

ВАСИЛЬЕВ Константин Александрович, аспирант

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина
(390005, город Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: cornholio62@yandex.ru)*

SPIN: 9185-2722

AuthorID: 681633

ORCID: 0000-0002-8166-8234

НОВИКОВ Анатолий Иванович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Высшая математика»

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина
(390005, город Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: novikovanatoly@yandex.ru)*

Аннотация. При передаче информации по открытым каналам связи часто возникает необходимость сокрытия этой информации без использования специальных методов шифрования. В статье рассматривается метод маскирования информации посредством размытия пересылаемого сообщения линейным фильтром с подобранным должным образом ядром преобразования. Незнание ядра преобразования третьими лицами и необходимость применения достаточно сложного математического аппарата для восстановления информации на принимающей стороне создают условия, при которых достигается достаточно надежный уровень сокрытия служебной информации. В работе сначала на примере одномерных сигналов исследуются способы наиболее эффективного размытия, обеспечивающие устойчивое маскирование информации как за счет увеличения ненулевой части ядра преобразования, так и за счет изменения формы ядра. На следующем шаге исследований в работе рассматриваются способы корректного восстановления размытых одномерных сигналов и изображений текстовой информации. Задача восстановления размытого изображения является некорректной обратной задачей. Из известных методов решения обратной задачи в работе реализуется регуляризационный алгоритм, основанный на решении параметрического семейства линейных алгебраических уравнений с треплицевой основной матрицей. В пункте «Результаты» приводится пример размытия текстового сообщения и его восстановления по программе, реализующей разработанный алгоритм.

Ключевые слова: размытие изображения, ядро оператора, стабилизирующий функционал, параметр регуляризации, восстановленное изображение.

REGULARIZATION ALGORITHM FOR RESTORING A BLURRED IMAGE IN THE TASK OF MASKING INFORMATION

© The Author(s) 2024

VASILIEV Konstantin Alexandrovich, post-graduate student

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
(59/1 Gagarin Street, Ryazan, 390005, e-mail: cornholio62@yandex.ru)*

NOVIKOV Anatoly Ivanovich, doctor of technical sciences,

professor of the Department of Higher Mathematics

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
(59/1 Gagarin Street, Ryazan, 390005, e-mail: novikovanatoly@yandex.ru)*

Abstract. When transmitting information over open communication channels, it is often necessary to conceal this information without using special encryption methods. The article discusses the method of masking information by blurring the transmitted message with a linear filter with a properly selected conversion core. Ignorance of the conversion core by third parties and the need to use a sufficiently complex mathematical apparatus to restore information on the receiving side create conditions under which a sufficiently reliable level of concealment of official information is achieved. In the work, first, using the example of one-dimensional signals, the methods of the most effective blurring are investigated, ensuring stable masking of information both by increasing the non-zero part of the transformation core and by changing the shape of the core. At the next step of the research, the paper considers ways to correctly restore blurred one-dimensional signals and images of textual information. The task of restoring a blurred image is an incorrect inverse task. Of the known methods for solving the inverse problem, a regularization algorithm is implemented in the work based on solving a parametric family of linear algebraic equations with a Toeplitz basic matrix. The "Results" section provides an example of blurring a text message and restoring it using a program implementing the developed algorithm.

Keywords: image blurring, operator core, stabilizing functional, regularization parameter, reconstructed image.

Для цитирования: Васильев К.А. Регуляризационный алгоритм восстановления размытого изображения в задаче маскирования информации / К.А. Васильев, А.И. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 8-16. – EDN: FQFJOJ.

Введение. В промышленных системах технического зрения (СТЗ) практически всегда приходится решать задачу подавления дискретного белого шума. Например, в СТЗ летательных аппаратов и робототехнических комплексов есть подсистема предварительной обработки изображения, включающая в себя задачу улучшения изображения [1, 2]. Применяемые для этих целей линейные операторы (фильтры) A работают как свертка ядра (маски) оператора размером $(2k+1) \times (2k+1)$ с фрагментом изображения [1]:

$$AI_{ij} = a * I = \sum_{s=-k}^k \sum_{t=-k}^k \alpha_{st} I_{i+s, j+t} \quad (1)$$

Чем больше размер ядра, тем лучше подавляется шум. Одновременно увеличивается размытие изображения. Проблема размытия изображений в СТЗ промышленного уровня заключается в том, что создаются неблагоприятные условия для решения задач более высокого уровня, в частности задач сегментации и детектирования границ перепада яркостей [1]. Конечно, для фильтрации дискретного белого шума можно использовать нелинейные фильтры, например, билатеральный фильтр или сигма-фильтр и в результате предотвратить размытие изображения, сохранив при этом сглаживающие свойства фильтра [1, 3].

Эффект размытия изображения при применении линейных сглаживающих операторов (1) можно использовать для маскирования информации, содержащейся, например, в текстовом или голосовом сообщении. Для маскирования информации используются различные подходы. Например, в [4] предложено использовать для обеспечения безопасной связи теорию хаотических аттракторов. При этом предложенный метод маскирования доведен до уровня практического применения в виде соответствующего программного комплекса [5]. Использование процедуры маскирования информации с помощью достаточно сложного математического аппарата требует от третьих лиц, пытающихся получить доступ к конфиденциальной информации, привлечения высококвалифицированных математиков и программистов. Необходимые для этого временные и финансовые затраты могут превышать эффект от доступа к скрытой информации. Поэтому маскирование информации с использованием математических методов, предполагающих применение достаточно сложного математического аппарата на принимающей стороне для восстановления информации, имеет перспективы для развития и применения на практике.

Размытия изображения на передающей стороне с целью маскирования информации порождает проблему восстановления размытого изображения на принимающей стороне. Восстановление размытого

изображения, как уже отмечалось, должно быть максимально затруднено для третьих лиц и обеспечивать корректное восстановление с минимальными вычислительными затратами на принимающей стороне. Этого можно добиться за счет выбора формы и размера ядра размытия. Некорректность обратной задачи создает дополнительные преграды на пути несанкционированного доступа к передаваемой информации. Для решения обратной задачи восстановления нужны специальные математические методы и соответствующее программное обеспечение. Размытие как способ маскирования информации, передаваемой по незащищенным каналам связи, можно использовать для передачи служебной информации, содержащей конфиденциальные сведения.

Методология. Процесс формирования сигнала с неидеальной аппаратной функцией описывается интегральным уравнением Фредгольма 1-го рода [6-8]:

$$\int_a^b K(x, s) \cdot \varphi(s) ds = f(x), \quad a \leq x, s \leq b \quad (2)$$

$$\int_a^b \int_c^d K(x, y, t, s) \cdot \varphi(t, s) dt ds = f(x, y), \quad x, y \in [a, b] \times [c, d] \quad (3)$$

— для двумерного (изображения). В (2) и (3) $K(x, s)$, $K(x, y, t, s)$ — ядра интегрального уравнения (аппаратная функция прибора); $f(x)$, $f(x, y)$ — наблюдаемые сигналы (изображения); $\varphi(s)$, $\varphi(t, s)$ — истинные сигналы, которые должны быть найдены в результате решения уравнений (2) и (3). Подобные задачи возникают в спектроскопии, радиолокации и при формировании изображения со смещенным фокусом [8-11].

Идеальная аппаратная функция прибора — это дельта-функция. В реальных приборах такая функция, как правило, имеет вид кривой задаваемой функцией $K(x, s) = q \cdot \exp(-(r_1(x-s)^2 + r_2(y-t)^2))$ — в одномерном случае и

$$K(x, y, t, s) = q \cdot \exp(-(r_1(x-s)^2 + r_2(y-t)^2)) \quad (4)$$

— в двумерном. Здесь q , r_1 , r_2 — некоторые константы, определяющие «амплитуду» и островершинность колоколообразной поверхности, задаваемой функцией (4). Функция (4) может быть переписана в виде:

$$K(x, y, t, s) = K_1(x, s) \cdot K_2(y, t).$$

Такая особенность функции вида (4) позволяет размыть изображение I сначала по строкам с ядром $K_1(x, s)$, получив в результате этого шага изображение $I_1 = K_1 \times I$. Затем полученное изображение I_1 размыть по столбцам с ядром $K_2(y, t)$: $I_2 = K_2 \times I_1$.

Восстановление изображения, размытого с использованием ядра вида (4) также можно осуществить в два этапа. Сначала восстановить промежуточное изображение $\hat{I}_1 = A^{-1} I_2$, а после этого исходное изображение: $\hat{I} = A^{-1} \hat{I}_1$. Проблема, возникающая при восстановлении сигнала в реальных системах, заключается в том, что правая часть уравнения (2) или (3) — функция f — известна неточно. Вместо нее наблюдается функция $\tilde{f}_\delta = f + \xi$ такая, что $\|\tilde{f}_\delta - f\|_2 \leq \delta$. При этом, как известно [6], даже малые изменения функции

могут приводить к большим изменениям результата решения уравнения (2) или (3). Поэтому прямое применение обратного оператора A^{-1} для нахождения решения задачи невозможно. Общепринятый подход к поиску квазиоптимального решения заключается в замене исходной некорректной задачи задачей условной минимизации [6]:

$$\begin{cases} J(y, f_\delta, \alpha) \rightarrow \min \\ \left\| A y^{(\alpha_{opt})} - \tilde{f}_\delta \right\|^2 = \delta, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$J(y, f_\delta, \alpha) = \|A y - \tilde{f}_\delta\|^2 + \alpha \cdot \Omega[y], \quad \Omega[y] = \int_a^b ((\varphi(s))^2 + q(\varphi'(s))^2) ds.$$

Параметр q в составе стабилизирующего функционала $\Omega[y]$ определяет требования к степени гладкости получаемого решения. Если $q=1$, то $\Omega[y] = \|y\|_{W_2^1[a,b]}$, если же $q=0$, то $\Omega[y] = \|y\|_{L_2[a,b]} = \int_a^b ((\varphi(s))^2) ds$.

Параметр α в составе сглаживающего функционала $J(y, f_\delta, \alpha)$ является параметром регуляризации.

Квазиоптимальное решение $\varphi(x)$ в одномерном случае, или $\varphi(x, y)$ в двумерном, ищется как решение интегро-дифференциального уравнения Эйлера

$$(K^*K + \alpha W) \cdot \varphi = K^*f, \quad (6)$$

$$\text{где } K^*K\varphi = \int_a^b \int_c^d K(x, s) K(s, t) dx dt \cdot w\varphi = \left(\varphi(s) - q \frac{d^2 \varphi(s)}{ds^2} \right)$$

Отметим, что $W\varphi = \varphi$ в метрике пространства $L_2[a, b]$. На дискретной сетке уравнению Эйлера (6) будет отвечать система линейных алгебраических уравнений

$$(R^T R + \alpha W) \cdot \Phi = R^T F, \quad (7)$$

в составе которой матрица R имеет следующий вид:

$$R = \begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_k & 0 & \dots & 0 & 0 \\ r_1 & r_0 & r_1 & \dots & r_{k-1} & r_k & \dots & 0 & 0 \\ r_2 & r_1 & r_0 & \dots & r_{k-2} & r_{k-1} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_k & r_{k-1} & r_{k-2} & \dots & r_0 & r_1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & r_k & r_{k-1} & \dots & r_1 & r_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & r_0 & r_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & r_1 & r_0 \end{pmatrix},$$

Матрица R порождена вектор-строкой $(r_k, r_{k-p}, \dots, r_p, r_0, r_p, \dots, r_{k-p}, r_k)$. Каждая следующая строка этой матрицы получается в результате циклического сдвига на одну позицию элементов предыдущей строки. При этом матрица W в (7) будет совпадать с единичной матрицей в случае поиска решения уравнения Эйлера в метрике пространства $L_2[a, b]$. Введем обозначения $B = R^T R + \alpha E$, $V = R^T F$. В результате система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (7) примет следующий вид:

$$B \cdot \Phi = V. \quad (8)$$

Матрица B данной СЛАУ является симметричной, положительно определенной и. теплицевой [12]. Значит, для решения СЛАУ (8) можно использовать устойчивые к вычислительным ошибкам, что важно для некорректных задач, и более быстрые алгоритмы. Это либо метод квадратного корня [13, 14], либо метод решения СЛАУ с теплицевой основной матрицей [12].

Приведем в кратком изложении алгоритм решения некоторой СЛАУ $AZ=B$ с теплицевой основной матрицей A , изложенный в [12]. Пусть

$$A = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} \\ a_1 & a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & a_0 \end{pmatrix}, \quad Z = \begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_{n-1} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_{n-1} \end{pmatrix}.$$

A – заданная теплицева матрица, B – заданный вектор-столбец правой части,

Z – подлежащий определению вектор-столбец неизвестных.

$$k=0: \quad x_0^{(1)} = \frac{1}{p_0 a_0}, \quad z_0^{(1)} = \frac{b_0}{a_0};$$

Здесь p_0 – произвольное ненулевое число. Можно принять $p_0=1$. Здесь и далее $x_0^{(k)}$ – элементы вспомогательного вектора.

$$k=1, n-1:$$

$$F_k = a_k x_0^{(k-1)} + a_{k-1} x_1^{(k-1)} + \dots + a_1 x_{k-1}^{(k-1)},$$

$$s_k = -F_k p_{k-1}$$

$$p_k = \frac{p_{k-1}}{1-s_k^2}$$

$$\begin{pmatrix} x_0^{(k)} \\ x_1^{(k)} \\ \dots \\ x_{k-1}^{(k)} \\ x_k^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0^{(k-1)} \\ x_1^{(k-1)} \\ \dots \\ x_{k-1}^{(k-1)} \\ 0 \end{pmatrix} + s_k \begin{pmatrix} 0 \\ x_{k-1}^{(k-1)} \\ \dots \\ x_1^{(k-1)} \\ x_0^{(k-1)} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_k = b_k - a_k z_0^{(k-1)} - a_{k-1} z_1^{(k-1)} - \dots - a_1 z_{k-1}^{(k-1)},$$

$$w_k = \varepsilon_k p_k$$

$$\begin{pmatrix} z_0^{(k)} \\ z_1^{(k)} \\ \dots \\ z_{k-1}^{(k)} \\ z_k^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_0^{(k-1)} \\ z_1^{(k-1)} \\ \dots \\ z_{k-1}^{(k-1)} \\ 0 \end{pmatrix} + w_k \begin{pmatrix} x_k^{(k)} \\ x_{k-1}^{(k)} \\ \dots \\ x_1^{(k)} \\ x_0^{(k)} \end{pmatrix} \quad \text{— на последнем } n\text{-м шаге.}$$

шаге.

В настоящей работе реализован поиск оптимального решения СЛАУ (8) в метрике пространства $L_2[a, b]$ с теплицевой основной матрицей B по следующему алгоритму [7]:

– задается монотонно убывающая последовательность $1, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots$ значений параметра регуляризации α ;

– для каждого значения параметра регуляризации α_k формируется и решается СЛАУ (8). В результате получается параметрическое семейство решений $Y_i = Y(\alpha_i), i = 1, 2, \dots$;

– начиная со второго шага (со второй СЛАУ) вычисляется уклонение $\delta_i = \|Y_i - Y_{i-1}\|_2$ в евклидовой метрике текущего вектора Y_i от предыдущего Y_{i-1} ;

– начиная с четвертого шага проверяется выполнение неравенств $\begin{cases} \delta_i < \delta_{i-1}. \\ \delta_i < \delta_{i+1} \end{cases}$.

Если для некоторого i_0 (для некоторого α_{i_0}) эти неравенства выполняются, то производится уточнение оптимального значения параметра регуляризации и отвечающего ему квазиоптимального решения $Y_{opt} = Y(\alpha_{opt})$ на более мелкой сетке в окрестности точки α_{i_0} .

Для формирования ядра размывающего оператора

использовалась порождающая функция вида:

$$K(x, s) = \lambda \exp\left(-\frac{(x-s)^2}{\sigma^2}\right), \quad (10)$$

где $\lambda=0.8$, s – центр ядра, σ – параметр, от которого зависит длина ненулевой части ядра. Функция (9) определена на всей числовой оси, но при этом $K(x, s) \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$. Поэтому «хвосты» функции $K(x, s)$ обрезаются.

В результате получается вектор-строка $(r_k', r_{k-1}', \dots, r_p', r_{p-1}', \dots, r_{k-l}', r_k')$ конечной длины $(2k+1)$. Подбор параметров в формуле (9), обеспечивающих формирование вектор-строки такой длины достигается условиями $r_k' = 10^{-6}$, $\sum_{i=k}^k r_i' = 1$.

В итоге, разностное ядро, например длины $2k+1=101$, имеет следующий вид (рис. 1).

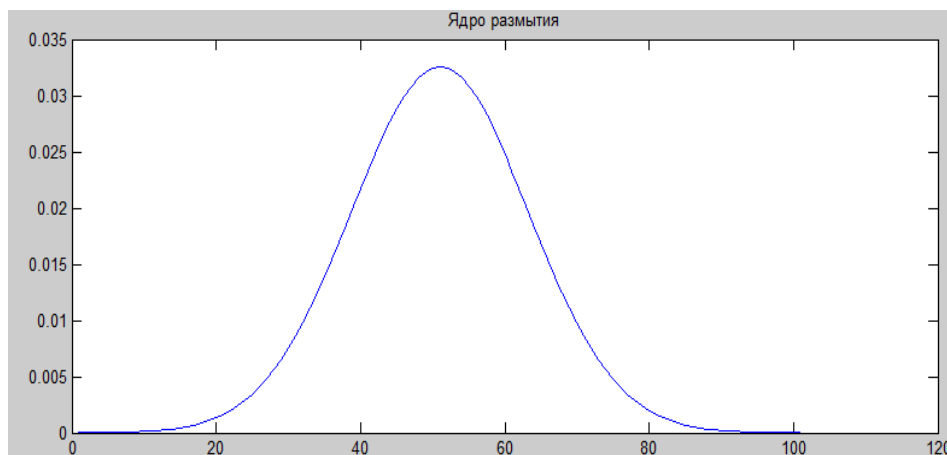


Рисунок 1 – Ядро размытия длины 101

Результаты. Размытие и восстановление одномерного сигнала. Чтобы оценить работу вышеописанного алгоритма по размытию и восстановлению изображения, для начала возьмем лишь одну его цветовую составляющую, которая по сути своей является строкой пикселей с разными яркостными характеристиками (рис. 2).

Далее размоем его ядрами различной длины. Начиная с длины ядра равной 15, пики на сигнале начинают сглаживаться, при длине 31 они полностью пропадают (рис. 3).

Однако, даже при полностью пропавших пиках на сигнале, его можно восстановить, зная ядро. Для восстановления сигнала, используем алгоритм описанный выше. Составим матрицу R и решим СЛАУ $B \cdot \Phi = V$ с помощью теплицевой матрицы, принимая во внимание следующие значения па-

раметра регуляризации α : $[1, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots, 10^{-10}]$. В результате получим параметрическое семейство решений $Y_i = Y(\alpha_i)$ (рис. 4).

Квазиоптимальное решение достигается при $\alpha=10^{-10}$ (рис. 5б).

Если посчитать среднее квадратичное отклонение $\delta_i = \|Y_i - Y_{i-1}\|$, то как видно из (рис. 6), семейство оптимальных значений начинается с пятого значения $\alpha=10^{-3}$.

При большой длине ядра, например уже с длины равной 41 в восстановленном сигнале наблюдается неточности (рис. 7б).

Теперь размоем сигнал ядром более сложной формы (рис. 8).

Как видно из (рис. 9), более сложная форма ядра сильнее размывает исходный сигнал при меньшей длине ядра.

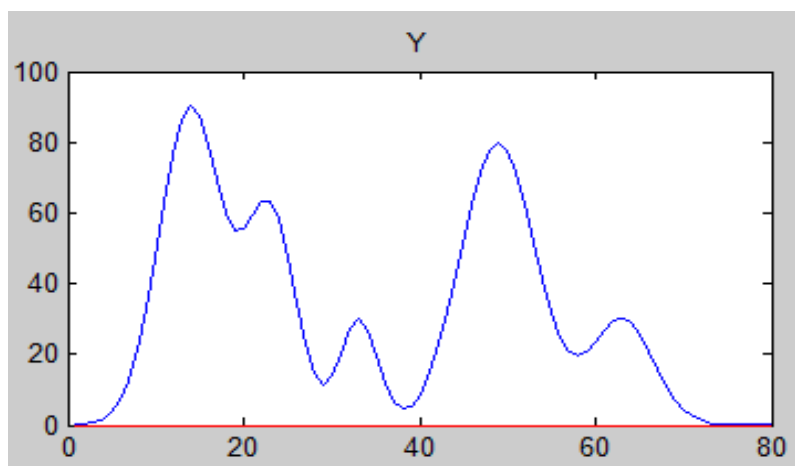


Рисунок 2 – Исходный одномерный сигнал

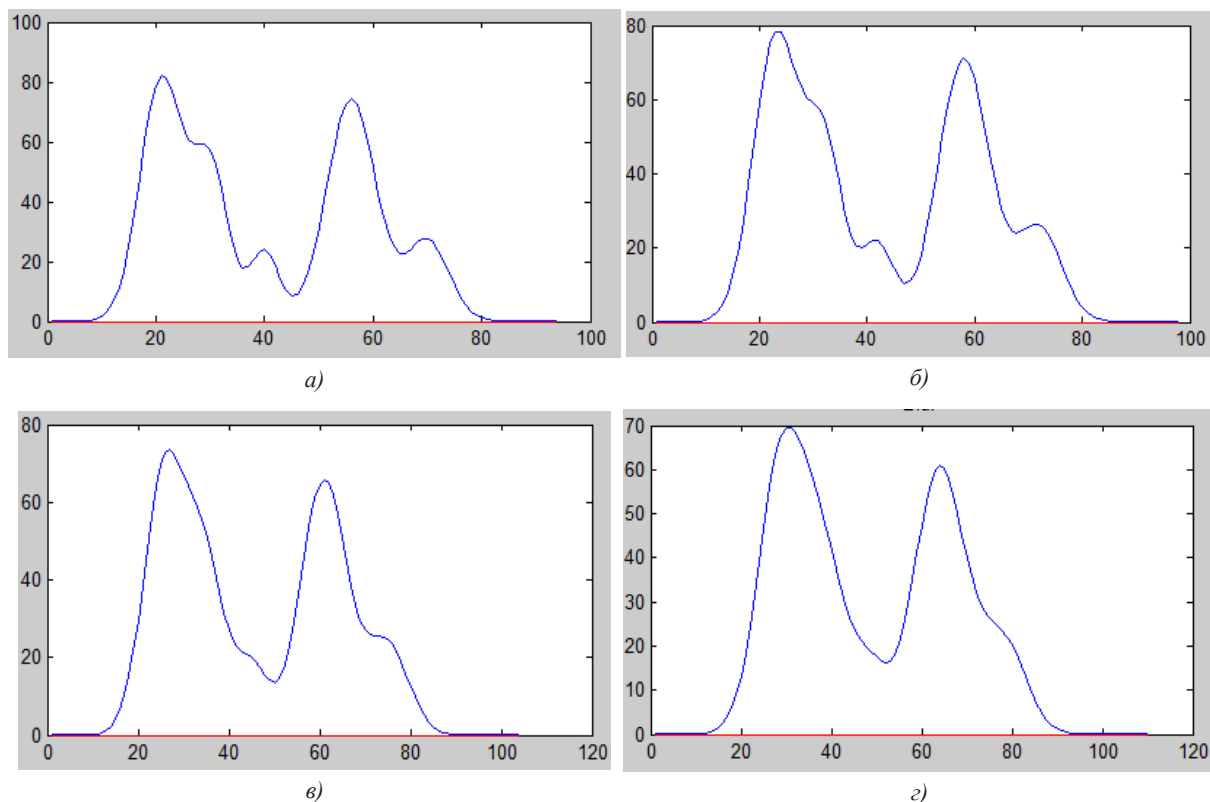


Рисунок 3 – Исходный сигнал размытый ядром: длиной 15 (а), длиной 19 (б), длиной 25 (в), длиной 31 (г)

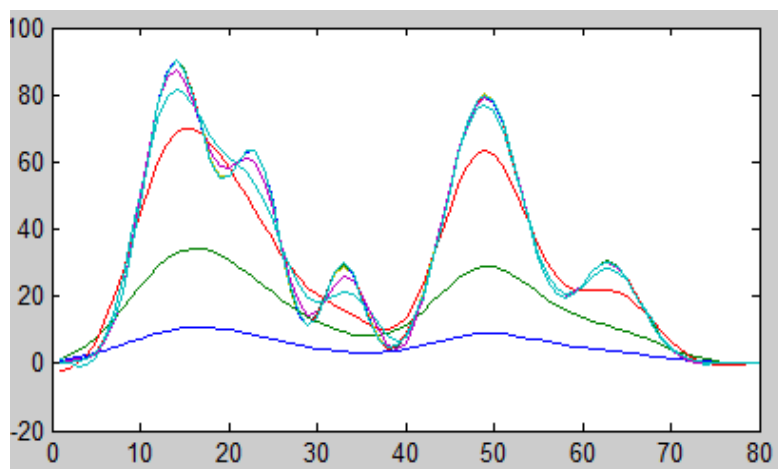


Рисунок 4 – Восстановленный сигнал, при различных значениях α

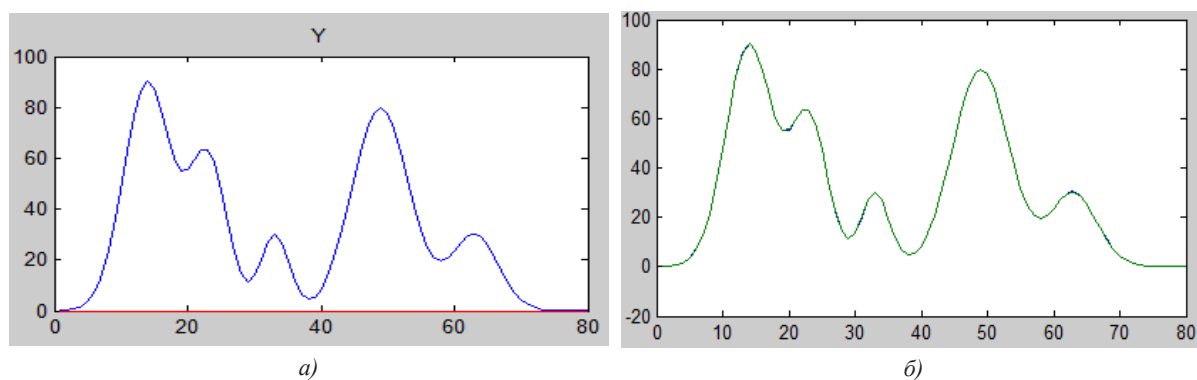


Рисунок 5 – Исходный сигнал (а), Восстановленный сигнал, при $\alpha=10^{-10}$ (б)

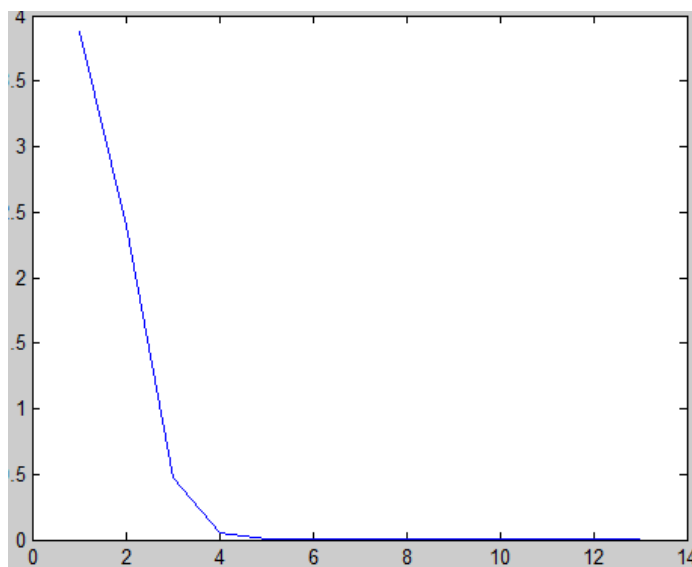
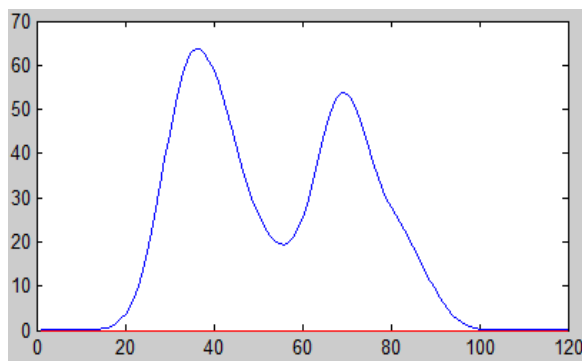
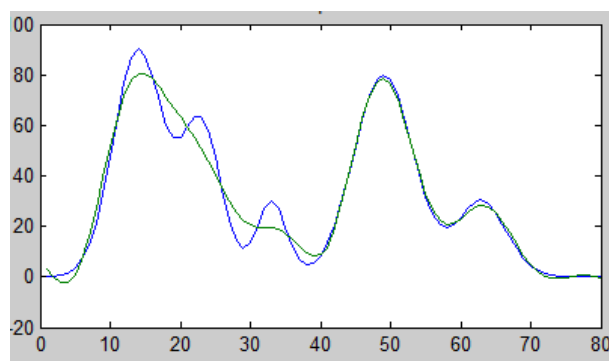


Рисунок 6 – Поиск оптимального решения



а)



б)

Рисунок 7 – Исходный размытый сигнал при ядре 41 (а), Восстановленный сигнал -зеленая линия, исходный сигнал – синяя линия(б)

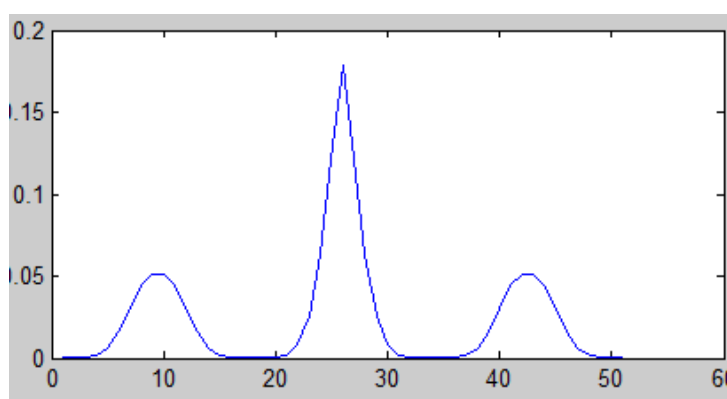


Рисунок 8 – Ядро размытия сложной формы, длиной 51

Размытие и восстановление изображения текста. Теперь применим алгоритм размытия и восстановления к изображению текста. На рисунке 10а и 10б приведены соответственно исходное текстовое изображение и результат его размытия при указанных выше размерах вектор-строки $(r_k, r_{k-p}, \dots, r_p, r_0, r_p, \dots, r_{k-p}, r_k)$, порождающей ядро размытия R .

После проведения размытия по краям изоб-

ражения появились черные полосы. Для исключения таких полос выполнялись дополнительные построения. К исходному изображению слева и справа добавлялось по k столбцов пикселей. Для получения дополнительных столбцов пикселей слева отображались зеркально первые k столбцов матрицы исходного изображения. Для получения дополнительных столбцов пикселей справа

отображались зеркально последние k столбцов матрицы исходного изображения. В результате размер матрицы I увеличивался на $2k$ столбцов: $\dim(I_{ij}) = M \times (N + 2k)$, где M – высота изображения, а N – ширина. После размытия такого изображения черные полосы остаются, но они приходятся на дополнительные пиксели. После отбрасывания дополнительных пикселей, получаем корректное размытие (рис. 11).

Теперь восстановим размытое изображение текста, приведенное на рисунке 10а. Аналогично восстановлению исходного одномерного сигнала, проведем восстановление размытого изображения, используя следующие значения параметра регуляризации α : $[1, 10^{-1}, 10^{-2}, \dots, 10^{-10}]$. Наиболее близким к исходному изображению оказалось восстановленное изображение при значении параметра регуляризации $\alpha = 10^{-5}$ (рис. 12).

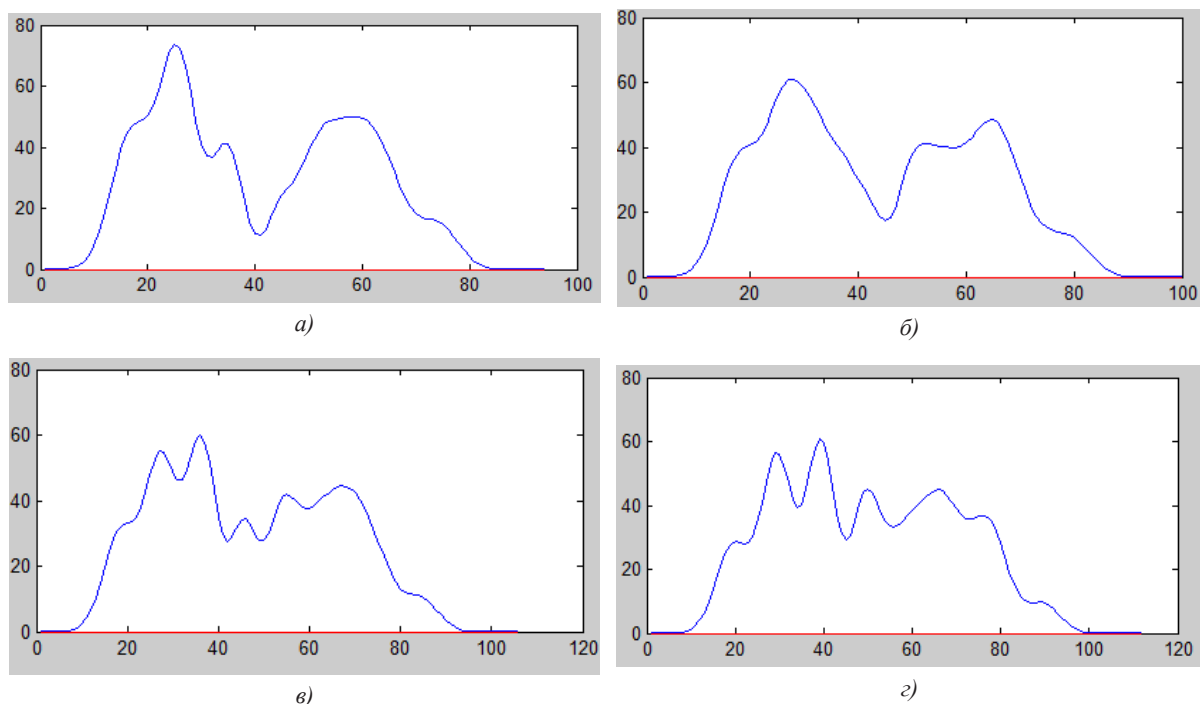


Рисунок 9 – Исходный сигнал размытый ядром: длиной 15 (а), длиной 21 (б), длиной 27 (в), длиной 33 (г)

Матрица $\mathbf{R}$ порождена вектор-строкой $(r_k, r_{k-1}, \dots, r_1, r_0, \dots, r_{k-1}, r_k)$. Каждая следующая строка этой матрицы получается в результате циклического сдвига на одну позицию элементов предыдущей строки. При этом матрица $\mathbf{W}$ в (7) будет совпадать с единичной матрицей в случае поиска решения уравнения Эйлера в метрике пространства $L_2[a, b]$. Введем обозначения $\mathbf{B} = \mathbf{R}^T \mathbf{R} + \alpha \mathbf{E}$, $\mathbf{V} = \mathbf{R}^T \mathbf{F}$. В результате система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (7) примет следующий вид

$$\mathbf{B} \cdot \Phi = \mathbf{V}. \quad (8)$$

Матрица $\mathbf{B}$ данной СЛАУ является симметричной, положительно определенной и теплоцевой [12].

а)



б)

Рисунок 10 – Исходное изображение текста (а) и результат его размытия (б)



Рисунок 11 – Размытое изображение с отброшенными дополнительными пикселями

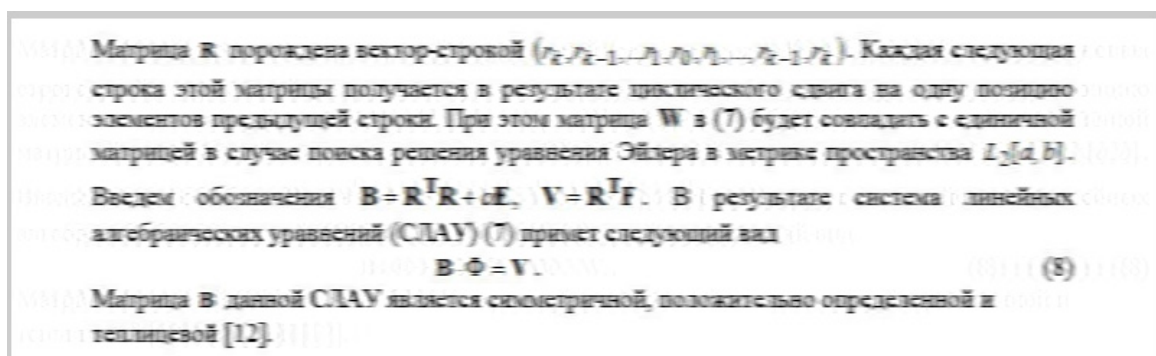


Рисунок 12 – Восстановленное изображение при $\alpha=10^{-5}$

Нужно отметить, что восстановленный текст сообщения сохранил в определенной степени визуально воспринимаемую размытость. Однако он читаем и, что самое главное, маскированный текст (рис. 10, б) исключает возможность его восстановления без знания особенностей ядра преобразования и метода восстановления изображения.

Обсуждение. Задачи восстановления сигналов, описываемых математическими моделями в виде некорректных задач возникают в различных областях науки и практики: в радиолокации [16], в спектрометрии и рентгеновской томографии [15, 17, 19], в оптике [8] и др. Применение процедуры размытия изображения линейными фильтрами со специально подобранными масками для маскирования информации и восстановление информации на принимающей стороне является новым направлением использования теории обратных задач.

Альтернативные методы, например, в виде решений системы дифференциальных уравнений 2-D полосой скрытых аттракторов [4, 5], также обеспечивают эффективное сокрытие информации, передаваемой по открытым каналам связи. Наличие еще одного способа маскирования расширяет спектр методов, обеспечивающих решение задачи сокрытия информации.

Представленный выше алгоритм показал свою эффективность в восстановлении размытых одномерных сигналов и изображений. Даже при высокой степени размытия получается восстановить

и разобрать исходные данные. С помощью параметра регуляризации можно автоматизировать процесс восстановления и подбирать оптимальное решение.

Выводы. Обоснована возможность использования операторов размытия изображения для маскирования служебной информации. Описан алгоритм размытия восстановления информации. Приведены экспериментальные примеры размытия одномерных сигналов и текстовых изображений.

Дальнейшие исследования будут направлены на более тщательную экспериментальную проверку возможностей описанного алгоритма, а также на разработку новых алгоритмов восстановления размытых изображений с меньшими вычислительными затратами. В частности, это итерационный алгоритм восстановления [20] и метод восстановления размытых изображений с помощью фильтра Винера [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новиков А.И., Пронькин А.В. Методы цифровой обработки изображений подстилающей поверхности. М.: Горячая линия-Телеком. – 2023. – 224 с.
2. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. Под. ред. А.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Физматлит. – 2016. – 238 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера. 2006. – 616 с.
4. Кузнецова О.И. Применение мегастабильной системы с 2-D полосой скрытых аттракторов для обеспечения безопасной связи // Чебышевский сборник. – 2023. – Т. 24. – Вып. 1. – С. 89-103. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-1-89-103.
5. Кузнецова О.И. Программа для шифрования ин-

формации с использованием мегастабильной системы с 2-D полосой скрытых аттракторов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022666310, 30.08.22.

6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

7. Новиков А.И., Шамин Н.О. Исследование регуляризационного метода восстановления размытых изображений // Вестник РГРТУ, № 72. С. 106-115.

8. Гончарский А.В. Обратные задачи оптики // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 1986. №3. – С. 59-76.

9. Борисов В.В., Новиков А.И., Чураков Е.П. Применение факторного анализа для исследования послойных спектров // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. №1. – С. 80-83.

10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Тимонов А.А. Математические задачи компьютерной томографии. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

11. Майорова В.И., Банников А.М., Зайцев К.И. Математическое моделирование процесса радиометрической коррекции снимков дистанционного зондирования Земли // Инженерный журнал: наука и инновации. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 20 с.

12. Воеводин В.В., Тыртышников Е.Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

13. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1966. – 664 с.

14. Икрамов Х.Д. Численные методы для симметричных линейных систем. – М.: Наука, 1988. – 160 с.

15. Ильин М.Е., Новиков А.И., Фатьянов С.О., Чураков Е.П. Математическое обеспечение задач интерпретации результатов косвенных измерений // Электронное моделирование. – 1991. – Т. 13. – №2. – С. 25-27.

16. Клочко В.К. Математические методы восстановления и обработки изображений в радиотеплооптоэлектронных системах. – Рязань, РГРТУ. 2009. – 228 с.

17. Сизиков В.С., Довгань А.Н., Лавров А.В., Манойлов В.В. Устойчивые методы математико-компьютерной обработки изображений и спектров. – Санкт-Петербург, ИТМО. 2022. – 70 с.

18. Сизиков В.С., Степанов А.В., Меженин А.В. Определение параметров искажений изображений спектральным способом в задаче обработки снимков поверхности Земли, полученных со спутников и самолетов // Оптический журнал. – 2018. – Т. 85. – № 4. – С. 19-27.

19. Сизиков В.С. Прямые и обратные задачи восстановления изображений, спектроскопии и томографии с MATLAB+CD. – Санкт-Петербург. – 2021. – 419 с.

20. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Некорректные задачи. Численные методы и приложения. – М.: Издательство Моск. ун-та, 1989. – 199 с.

Статья поступила в редакцию 10.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.8

EDN: MRSTCC

КОНЦЕПЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА УЯЗВИМОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

© Автор(ы) 2024

SPIN: 3370-6802

AuthorID: 1245475

ORCID: 0009-0000-9099-830X

НИКУЛИН Дмитрий Сергеевич, аспирант

Пензенский государственный технологический университет

(440045, Россия, Пенза, улица Ладозжская, дом 128, e-mail: nikulin1997.05@mail.ru)

Аннотация. Обеспечение соответствующего уровню важности хранимой и обрабатываемой информации уровня ее защищенности является одной из наиболее важных проблем как государственных, так и частных организаций. Для обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем актуально создание и использование программных средств для выявления уязвимостей и угроз, способных стать причиной несанкционированного доступа к данным и возможных действий, направленных на уничтожение данных или нарушение нормального функционирования системы. Применение таких средств обеспечивает возможность определения уязвимостей в информационной системе, предупреждение возможных угроз, снижение вероятности их воздействия на систему и уровня рисков, связанных с наличием уязвимостей. Перспективным методом решения данной задачи является применение искусственных нейронных сетей, позволяющих ускорить анализ уязвимостей и повысить его точность. В статье дается расширенное толкование термина «уязвимость», представлено ранжирование уязвимостей с учетом соответствующих нормативных документов, рассматривается архитектура и примеры применения нейронных сетей для обнаружения уязвимостей автоматизированных систем. Рассмотрены разные подходы к решению данной задачи, приведены их достоинства и недостатки. На основе сравнительного анализа существующих подходов обоснованы перспективные концепции развития данной технологии, способные стать базовым инструментарием дальнейших разработок.

Ключевые слова: автоматизированная система, информация, безопасность, нейронная сеть, анализ, уязвимость, программное обеспечение, аппаратное обеспечение, обработка данных, структура.

CONCEPTS OF USING NEURAL NETWORKS FOR VULNERABILITY ANALYSIS AUTOMATED SYSTEMS

© The Author(s) 2024

NIKULIN Dmitry Sergeevich, post-graduate student

Penza State Technological University

(440045, Russia, Penza, Ladozhskaya Street, 128, e-mail: nikulin1997.05@mail.ru)

Abstract. Ensuring the level of security appropriate to the level of importance of stored and processed information is one of the most important problems for both public and private organizations. To ensure the information security of automated systems, it is important to create and use software tools to identify vulnerabilities and threats that can cause unauthorized access to data and possible actions aimed at destroying data or disrupting the normal functioning of the system. The use of such tools makes it possible to identify vulnerabilities in the information system, prevent possible threats, reduce the likelihood of their impact on the system and the level of risks associated with the presence of vulnerabilities. A promising method for solving this problem is the use of artificial neural networks, which make it possible to speed up vulnerability analysis and increase its accuracy. The article provides an expanded interpretation of the term "vulnerability", presents a ranking of vulnerabilities taking into account relevant regulatory documents, examines the architecture and examples of the use of neural networks to detect vulnerabilities in automated systems. Different approaches to solving this problem are considered, their advantages and disadvantages are given. Based on a comparative analysis of existing approaches, promising concepts for the development of this technology are substantiated, which can become the basic tools for further development.

Keywords: automated system, information, security, neural network, analysis, vulnerability, software, hardware, data processing, structure.

Для цитирования: Никулин Д.С. Концепции применения нейронных сетей для анализа уязвимостей автоматизированных систем / Д.С. Никулин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 17-25. – EDN: MRSTCC.

Введение. Одной из наиболее актуальных проблем современных автоматизированных информационных сетей и систем является обеспечение соответствующего уровня информационной безо-

пасности. Количество угроз в данной области возрастает со временем в геометрической прогрессии. Компания «F.A.C.C.T.» предоставила пользователям [1] ежегодный отчет информационных

атак на компании РФ за 2023-2024 годы, в котором отмечается рост следующих типов атак:

- политически мотивированные преступления;
- атаки с применением программ-шифровальщиков;
- рассылки сообщений с вредоносным кодом;
- увеличение числа закрытых форумов злоумышленников.

Злоумышленники осваивают и используют наиболее эффективные с точки зрения быстрого действия и обхода защитных систем программные средства взлома и нарушения целостности автоматизированных информационных систем компаний и организаций. Данные средства часто используют нейронные сети и машинное обучение. Более того, в условиях современного информационного общества так называемые «хакеры» уже не являются отдельными лицами, занимающимися информационными преступлениями из хулиганских побуждений, но представляют собой сплоченные группы разработчиков вредоносного программного обеспечения (ПО) с четко поставленными целями и задачами. Они используют для связи между собой и обмена инновационными разработками специализированные форумы, доступ к которым можно получить только по приглашению доверенного лица [2].

Обеспечение надлежащего уровня информационной безопасности является важным аспектом деятельности любой организации, в особенности, если в ее информационной системе обрабатывается конфиденциальная информация, в частности, персональные данные отдельных лиц, а также присутствуют сведения, представляющие коммерческую или государственную тайну. Анализ уязвимостей и потенциальных угроз информационной безопасности – важный аспект политики безопасности автоматизированных систем и локальных сетей, направленный на выявление их уязвимых мест и предотвращение реализации потенциальных угроз. Далеко не все угрозы оказывают вредоносное воздействие на систему немедленно – существует, например, целый подкласс троянских программ, которые никак не проявляют своего присутствия в системе, либо маскируются, передавая данные злоумышленнику. Ущерб от воздействия таких программ может оказаться больше, чем от непосредственно прямого вмешательства в функционирование системы, например, DDoS атаки. Развитие нейронных сетей в последние годы привело к разработке технологии их применения в целях обеспечения информационной безопасности. Портал «Securelist», публикующий отчеты деятельности компании «Лаборатория Касперского», отмечает [3], что нейронные технологии активно применяются при анализе уязвимостей систем и разработке инструментов «пентестинга» – тестирования на возможность проникновения в систему.

Из вышесказанного следует, что в сфере инфор-

мационной безопасности актуально оценивание эффективности нейронных сетей для анализа уязвимостей автоматизированных информационных систем и определение перспективных направлений исследований в данной области.

Для достижения поставленной цели решаются задачи:

- определение понятия «уязвимость», анализ руководящих документов и методов ранжирования уязвимостей;
- уточнение понятия «нейронная сеть», ее структуры и особенностей проектирования, нацеленных на применение в указанной области;
- обоснование концепции технологий применения нейронных сетей для анализа уязвимостей автоматизированных систем;
- определение направлений дальнейших исследований.

Для решения поставленных задач проведен анализ публикаций по данной проблематике, выделены источники статистических данных из онлайн-ресурсов крупных корпораций, известных исследованиями в соответствующей области, и имеющих необходимые сертификаты подтверждения легитимности деятельности. При этом использованы действующие государственные стандарты, регламентирующие терминологию и мероприятия в данной области, отдельные учебные пособия, публикации ведущих отечественных и зарубежных ученых с ретроспективой в пределах 5 лет.

Методология. 1.1 Основные виды угроз и уязвимостей автоматизированных систем. В настоящее время многие компании государственного и коммерческого сектора занимаются аутсорсингом, консалтингом и аудитом безопасности своих автоматизированных систем. Необходимо различать данные понятия. Аутсорсинг – передача части задач, стоящих перед организацией третьим лицам, предоставляющим данные услуги, например, перевод части информационных активов с наименьшими рисками в облачные хранилища данных внешнего провайдера. Кроме того, фирмы по аутсорсингу могут оказывать услуги и в сфере информационной безопасности (ИБ), осуществляя анализ и защиту от угроз силами нанятых специалистов. Консалтинг ИБ в свою очередь, представляет совокупность услуг по анализу состояния ИБ системы организации и ее оценку соответствия правовым актам Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК), либо Федеральной службы безопасности (ФСБ). Аудит информационной безопасности – это всесторонний анализ системы, позволяющий оценить уровень ее защищенности и спланировать мероприятия информационной безопасности данной организации. Регламентируется аудит в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2021 [4].

Для дальнейших исследований необходимо обозначить различие между уязвимостью и угрозой. Термины «угроза информационной безопасности»

и «уязвимость информационной безопасности» регламентируются ГОСТом Р 53114-2008 «Защита информации». В соответствии с данным документом «угрозой» является «совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации» [5]. Уязвимость (в некоторых интерпретациях – «брешь») – «свойство информационной системы, обуславливающее возможность реализации угроз безопасности, обрабатываемой в ней информации» [5]. Риск согласно ГОСТ Р 57580.3-2022 [6] – это «возможность реализации информационных угроз (в совокупности с последствиями от их реализации), которые обусловлены недостатками процессов обеспечения операционной надежности и защиты информации...».

Из анализа этих понятий следует, что уязвимости могут приводить к возникновению (гипотетической или практической) угроз информационной безопасности. Практический пример уязвимости – незащищенный канал связи, к которому может подключиться злоумышленник. Возможное подключение к данному каналу связи – угроза. Вероятность осуществления данного подключения и величина возможного ущерба – риск.

Наглядно взаимосвязь данных понятий демонстрирует модель эффективных механизмов оценки рисков Клементса-Хоффмана [7].

Для классификации уязвимостей уместно проанализировать основные понятия, относящиеся к данной сфере.

Автоматизированной системой (АС) является «система, состоящая из комплекса средств автоматизации, реализующего информационную технологию выполнения установленных функций, и персонала, обеспечивающего его функционирование» [8]. Наиболее часто упоминаемым типом АС является автоматизированная информационная система (АИС) – системы с управлением оператором, предназначенные для поиска, сбора, накопления, хранения, передачи, обработки информации с использованием вычислительной техники, компьютерных информационных сетей, средств и каналов связи.

Различные специалисты классифицируют уязвимости АС по-разному, наиболее популярными системными классификаторами уязвимостей являются OWASP Top 10, CVE, CAPEC, а также классификация основных уязвимостей информационных систем персональных данных (ИСПД) [9]. Для классификации угроз в РФ представляется целесообразным использовать последний из приведенных выше стандартов, так как он разработан ФСТЭК РФ и обладает необходимыми лицензиями для применения в отечественных компаниях. Виды уязвимостей зависят от:

– типа АС [10] (автоматизированные системы управления (АСУ), автоматизированные информационно-справочные системы (АИСС), системы

поддержки принятия решения (СППР) и т.д.);

– уровня важности данных (ФСТЭК РФ разделяет 9 уровней защищенности от несанкционированного доступа к информации, каждый класс характеризуется определенной минимальной совокупностью требований по защите [11]);

– методов организации хранения данных (в каком виде хранятся данные, какие файловые системы используются, применяются ли аутсорсинг облачных хранилищ, узлы хранения данных являются распределенными или централизованными [12]);

– типа каналов связи (витая пара, беспроводное соединение, оптоволоконный кабель);

– сознательности сотрудников и проведения мероприятий по разъяснению важности соблюдения контроля требований информационной безопасности;

– организации информационной защиты (технические и программные средства защиты – межсетевые экраны, антивирусы, проверка подлинности, разграничение прав доступа).

Виды уязвимостей регламентирует документ ГОСТ Р 56546-2015 "Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем" [9]. Согласно данному документу, уязвимости возникают по следующим причинам:

– ошибки проектирования, внедрения и эксплуатации программных и аппаратных средств;

– преднамеренная организация уязвимостей в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации программных и аппаратных средств;

– неправильные настройки программ и оборудования, ошибки в эксплуатации;

– установка неучтенного ПО;

– внедрение вредоносного ПО, непреднамеренные действия пользователей, повлекшие за собой возникновение уязвимостей;

– сбои в работе системы, вызванные стихийными факторами.

Основными инструментами для определения уязвимостей различных технологических систем служат системы мониторинга данных безопасности (SIEM), сетевые мониторы анализа трафика в реальном времени, платформы ответа на инциденты и оценки угроз (TIP), отдельные сканеры состояния систем [13].

1.2. Архитектура нейронной сети. Рассмотрим структуру нейронной сети, пригодной для ее применения в данной области. Нейрон как базовый элемент искусственной нейронной сети представляет собой аналог реальной нервной клетки и реализует определенную математическую функцию. Входы нейрона имеют веса (*weights*), на которые умножаются входные сигналы, после чего значения суммируются, и к ним добавляется смещение (позволяет управлять активацией нейрона). Далее сумма значений подвергается функциональному преобразованию в соответствии с функцией активации и результат передается на выход (рис. 1) [14].

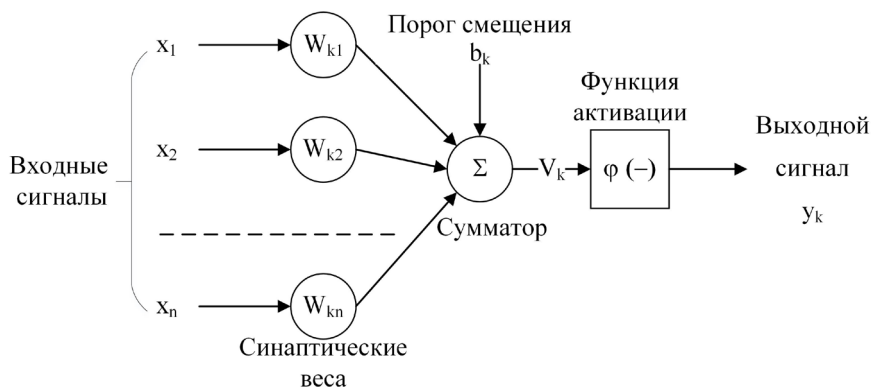


Рисунок 1 – Структурная схема нейрона искусственной нейронной сети

Функция активации нейрона имеет разное математическое выражение в зависимости от предполагаемого результата [14], основные функции перечислены ниже.

1. Линейная функция (1), применение которой ограничивается задачами регрессии, в силу чего подходит для решения относительно простых задач.

$$f(x) = kx \quad (1)$$

2. Сигмоидная логическая функция (2) решает задачи бинарной классификации, т.е. прогнозирование вероятности отнесения объекта к одному из пары классов. У данной функции существует проблема затухания градиента в глубоких сетях.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

3. Гиперболический тангенс (3) является модификацией сигмоидной функции, он подходит для комбинации слоёв, принимая значения из диапазона $(-1, +1)$. Как и сигмоиде гиперболическому тангенсу свойственна проблема исчезновения градиента, но в данном случае она не столь значительна.

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3)$$

4. Ступенчатая или пороговая функция (4) ввиду особенностей графика не дифференцируется, в глубоком обучении почти не используется из-за отсутствия затухания.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

5. Функция активации *ReLU* (*Rectified Linear Unit*) (5) активирует нейрон, если значение входного сигнала положительное, в противном случае вырабатывается 0. Часто применяется в глубоких нейронных сетях благодаря простоте использования и отсутствию затухающего градиента, но может вызывать «мертвые нейроны» с отрицательным входом.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (5)$$

6. Функция *Softmax* (6) распространена в задачах многоклассовой классификации (распознавание изображений, обработка естественного языка), преобразует каждый элемент входного вектора в число от 0 до 1, общая их сумма равна 1.

$$\text{Softmax}(x) = \frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^K e^{x_j}} \quad (6)$$

где: x – входной вектор; x_i – i -й элемент входного

вектора; K – количество классов или длина входного вектора; e – основание натурального логарифма.

Собственно, нейронная сеть является способом соединения нейронов между собой для вычисления конкретного результата. Типовая нейронная сеть состоит из трех частей – входной слой, скрытый слой и выходной слой. Скрытый слой может сочетать в себе множество слоев нейронов. Важно отметить, что нейросеть считается глубокой, если в скрытых слоях больше одного слоя нейронов [14]. Существует множество архитектур нейронных сетей в зависимости от решаемых задач. Хотя четкой классификации их структур до сих пор не предложено, в качестве наиболее часто применяемых можно выделить следующие основные архитектуры:

1) персептрон – самая простая архитектура нейронной сети, состоящая из одного или нескольких нейронов, образующих один слой, который принимает и обрабатывает входные сигналы, образуя выходные значения. В настоящее время применяется для решения простых задач классификации, обнаружения образов или предсказаний;

2) сверточные нейронные сети служат для обработки видеоданных и изображений. Особенности – применение операции свёртки к входным данным для извлечения из них важных признаков, и применение пулинга для уменьшения размеров данных. Пулинг – выделение в некоторой области данных необходимых по условию признаков или свойств для того, чтобы акцентироваться на них, прекратив поиск других признаков в данной области;

3) рекуррентные нейронные сети используют технологию циклической обратной связи, полученные на предыдущих циклах результаты используются в качестве входной информации в последующих циклах обработки. Данная особенность актуальна для решения задач, где контекст содержимого имеет значение, например, при обработке последовательностей, анализе текста, выявлении временных рядов;

4) глубокая многослойная нейронная сеть включает в себя множество скрытых слоев (более трех), она применяется для решения сложных задач, подобных обработке естественного языка, обучению с подкреплением, генерации данных, распознаванию

визуальных образов. Располагает возможностью извлечения высокоуровневых признаков из больших объемов иерархических данных;

5) генеративно-состязательная сеть – это тип нейронной сети, состоящей из двух моделей: генератора и дискриминатора. Генератор создает новые данные, а дискриминатор оценивает, насколько эти данные похожи на реальный объект. Данная нейронная сеть используется для генерации новых изображений, текстов и звуков. Она может быть использована для создания реалистичных изображений или для генерации новых вариантов данных;

6) самоорганизующиеся карты Кохонена являются самообучающимися нейронными сетями без учителя. Данный тип нейронных сетей решает задачи кластеризации и визуализации данных, способен анализировать большие объемы данных и идентифицировать в них скрытые структуры. Также самоорганизующиеся карты Кохонена способны определять ассоциации между различными признаками.

Схематическое изображение структуры нейронных слоев сетей и связей между слоями, перечисленных выше архитектур представлено на рисунке 2.

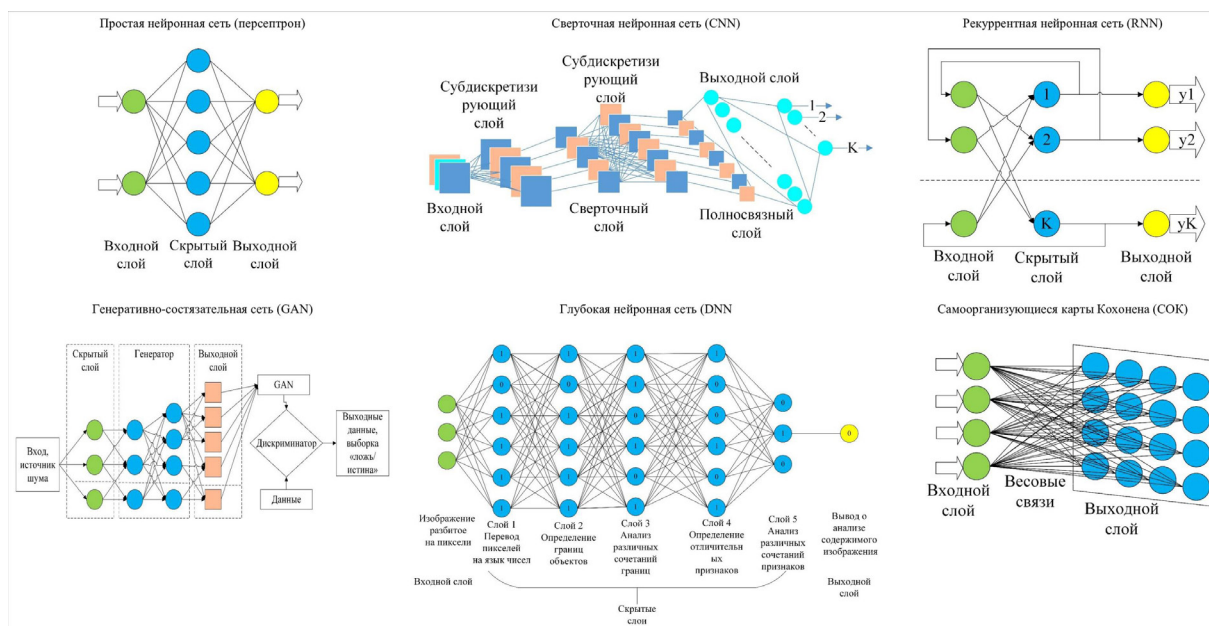


Рисунок 2 – Распространённые архитектуры нейронных сетей

Процесс обучения нейронных сетей заключается в имитации процессов наработки опытных результатов путем многочисленных циклических итераций. При этом точность выходных данных постепенно повышается. Математические подходы к обучению могут различаться в зависимости от архитектуры сети. Исследователи выделяют три типа обучения, которые используются наиболее часто.

1. С учителем (контролируемое) обучение. Нейронная сеть обучается на предварительно размеченных и подготовленных данных, имея также помеченные в соответствии с входными данными примеры выходных данных. Недостаток такого подхода – необходимость подбора большого количества предварительно размеченных входных данных.

2. Без учителя (неконтролируемое). Входные данные не размечены, ответы предварительно неизвестны. Главная задача нейронной сети – выявить закономерности и связь полученных данных путем группировок, выявления уникальных объектов, уменьшение числа отличительных признаков. Недостаток данного подхода – сравнительно долгий период

обучения, высокая вероятность появления ошибок.

3. Обучение с подкреплением является объединением предыдущих двух подходов, сочетая в себе их достоинства. Как и в случае обучения без учителя, нейронной сети в этом подходе подаются на входной слой неструктурированные и неразмеченные данные, соотношения и признаки которых сеть определяет самостоятельно. Однако они могут содержать в себе и размеченные наборы данных, как в случае обучения с учителем. Кроме того, оператор, контролирующий процесс обучения нейронной сети, имеет возможность коррекции настроек обучения и исправления грубых ошибок сети. Основные недостатки обучения с подкреплением – большая продолжительность процесса обучения, подготовка большого количества наборов входных данных, непредсказуемость поведения модели в нетипичной ситуации.

Достоинствами нейронных сетей являются [15]:

- информация распределена по всей сети, исчезновение отдельных элементов информации не препятствует работе сети;
- при правильной архитектуре и грамотном обучении нейронные сети могут выдавать приемле-

мый результат даже при неполных или поврежденных вводных данных;

- повышенная отказоустойчивость, отключение отдельных нейронов не мешает выработке выходных данных;

- предварительно обученные нейронные сети могут выдавать результат за небольшой промежуток времени, в отличие от традиционных вычислительных алгоритмов;

- возможность параллельной обработки, искусственные нейронные сети способны выполнять более одного процесса одновременно;

- возможность самостоятельного обучения на примерах отдельных событий.

Недостатками нейронных сетей являются [15]:

- высокие требования к аппаратному обеспечению, требования процессоров с параллельной вычислительной мощностью, в соответствии со структурой нейронных сетей;

- невозможность анализа логики принятия решения сетью – для оператора остается неизвестным процесс принятия решений сетью, что снижает доверие к ней;

- разнообразие структур – отсутствие четких правил определения структуры сети, создание подходящей архитектуры экспериментальным путем;

- необходимость конвертации текстовой входной информации к цифровому виду (двоичный код).

1.3 Основные разработки в области нейронных сетей для проведения анализа уязвимостей. Развитие технологий нейронных сетей обеспечило их внедрение в область информационной безопасности, в частности, для анализа уязвимостей, мониторинга активности оборудования и прогнозирования угроз. Известны следующие решения в данной области.

1. Прогнозирование инцидентов – прогнозирование возможного количества атак на АС, основываясь на статистике прошлых периодов [16]. Для обучения нейронной сети применяется метод ближайшего соседа – один из алгоритмов обучения с учителем, использующийся для классификации данных в нейронных сетях. В качестве актуальной архитектуры использована простая однослойная нейронная сеть.

2. Сканирование трафика по каналам передачи информации и определение аномальных активностей, для чего применяется многослойная нейронная сеть прямого распространения [17]. В качестве набора обучающих данных использован общедоступный набор *UNSW-NB 15*. Также для выполнения данных мероприятий могут использоваться сверточные нейронные сети [18].

3. Выявление вторжений неизвестного типа, для чего применяются глубокие сети прямого распространения [19]. В качестве обучающих данных формируется несколько наборов данных, включающих в себя параметры предполагаемых атак, характеристики аппаратной части анализируемой системы, сведения о системе защиты.

4. Тестирование системы на возможность проник-

новения (в некоторых источниках – «пентест», от английского *penetration testing*) представляет собой процесс моделирования удаленной атаки на систему. Один из основных методов тестирования на проникновение – это поиск уязвимостей системы, который предполагает сканирование сети, анализ системных служб, проверку наличия открытых портов и тестирование уровня защиты паролей. Другой популярный метод тестирования на проникновение – эксплуатация уязвимостей с активным использованием найденных слабостей для получения несанкционированного доступа к системе. Для реализации данного подхода используются различные инструменты, в частности, нейронная сеть «*ChatGPT*» для проведения теста на проникновение с подходом «*GenAI*». Генеративный искусственный интеллект («*GenAI*»), может создавать новые данные, похожие на исходные и помогать в их применении [20].

5. Платформа для обучения нейронных сетей поиску угроз и уязвимостей. Как пример такого подхода, можно привести разработку платформы для обучения нейронных сетей «*PenGym*» [21], представляющую собой специальную виртуальную онлайн-среду, в которой условная нейронная сеть может обучиться проведению тестирования на проникновение, анализу уязвимостей и угроз.

6. Противодействие аппаратным угрозам с помощью графических нейронных сетей [22]. Данный подход отличается уникальным представлением анализируемых данных в виде графов и последующей их интеграцией в виде векторов. Данный подход отличается высокой точностью, но имеет недостатки в виде одних и тех же параметров итераций и сложности обновления узлов графов.

Результаты. Результаты проведенного анализа сводятся к следующему. Достоинства нейронных сетей (быстродействие, отказоустойчивость, универсальность, обучаемость) делают их привлекательными в сфере информационной безопасности АИС. Если обобщить исследования по применению нейронных сетей конкретно в анализе уязвимостей систем и аудита безопасности, то актуальны следующие направления:

- тестирование на возможность проникновения;
- мониторинг сетевой активности;
- прогнозирование инцидентов.

Для решения простых задач классификации или прогнозирования может использоваться упрощенная нейронная архитектура, однако самой перспективной архитектурой для анализа уязвимости следует признать глубокую нейронную сеть. Она может быть сверточной или рекуррентной в зависимости от конечной цели исследования при сочетании различных функций активации нейронов в разных слоях. Функции активации нейронов могут отличаться в зависимости от значимости скрытого слоя. В качестве входных данных могут выступать наборы данных уязвимостей и угроз АИС с различными

характеристиками. Наборы данных такого типа находят широкое освещение на актуальных форумах и тематических сайтах, таких как «*GitHub*».

Обсуждение. В результате проведенного исследования сформулированы три ключевых концепции применения нейронных сетей для анализа уязвимостей автоматизированных систем различных типов:

1) *отдельное удаленное приложение*, когда нейронная сеть представляет собой приложение с графическим интерфейсом. В качестве обучающих материалов вводятся данные об основных типах автоматизированных систем, наиболее вероятных угрозах и уязвимостях, ранжировании угроз. Обучение нейронной сети в соответствии с установленными правилами проводится отдельно на подготовленном программном обеспечении перед вводом в эксплуатацию. Такой подход предварительного обучения использует, например, компания «*Deep Instinct*», представляющая антивирусную программу, предварительно обученную на мощных вычислительных машинах с применением больших объемов входных данных [23]. В данной концепции предварительно обученная нейронная сеть для проведения анализа уязвимостей получает на вход данные об исследуемом сегменте локальной сети. Данные представляют собой список с описанием аппаратной и программной части сети, количестве узлов, коммутаторов, маршрутизаторов и серверов, используемых протоколах связи и т. д. Нейронная сеть анализирует полученную информацию с помощью полученных ранее обучающих данных и выдает пользователю перечень наиболее вероятных угроз и уязвимостей относительно данного сегмента сети. Достоинствами такого подхода можно считать относительно понятную концепцию проектирования, высокое быстродействие, кроссплатформенность, отсутствие затрат на аналитику для анализа каждой конкретной системы. Недостатками концепции можно считать необходимость поддержки актуальных знаний нейронной сети о новых угрозах и уязвимостях, изменениях законодательных актов, а также требование большого объема обучающей информации и повышенные требования к вычислительной мощности средств обучения нейронной сети. В перспективе данное приложение с многослойной глубокой архитектурой, либо рекуррентной архитектурой может упростить проведение аудита безопасности;

2) *динамическое приложение проведения аудита безопасности и анализа уязвимостей*. Концепция предполагает, что приложение будет использоваться непосредственно в анализе систем, аудите ИБ и так называемом «белом хакинге». Приложение нейронной сети встраивается в систему через условный узел или сервер, либо через линию связи, и своим поведением напоминает троянское или шпионское вредоносное ПО. В качестве обучающих данных используются данные различных

уязвимостей систем и подходы к осуществлению угроз безопасности, посредством уязвимостей оборудования и программного обеспечения. Приложением производится сканирование уязвимостей протоколов связи и отдельных узлов, проверяется корректность разграничения прав доступа пользователей, производятся попытки вмешательства работы в систему. После проведения анализа приложение выдает отчетные данные об обнаруженных ошибках и уязвимостях системы. Подобное ПО [24] использовано для анализа уязвимостей производственных автоматизированных линий SCADA-систем, будучи встроенным в линию связи для перехвата пакетов данных и имитации атак (DDoS и флуд-сообщения). Данная концепция в перспективе ускорит выявление скрытых уязвимостей конкретной системы. В качестве архитектуры сети может использоваться многослойная сверточная архитектура. Достоинствами данного подхода являются быстродействие, универсальность системы, актуальность отчетных выходных данных, недостатки состоят в необходимости грамотной настройки нейронной сети, корректного ввода обучающих данных, учета законодательных особенностей (необходимость сертификации данного ПО для использования в государственных организациях);

3) *встраиваемое приложение определения уязвимостей системы*, принцип работы которого в целом схож с предыдущим, но нейронная сеть не пытается взломать систему или скрытно обнаружить в ней уязвимости. Приложение подключается непосредственно к серверному ПО и функционирует скрытно как обычный антивирус. Данное приложение сканирует доступные линии связи и работу сетевых устройств и сигнализирует о возможных проявлениях уязвимостей и угроз, опираясь на предварительные введенные характеристики для идентификации типовых угроз. Обучение нейронной сети происходит на признаках сетевых аномалий и угроз, а также на динамическом реагировании на возникающие аномалии при передаче данных. В качестве архитектуры сети может использоваться многослойная архитектура прямого распространения. Достоинствами концепции можно считать быстродействие, выявление угроз в режиме реального времени, а недостатками – то, что приложение требует для своей работы постоянных затрат вычислительных ресурсов оборудования, корректной настройки обучения нейронной сети, периодического обновления алгоритмов работы.

При дальнейшем развитии данных концепций путем разработки указанных приложений необходимо при проектировании моделей учитывать технические особенности используемых программно-аппаратных средств, особенности сетевых протоколов маршрутизации и необходимость сертификации приложений при их возможной работе с конфиденциальной информацией.

Выводы. На основе сравнительного анализа отечественных и зарубежных разработок в данной

области проведено исследование возможности применения нейронных сетей для анализа уязвимостей информационных систем. Приведено расширенное описание и классификация терминов «уязвимость», «угроза», «риск», представлено ранжирование уязвимостей с учетом соответствующих руководящих документов.

Рассмотрена концепция создания специализированных нейронных сетей, архитектура и примеры применения нейронных сетей для обнаружения уязвимостей автоматизированных информационных систем. Рассмотрены подходы к решению данной задачи, указаны их достоинства и недостатки, выделены наиболее перспективные направления развития данной области с приведением конкретных примеров, способные составить базу дальнейших экспериментальных исследований по выявлению уязвимостей автоматизированных информационных систем.

Предложено три концепции применения нейронных сетей в анализе уязвимостей, на основе изучения существующих решений. Наиболее инновационными концепциями можно считать:

1) *Отдельное удаленное приложение.* Представляет практический интерес как программируемый инструмент проведения удаленного анализа уязвимостей систем. Аналогов подобной концепции в приведенных источниках не обнаружено, следовательно, ее разработка имеет научную новизну и практическую актуальность для дальнейших исследований;

2) *Динамическое приложение проведения аудита безопасности и анализа уязвимостей.* Имеет уникальную концепцию, направленную на анализ всех возможных уязвимостей системы, включая разграничение прав пользователей и анализ сетевого трафика. Приведенные аналогичные разработки, нацелены на конкретную область анализа системы (например, сетевой трафик), что не всегда удобно при проведении комплексных мероприятий по анализу уязвимостей. Следовательно, данная исследовательская разработка имеет научную актуальность для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Киберпреступность в России и СНГ. Тренды, аналитика, прогнозы 2023–2024 // F.A.C.C.T. URL: <https://www.facct.ru/resources/research-hub/cybercrime-trends-annual-report-2023-2024/> (дата обращения: 13.04.2024).
2. Hossen Md. I., Islam A., Anowar F., Ahmed E. Generating Cyber Threat Intelligence to Discover Potential Security Threats Using Classification and Topic Modeling // Cyber Security Using Modern Technologies; Artificial Intelligence, Blockchain and Quantum Cryptography. – 2023. – С. 158–170.
3. История года: влияние искусственного интеллекта на кибербезопасность // Securelist by Kaspersky URL: <https://securelist.ru/story-of-the-year-2023-ai-impact-on-cybersecurity/108558/> (дата обращения: 14.04.2024).
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности. М.: Федеральное государственное учреждение

«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 2021. – 74 с.

5. ГОСТ Р 53114-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. М.: Федеральное государственное учреждение «Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю» (ФГУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России»), 2008. – 20 с.

6. ГОСТ Р 57580.3-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность финансовых (банковских) операций. Управление риском реализации информационных угроз и обеспечение операционной надежности. М.: Центральный банк Российской Федерации (Банком России), 2022. – 110 с.

7. Васильев В.И., Вульфен А.М., Герасимова И.Б., Картак В.М. Анализ рисков кибербезопасности с помощью нечетких когнитивных карт // Вопросы кибербезопасности 2020. – № 2 (36). – С. 11–21.

8. ГОСТ Р 59853-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. М.: Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (АО «ВНИИС») и Общество с ограниченной ответственностью «Информационно-аналитический вычислительный центр» (ООО ИАВЦ), 2021. – 16 с.

9. ГОСТ Р 53114-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. М.: Федеральное государственное учреждение «Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю» (ФГУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России»), 2008. – 20 с.

10. Антипов К.А. Виды и роль АИС в производственном цикле промышленных объектов // Молодой ученый. – 2022. – № 23 (418). – С. 36–37.

11. Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. М.: Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации, 1992. – 30 с.

12. Зариковская Н.В. Информационно-аналитические системы управления: Учебное пособие // Томск: ТУСУР. – 2018. – 107 с.

13. Петросян А.А. Инструменты анализа инцидентов информационной безопасности. // Молодой ученый. – 2024. – № 4 (503). – С. 30–31.

14. Хливненко Л.В. Практика нейросетевого моделирования: учебное пособие для вузов // Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 200 с.

15. Maad M. Mijwil Artificial Neural Networks Advantages and Disadvantages // Mesopotamian Journal of Big Data. – 2021. – №6. – С. 29–31.

16. Беляева Т.А., Микрюков А.А. Нейросетевое прогнозирование инцидентов информационной безопасности // Международный студенческий научный вестник. – 2023. – № 6.

17. Большаков А.С., Хусаинов Р.В., Осин А.В. Обнаружение аномалий трафика с использованием нейронной сети для обеспечения защиты информации // I-methods. – 2021. – №4 (13).

18. Wang H., Qu Z., Sun L. E-GVD: Efficient Software Vulnerability Detection Techniques Based on Graph Neural Network // ICST Transactions on Scalable Information Systems. – 2024. – №6 (11). – С. 2075–2097.

19. Симаворян С.Ж., Симонян А.Р., Попов Г.А., Улитина Е.И. Общая концепция выявления вторжений неизвестного типа на основе нейронных сетей // Программные системы и вычислительные методы. – 2021. – №4. – С. 23–45.

20. Hilario E., Azam S., Jawahar S., Mohammed K.I. Genera-

tive AI for pentesting: the good, the bad, the ugly // International Journal of Information Security. – 2024. – №4 (23). – С. 2075-2097.

21. Thanh N., Chen Z., Hasegawa K., Fukushima K. Pen-Gym: Pentesting Training Framework for Reinforcement Learning Agents // 10th International Conference on Information Systems Security and Privacy. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer in a CCIS Series book. – 2024. – С. 498-509.

22. Alrahis L., Sinanoglu O. Graph Neural Networks for Hardware Vulnerability Analysis – Can you Trust your GNN? // Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 2023. – №41. – С. 1-4.

23. Predictive Prevention, Powered by Deep Learning // Deep Instinct URL: <https://www.deepinstinct.com/> (дата обращения: 09.04.2024).

24. Sainz M., Garitano I., Iturbe M., Zurutuza U. Deep packet inspection for intelligent intrusion detection in software-defined industrial networks: A proof of concept // Logic Journal of IGPL. – 2020. – №28 (4). – С. 461-472.

Статья поступила в редакцию 06.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.021

EDN: OFDION

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ОБОРОТА МОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

© Автор(ы) 2024

SPIN: 7516-1612

AuthorID: 2905

ORCID: 0000-0001-5398-7599

ScopusID: 57485674000

СТЕПАНОВ Павел Викторович, соискатель Санкт-Петербургского института информатики
и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН)
(199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д.39, e-mail: p.v.stepanov@hotmail.com)*

Аннотация. В статье анализируются проблемы контроля условий перевозок в транспортных логистических системах. Описываются типичные ограничения из мировой практики и приводятся примеры организационных и технических решений для выполнения данных ограничений. Рассматриваются различные технологии обмена данными и разные типы датчиков, контролируемых физические параметры перевозимых грузов. Анализируются технология *NFC* и сферы применения датчиков с этой технологией. Обосновывается актуальность решения специфической проблемы контроля доступа к содержимому используемого в авиаперевозках специального контейнера, для чего предлагается оригинальная система на базе *NFC* датчиков, которая обеспечивает контроль доступа к мобильному оборудованию, отвечающему за сервисное обслуживание пассажиров во время полёта. Предложено системотехническое решение проблемы, сформулированы требования к логгеру, описаны функции мобильного приложения, оценена возможность расширения функционала системы и изложены результаты ее опытной эксплуатации. Показаны перспективы развития системы контроля при использовании логгеров с расширенным функционалом.

Ключевые слова: мобильное оборудование, интеллектуальное транспортно-технологическое средство, система, контроль оборота, контроль доступа, логгер.

SOLVING THE PROBLEM OF UNAUTHORIZED ACCESS IN THE MOBILE EQUIPMENT TURNOVER CONTROL SYSTEM

© The Author(s) 2024

STEPANOV Pavel Viktorovich, applicant for the degree of candidate of technical sciences St. Petersburg Institute
for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
(199178, Russia, Saint-Petersburg, 14 line, 39, e-mail: p.v.stepanov@hotmail.com)*

Abstract. The article analyzes the problems of control of transportation conditions in transport logistics systems. Typical restrictions from world practice are described and examples of organizational and technical solutions for fulfilling these restrictions are given. Various data exchange technologies and different types of sensors monitoring the physical parameters of transported goods are considered. *NFC* technology and the applications of sensors with this technology are analyzed. The relevance of solving the specific problem of access control to the contents of a special container used in air transportation is substantiated, for which an original system based on *NFC* sensors is proposed, which provides access control to mobile equipment responsible for passenger service during flight. A system-technical solution to the problem is proposed, the requirements for the logger are formulated, the functions of the mobile application are described, the possibility of expanding the functionality of the system is evaluated and the results of its trial operation are presented. The prospects for the development of the control system when using loggers with advanced functionality are shown.

Keywords: mobile equipment, intelligent transport and technological means, mobile equipment turnover control system, access control, logger, *NFC*.

Для цитирования: Степанов П.В. Решение проблемы несанкционированного доступа в системе контроля оборота мобильного оборудования / П.В. Степанов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 26-34. – EDN: OFDION.

Введение. Глобальный характер мировой экономики предполагает массовое перемещение товаров с использованием сложных логистических схем транспортировки и обработки. Сложность осуществления контроля за перемещением товаров растёт пропорционально усложнению логистики поставок. Проблема осложняется тем, что во

многих случаях недостаточно знать только где в данный момент находится транспортная единица, но и иметь достоверную информацию о том, что происходило с товаром на всём пути его следования. Особенности груза могут потребовать специальных условий перевозки. Некоторые виды товаров требуют специальных средств пакетирования и

специальных условий перевозки и обработки, контроль за соблюдением которых должен быть автоматизированным. Примером ограничений на условия транспортировки могут служить требования на поставку продуктов питания, медицинских препаратов и др. для которых критически важным является соблюдение температурного режима транспортировки – «холодовой цепи» [8-15]. Существует множество практических комплексных решений для контроля температурного режима в цепях поставок [16-18], в основе которых лежит использование специальных устройств (датчиков, логгеров), которые фиксируют изменение различных физических параметров и сохраняют их для последующей обработки. Такие датчики могут являться элементами системы «интернета вещей» (*IoT*), использование которой радикально меняет процесс контроля в логистических цепях [19-24] и позволяет перейти на новый уровень мониторинга с использованием цифровых двойников [25].

Датчики поддерживают различные технологии обмена информацией, в частности технологию *NFC* [26-32]. *NFC* хороши известна и имеет широкий спектр датчиков позволяющий использовать её в различных приложениях. Широко применяются системы контроля доступа в помещения [43-44] и перемещения персонала [45-46], в системах автоматизации производства и «умного дома» [47-50], в управлении на транспорте [34, 36-40]. Существуют специализированные решения по контролю вакцинаций [35], контролю качества и отслеживанию поставок в сельскохозяйственном и рыбном производствах [41-42] и созданию «интеллектуальной упаковки» [33].

Одним из важных условий перевозки является контроль доступа к содержимому транспортной единицы. В статье рассматривается возможность использования датчиков (логгеров) *NFC* для организации контроля доступа к содержимому транспортного контейнера. Разработанное оригинальное системотехническое решение на базе датчиков *NFC* обеспечивает контроль доступа к товарам, перевозимым в специализированных контейнерах (мобильном оборудовании, МБКО), используемых для обслуживания авиапассажиров на борту воздушного судна во время полёта. Датчики *NFC*, установленные на МБКО, формируют журнал открывания/закрывания мобильного оборудования.

Технология обработки МБКО сложная и требует специальных средств контроля и управления. Для управления процессом обработки МБКО была разработана специализированная система контроля за оборотом мобильного оборудования СКО МБКО [2, 3, 7], которая позволяет контролировать использование и перемещение мобильного оборудования в процессе сервисного обслуживания воздушных судов во время стоянок в аэропортах. Уровень автоматизации системы позволяет полностью исключить человека из процесса фиксации ре-

зультатов выполнения отдельных технологических операций и минимизировать влияние человеческого фактора на надежность системы в целом. Сочетание различных технологий автоматической идентификации, дополняющих друг друга, позволяет обеспечить надёжный инструментальный контроль технологических процессов, автоматизировать сбор первичных данных, обеспечив их актуальность, полноту и достоверность.

Важной частью СКО МБКО являются мобильные интеллектуальные транспортно-технологические средства (ИТТС) [5], оснащенные специальным оборудованием, позволяющим записывать историю срабатывания датчиков. Объективные данные о времени срабатывания датчиков также являются элементом инструментального контроля технологического процесса. Совмещая данные о перемещении МБКО, получаемые от системы контроля оборота мобильного оборудования, с данными, получаемыми от датчиков интеллектуального транспортно-технологического средства, и добавляя показания от системы позиционирования (*GPS*/ГЛОНАСС приёмники), получаем исчерпывающую информацию о выполнении технологического процесса и перемещении каждой единицы МБКО. Появляется возможность установить соответствие между моделями физического и логического уровня, описывающими функционирование интеллектуального транспортно-технологического средства, которые далее отображаются в моделях технологического процесса и геопозиционирования [2]. В практическом плане такое совмещение моделей (полимодельный комплекс) позволяет получить информацию о месте, о времени начала и окончания выполнения каждой отдельной технологической операции, о месте нахождения каждой единицы МБКО в любой момент времени.

Возможность получения достоверной информации о местоположении единицы МБКО совместно с журналом вскрытия позволяет решить проблему контроля доступа к содержимому мобильного оборудования, используемому для продажи товаров пассажирам во время полёта (*SkyShop*).

Решение задачи крайне актуально, так как стоимость товаров, перевозимых в одной единице МБКО, может быть от 100 до 800 тысяч рублей. На дальние и международные рейсы грузится от 4 до 10 единиц МБКО. Одновременно в обороте может находиться до 5000 единиц МБКО *SkyShop*. В силу непрозрачности технологии обработки и влияния человеческого фактора еженедельно возникает несколько инцидентов с попыткой вскрытия и потерями содержимого МБКО. Ниже описаны разработанные автором системотехнические решения по обеспечению контроля доступа к содержимому мобильного оборудования.

Методология. Технологический процесс подготовки, перемещения, погрузки и разгрузки МБКО *SkyShop* строго регламентирован, каждый МБКО

имеет специальную маркировку и индивидуальный номер. Подготовка вложения, комплектация на рейс и промежуточное хранение осуществляется в специальных выделенных помещениях. В соответствии с существующей технологией открывание и закрывание двери возможно только на определённых этапах.

Для обеспечения инструментального контроля, фиксации факта открывания и закрывания двери МБКО необходимо было создать систему, решающую следующие задачи:

- фиксация фактов открытия/закрытия двери МБКО;
- фиксация времени открытия/закрытия;
- сохранение истории зафиксированных событий, формирование журнала;
- передача журнала событий в СКО МБКО;
- бесконтактный способ передачи данных;
- контроль состояния и работоспособности системы.

К конструктивному решению предъявлялись следующие требования:

- скрытая установка, не меняющая конструкцию МБКО;
- антивандальное исполнение;
- защита от попадания воды (*IP64*);
- автономность не менее 1 года;
- отсутствие радиоизлучений;
- запрет использования *GPS/ГЛОНАС* приёмников.

Для решения поставленных задач необходимо было:

- 1) разработать техническое решение для фиксации фактов открывания/закрывания МБКО;
- 2) разработать специализированное приложение для управления датчиками;
- 3) доработать систему контроля оборота СКО МБКО;
- 4) внести изменения в технологический процесс.

Отдельной задачей являлась синхронизация по времени всех внутренних таймеров датчиков *NFC* с системным временем СКО МБКО.

Результаты. Основным результатом стала разработка оригинального системотехнического ре-

шения, включающего в себя техническое средства по оснащению контейнеров МБКО специализированными датчиками (логгерами) и программного обеспечения по управлению логгерами и интеграции с системой контроля оборота мобильного оборудования.

1. Технические решения. Для решения поставленной задачи был использован логгер фирмы *Novus Automation TagTemp-NFC-LCD* (рис. 1). Устройство разрабатывалось как температурный логгер для решения проблем контроля температуры в холодильной цепи поставок. Опционально оно оснащалось цифровым входом (сухим контактом) и имело собственное приложение для настройки и считывания данных через протокол *NFC*. Было заявлено время автономной работы на одном элементе питания до 2 лет. Для интеграции с СКО МБКО производитель предоставил библиотеку разработчика.

Интеграция логгера в МБКО была осуществлена следующим образом. К цифровому выходу логгера подключался герконовый контакт. Логгер с герконовым контактом размещался в двери МБКО, которая представляет из себя сэндвич из металлических панелей. Ответная часть герконового контакта (постоянный магнит) размещалась в корпусе МБКО. На рисунках 2 и 3 показано как размещается логгер в панели двери и как выглядит дверь в конечном состоянии.

Вырез в металлической панели необходим для обеспечения связи с логгером по протоколу *NFC*. В конечной конфигурации закрывается логотипом авиакомпании. Накладка на заднюю сторону двери необходима чтобы закрыть логгер, который толще на 2 миллиметра чем панель двери и для обеспечения доступа к логгеру для ремонта и замены элементов питания.

2. Программное решение. Разработанное программное решение включает в себя стандартное приложение от производителя которое обеспечивает первоначальные установки и подготовку логгера к работе, специализированное приложение для считывания данных с логгера и передачи его в СКО БКО и набор специализированных функций и отчётов в СКО БКО.



Рисунок 1 – Логгер NOVUS TagTemp-NFC



Рисунок 2 – Вид установленного логгера с наружной и внутренней стороны двери



Рисунок 3 – Окончательный вид с наружной и внутренней стороны двери

Первоначальные установки. Инициализация логгера и первоначальное конфигурирование осуществляется с помощью стандартного приложения разработанного производителем оборудования. Приложение устанавливается на обычный смартфон с NFC модулем, работающий под управлением ОС *Android*. Активизируется режим работы цифрового входа, устанавливается время, пароль, циклический режим использования памяти и запускается логгирование. Привязка логгера к уникальному номеру МБКО осуществляется в специализированном приложении.

Приложение для работы с логгером. Приложение разработано в среде:

- языки программирования: *Java 8*;
- среда разработки: *NFC Application – Android Studio 3.3.1*;
- основные используемые фреймворки и библиотеки: *NFC Application – LogChart*;
- средства сборки: *NFC Application – Gradle*;
- SDK: *NFC Application – Android SDK 28*.

Для создания системы используются программные компоненты ОС *Android 6.0*, для мобильных устройств.

В приложении реализованы новые функции:

- авторизация/Вход;
- выход из Приложения (логаут) ;
- настройка приложения;
- первоначальная настройка логгера;
- считывание данных с логгера;
- смена батареи;
- синхронизация времени.

Назначение этих функций состоит в следующем. Функция «Авторизация/Вход» обеспечивает авторизацию пользователя в СКО МБКО и

возможность работы с приложением. Функция «Выход из Приложения (логаут)». Функция «Настройка приложения» задаёт способ подключения и режимы взаимодействия с сервером СКО БКО. Функция «Первоначальная настройка логгера» автоматизирует процесс установки уникального имени логгера. Для изменения имени логгера (*Device Tag*) пользователь сканирует QR-код с визуальной метки, установленной на двери МБКО (рис. 3). QR-код содержит уникальный номер МБКО, который записывается как имя логгера. Обновляется конфигурация логгера, запускается процесс логгирования и удаляются все записи из памяти логгера.

Функция «Считывание данных с логгера» обеспечивает считывание данных с логгера, проверку полноты полученных данных, повтор операции считывания и запуск передачи данных в СКО БКО и выдачу сообщения об успешном считывании и передаче данных или об ошибке. Контролируется также уровень заряда батареи и выдается сообщение о низком заряде. Функция «Смена батареи» выполняется после замены элемента питания. Она обеспечивает реконфигурацию логгера, запускает процесс логгирования, передаёт в СКО БКО информацию о замене элемента питания и изменении статуса логгера. Функция «Синхронизация времени» выполняется при каждом сеансе связи смартфона с логгером, при этом приложение на смартфоне синхронизирует своё время с временем общесистемных средств *Android* с *Time*-сервером, учитывая часовые пояса.

Информация, собираемая приложением, передаётся по локальной сети в СКО МБКО через *REST API*. Передаются следующие данные:

- имя логгера (*Device Tag*);
- время чтения данных с логгера;
- имя пользователя, считавшего данные;
- уровень заряда батареи логгера;
- информация об открытии/закрытии двери.

Приложение имеет минималистический дизайн пользовательского интерфейса. В процессе опытной эксплуатации приложение работало на промышленном PDA фирмы *Honeywellc NFC*.

Функции СКО МБКО для работы с логгером.

СКО МБКО получая данные с логгеров (датчиков открытия) решает две группы задач:

- сбор и обработка истории открытия/закрытия датчиков;
- контроль уровня заряда датчиков.

Данные о фактах открытия и закрытия дверей оборудования записываются в базу данных СКО МБКО в следующей структуре:

<Дата считывания><Идентификатор оборудования><Идентификатор пользователя>

<Имя датчика><Статус><Уровень заряда батареи>;

В справочнике «Оборудование» для каждой единицы МБКО должен быть признак наличия датчика открытия и текущее значение уровня заряда батареи логгера. В СКО МБКО разработан набор функций, позволяющих менять значение поля уровня заряда батареи. Предусмотрено автоматическое уведомление пользователей по *e-mail* при возникновении следующих событий:

- обнаружение низкого заряда батареи *NFC* логгера;
- отправка МБКО с низким зарядом батареи *NFC*

логгера в технологический процесс.

Текст сообщения, адреса для получения сообщений и периодичность отправки настраиваются через конфигурационные файлы СКО МБКО.

СКО МБКО формирует журнал открытия/закрытия оборудования. Из справочника оборудования для единицы МБКО доступен переход на форму "Открытие и закрытие оборудования". На данной форме располагается таблица с информацией:

- дата и время открытия двери оборудования;
- дата и время закрытия двери оборудования;
- длительность открытия двери оборудования (промежуток времени между открытием и закрытием двери оборудования).

Отчет о нарушениях открытия/закрытия МБКО формируется по запросу пользователя и содержит информацию о единицах МБКО, которые были открыты/закрыты в запрещенное время. Для каждого технологического этапа обработки МБКО определяется возможность открытия/закрытия. Открытие МБКО разрешено на следующих этапах:

- в зоне комплектации;
- инвентаризация;
- на борту (Вылет/Прилёт).

СКО МБКО содержит информацию о перемещении каждой единицы оборудования, что позволяет определить, где, на каком технологическом этапе и в какое время находилась единица МБКО.

Сопоставляя времена открытия/закрытия и времена нахождения на отдельных технологических этапах (рис. 4) можно сделать вывод о допустимости вскрытия МБКО в тот или иной промежуток времени.

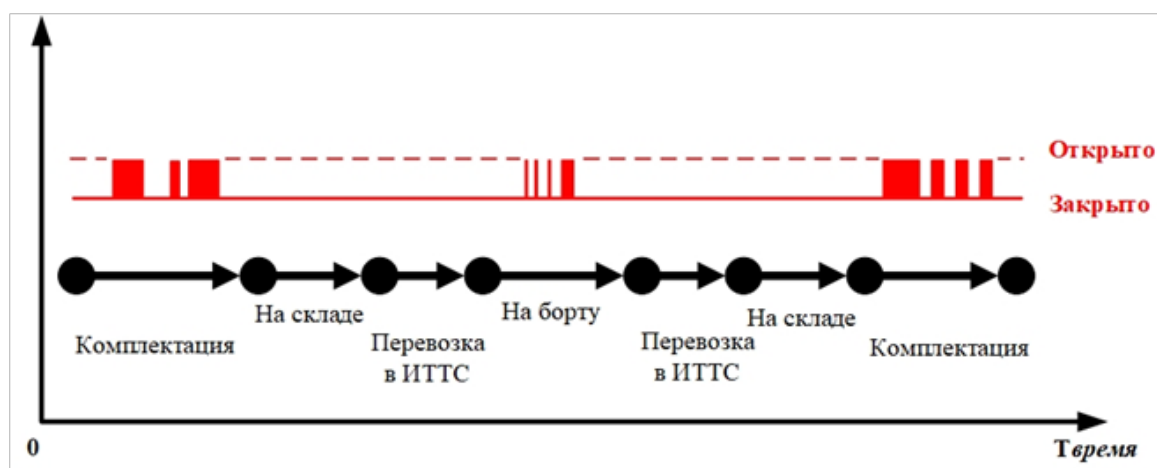


Рисунок 4 – Сопоставление журнала логгера с временной диаграммой технологического процесса

Отчет о нарушениях открытия/закрытия МБКО содержит уникальный номер единицы оборудования, этап на котором было вскрытие, дату и время события. Предусмотрен также специальная процедура анализа событий открытия/закрытия, для которых не определен технологический этап. Система только информирует соответствующие службы о возможных несанкционированных действиях с оборудованием.

Все дальнейшие действия относятся к компетенции служб технологического контроля и безопасности.

Отчет об отправке МБКО с низким уровнем заряда генерируется по запросу пользователя. Отчёт содержит список МБКО с уникальными номерами, номером рейса на котором отправлено МБКО, текущий технологический этап, указанием даты и времени его начала. На главной странице СКО МБКО

(рис. 5) авторизованному пользователю выдаются дашборды (интерактивная аналитическая панель) с текущей информацией о функционировании системы:

– низкий уровень заряда: отображает количество единиц МБКО с низким уровнем заряда батареи датчика открытия в Системе. При нажатии на дашборд пользователю открывается списочная форма справочника «Оборудование» с фильтром по признаку

«Низкий заряд»;

– отправленные МБКО с низким уровнем заряда – отображает количество отправленных в технологический процесс единиц МБКО с низким уровнем заряда батареи датчика открытия. При нажатии на дашборд пользователю открывается форма генерации отчета об отправке МБКО с низким уровнем заряда.

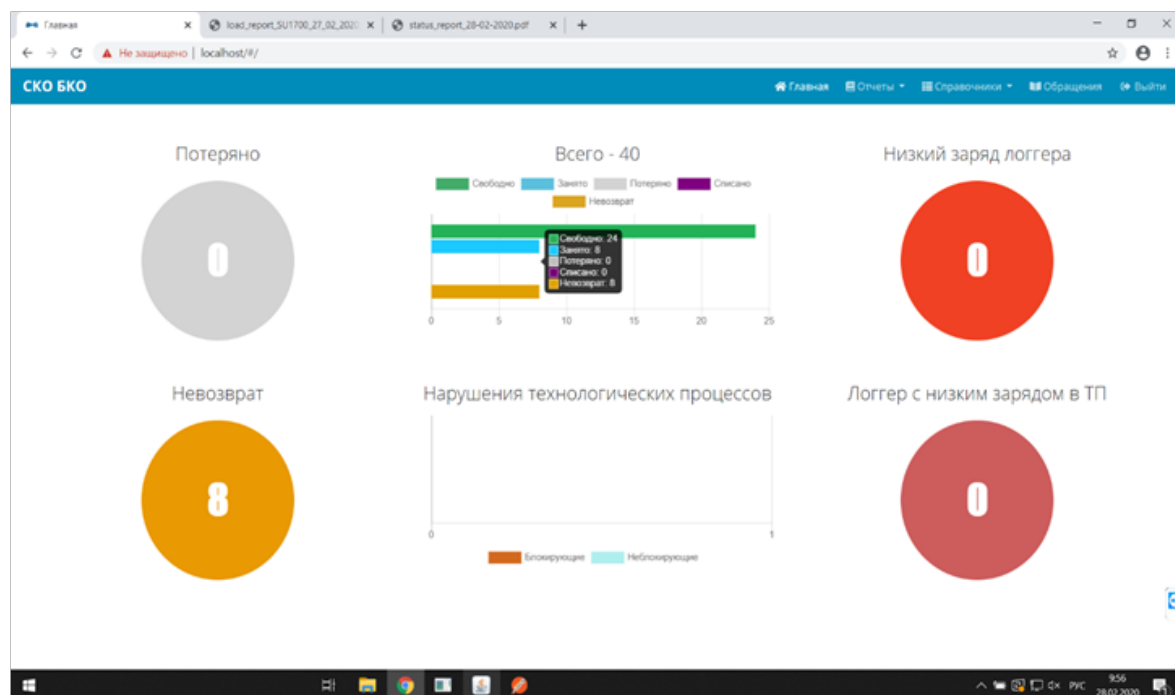


Рисунок 5 – Главный экран системы СКО МБКО

Для авторизации пользователей приложения в СКО МБКО определены роли «Администратор NFC приложения» и «Пользователь NFC приложения», имеющие доступ к полному и ограниченному функционалу приложения соответственно.

Результаты. Результатом выполненной работы стало создание полномасштабной работающей системы контроля доступа к мобильному оборудованию. Работоспособность системы была подтверждена опытной эксплуатацией, проведённой в реальных условиях технологического процесса. Результаты опытной эксплуатации подтверждают правильность проектных и конструкторских решений, надёжность технических решений и соответствие всей системы в целом требованиям технического задания. Созданная система позволила получить информацию о все событиях открывания/закрывания мобильного оборудования, обнаруживать несанкционированное вскрытие и зону ответственности, на которой произошёл инцидент.

Сбор данных с логгера – это отдельная технологическая операция, которая может выполняться в любой удобный момент и не требует вносить каких-либо изменений в существующий технологический процесс. Считывание данных с одного логгера занимает 15-30 секунд. Это малая величина, которая

не влияет на временную диаграмму технологического процесса.

Решение является экономически выгодным. Стоимость работ по оснащению МБКО логгерами не превышает 8000 рублей, при стоимости единицы оборудования от 45000 рублей и стоимости содержимого от 100000 до 800000 рублей.

Были выявлены проблемы эксплуатации, связанные с конкретной моделью логгера. Используемый логгер является в первую очередь температурным, а его цифровой вход является опционным. Конструкция логгера не позволила полностью отключить цикл измерения температуры, что явилось причиной излишнего расхода заряда батареи логгера. По факту удалось достичь срока эксплуатации логгера в один год до появления сообщения о низком заряде элементе питания. Это приемлемый результат, удовлетворяющий требованиям, но ниже заявленного производителем срока эксплуатации логгера на одном элементе питания.

Были выявлены случаи сбоя внутреннего таймера логгера, приводящие к изменению значения времени и даты. Сбои носили случайный характер. Результаты тестов были задокументированы и переданы разработчику логгера для поиска и устранения

ошибок.

Обсуждение. Успешное испытание *NFC* логгеров как датчиков открытия/закрытия дверей позволяет рассмотреть возможность расширения функций логгеров. Логгеры обычно позволяют контролировать несколько параметров одновременно. Рассмотренная модель *NOVUS TagTemp-NFC* позволяет контролировать одновременно изменение температуры и открытия/закрытия по цифровому входу. Также к этому входу может быть подключён любой датчик, срабатывающий при достижении порогового значения измеряемой им физической величины, например, датчик уровня влажности, силы удара, предельного ускорения, предельного угла наклона и т.д. Логгеры, появившиеся в последние два года, имеют несколько встроенных датчиков различных физических величин и несколько универсальных цифровых входов.

Использование логгеров с расширенными функциями или комбинации нескольких логгеров позволит в рамках созданной системы контроля мобильного оборудования решать не только проблему контроля доступа к МБКО, но и контролировать температурный режим хранения содержимого, влажность снаружи и внутри МБКО, контролировать режим бережного обращения без резких толчков, ударов, ускорений и опрокидывания. Простые энергоэффективные датчики позволяют существенно расширить спектр контролируемых параметров в цепях поставок. На базе подобного логгера может быть создана система контроля доступа с авторизацией. Дверь МБКО будет открываться только после того, как логгером, совмещённым со специальным датчиком, будет получен код доступа, уникальный для каждого сотрудника имеющего право доступа к содержимому МБКО. Код доступа может вводиться с помощью электронного ключа или с помощью смартфона со специализированным приложением.

Прорабатывается технологическое решение, позволяющее использовать в качестве элементов питания логгеров перезаряжаемые аккумуляторы с возможностью беспроводной зарядки. Последние разработки в области логгеров, позволяют объединить в одном устройстве также и идентификационные метки, например активные *Bluetooth* метки [1, 6]. Технология *NFC* требует близкого контакта между датчиком и прибором, считывающим информацию с него. Это приводит к необходимости участия человека в процессе считывания. Переход на другие технологии обмена информацией *Bluetooth* [1, 56] или *ZigBee* [53-55], обеспечивающие обмен данными на расстоянии десятков метров, позволит отказаться от участия человека в процессе сбора информации с датчиков и повысить общую надёжность системы.

При рассмотрении альтернативных технологий обмена данными и использования специального оборудования необходимо учитывать ограничения, действующие в настоящее время в области авиационных перевозок. Во многих случаях техно-

логические решения, применяемые для морских или железнодорожных перевозок, могут быть не применимы для авиационной логистики.

Выводы. Система контроля оборота мобильного оборудования и интеллектуальное транспортно-технологическое средство вместе обеспечивают сквозной контроль перемещения МБКО по всей технологической цепочке. Актуальные объективные и достоверные данные собираются в режиме реального времени, влияние человеческого фактора минимизируется. Оператор полностью исключается из процесса контроля хода и фиксации результатов выполнения технологических операций. Появляется возможность для каждой единицы МБКО сохранить историю перемещения. Можно однозначно определить, где и на каком технологическом этапе находилось оборудование в любом промежутке времени. Оснащая мобильное оборудование дополнительными датчиками с различными функциями, фиксирующими факт открытия/закрытия, толчки и удары, ускорение, угол наклона, температуру и т.д., можно получить информацию о том, что происходило с единицей МБКО.

Совмещая данные от системы контроля оборота мобильного оборудования, интеллектуального транспортно-технологического средства и датчиков, установленных на МБКО, в результате синергетического эффекта получаем качественно новую информацию о том «Что? Где? Когда?» происходило с единицей мобильного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д., Степанов П.В., Стыскин М.М. Особенности использования *bluetooth low energy* меток для идентификации и определения положения объектов в технологическом процессе наземного обслуживания воздушных судов гражданской авиации // Информатизация и связь. – 2020. – № 6. – С. 106-112.
2. Потрясаев С.А., Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д., Степанов П.В., Стыскин М.М. Полномасштабный комплекс мобильной сервисной системы, предназначенной для обслуживания воздушных судов // Информатизация и связь, 2020, Номер 6. – С. 113-118.
3. Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д., Миронова Е.Г., Стыскин М.М. Применение технологии радиочастотной идентификации для построения системы контроля оборота бортового кухонного оборудования // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения, 2020, вып. 1. – С. 3-10.
4. Степанов П.В. Алгоритм идентификации мобильного бортового кухонного оборудования с использованием технологии радиочастотной идентификации. Информатизация и связь. – 2021. – Номер 7. – С. 14-20.
5. Степанов П.В. Интеллектуальное транспортно-технологическое средство нового поколения и лежащая в её основе концепция "цифрового автолифта" Информатизация и связь, 2022. – Номер 1. – С. 22-29.
6. Степанов П.В. Методика использования *Bluetooth* технологии для решения задач идентификации и определения положения объектов // Информатизация и связь, 2021. – Номер 5. – С. 97-103.
7. Стыскин М.М., Степанов П.В., Желтов С.Ю., Соколов Б.В., Ронжин А.Л. Средства оптической и радиочастотной идентификации в технологическом процессе автоматизированного контроля оборота бортового оборудования. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1 (36).
8. Атжанова А.Н., Симакова З.Л., Сидоренко Ю.А.

Проблемы холодовых цепей поставок. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. – 2018. – С. 155-158.

9. Биндзе С. Опыт китайских компаний в управлении рисками качества при транспортировке фармацевтических препаратов в холодовой цепи поставок. В сборнике: Современный менеджмент: проблемы и перспективы. сборник статей по итогам XVII национальной научно-практической конференции с международным участием. В двух частях. Санкт-Петербург, 2022. – С. 299-304.

10. Биндзе С. Актуальные аспекты организации холодовой цепи поставок на рынке фармацевтической продукции в период эпидемии. В сборнике: Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика. материалы II Национальной научно-образовательной конференции. Санкт-Петербург, 2021. – С. 58-63.

11. Биндзе С. Организация холодовой цепи поставок медикаментов. В сборнике: Современные вызовы и актуальные проблемы науки, образования и бизнеса в условиях мировой нестабильности. материалы научной конференции аспирантов СПбГЭУ. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 85-87.

12. Бондарева М.Н. Моделирование и оптимизация логистических процессов в цепях поставок фармацевтических препаратов с учетом GDP. Актуальные исследования. – 2023. – № 28-2 (158). – С. 59-67.

13. Грамотина И.В., Левалдс Я.Э. Анализ концепции «зеленой» холодовой цепи. В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XXII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. – С. 111-117.

14. Мухаметжанова А.В., Гиният Н. Ситуация и развитие холодовой цепи поставок медицинских изделий и лекарств в Казахстане. В сборнике: Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения. Материалы X Международной научно-практической конференции. Сост. Г.Т. Мерзидинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов. Нур-Султан. – 2022. – С. 93-97.

15. Сунь Б. Оценка эффективности логистических процессов в холодовой цепи поставок на китайском рынке фармацевтической продукции. РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2022. – № 4. – С. 17-22.

16. Абдуллаев С., Альпенсов А., Сейдаметова Ж., Абдуллаева А. Исследования по построению интеллектуальной системы логистики холодовой цепи на основе повсеместного интернета вещей 5g. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2023. – № 2 (125). – С. 233-245.

17. Смирнова Е.А., Сунь Б. Перспективы применения технологии блокчейн в логистике холодовой цепи поставок на фармацевтическом рынке Китая. РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 1. – С. 24-30.

18. Сунь Б. Внедрение цифровых решений в управление холодовыми цепями поставок на рынке фармацевтической продукции. В сборнике: Повышение конкурентоспособности отечественной науки: развитие в условиях мировой нестабильности. материалы научной конференции аспирантов СПбГЭУ. Санкт-Петербург, 2023. – С. 379-384.

19. Баркова Н.Ю. Организация «холодовой цепи» на базе применения технологии интернета вещей в фармацевтической индустрии. В сборнике: Управленческие науки в современном мире. сборник докладов научной конференции. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – 2020. – С. 45-49.

20. Воробей С.Н. Технология интернета вещей (IOT) и ее применение. В сборнике: актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXIV Всероссийской Научно-практической конференции РАРАН. в 7-ми томах. Москва, 2021. – С. 148-152.

21. Кононович В.С., Шуневич В.И. Интернет вещей как кардинальное изменение взаимодействия в логистических цепочках. В сборнике: 76-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета. Материалы конференции. В 3-х частях. Редколлегия: В.Г. Сафонов [и др.]. 2019. – С. 128-131.

22. Овсянников А.Н., Панков В.В. Управление

безопасностью пищевой продукции на базе технологий IOT. В сборнике: актуальные вопросы научно-технологического развития агропромышленного комплекса. Материалы всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Махачкала, 2023. – С. 644-650.

23. Ferrara P., Mandal A.K., Cortesi A., Spoto F. Static analysis for discovering IOT vulnerabilities. International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT). – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 71-88.

24. Rahmani A.M., Bayramov S., Kiani Kalejahi B. Internet of things applications: opportunities and threats. Wireless Personal Communications. – 2021.

25. Дыбская В.В., Сергеев В.И. Использование цифровых двойников при мониторинге цепей поставок товаров FMCG. Логистика и управление цепями поставок. – 2020. – № 3 (98). – С. 3-15.

26. Ширяев А.А., Глушенко М.В., Глушенко С.А. Беспроводная технология NFC. В Сборнике: Проблемы и перспективы развития технических систем, машин и механизмов. Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 45-48.

27. Шарапов Д.С., Атаджанов К.О., Звягинцев В.Н., Клесов В.А., Полищук П.Д. Возникновение NFC технологии и её потенциал для развития. Наука и Бизнес: Пути Развития. – 2019. – № 9 (99). – С. 71-74.

28. Хабаров С.П. Современные бесконтактные технологии: применение и потенциал. В сборнике: мировые научные исследования в эпоху цифровизации и трансформации: теории и практики. Материалы XII международной научно-практической конференции. Рязань, 2023. – С. 81-84.

29. Sautter M., Sautter N., Shellock F.G. Near field communication (NFC) device: evaluation of MRI issues. Magnetic Resonance Imaging. 2022. – Т. 92. – С. 82-87.

30. Трушкина Е.А., Намиот Д.Е. Обмен данными между мобильными устройствами без организации соединений. International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10. – № 9. – С. 99-114.

31. Какабаев У., Атахаллыев К., Аманбердыев Дж., Максатов Х. Технология RFID и NFC их использования. В сборнике: теоретические и практические аспекты формирования и развития "новой науки". Сборник статей международной научно-практической конференции. в 2-х частях. Уфа, 2023. – С. 98-101.

32. Хамзаев Д.И., Хамзаев И.Х. Сравнительный анализ между RFID и NFC технологиями. Universum: Технические науки. – 2024. – № 1-1 (118). – С. 30-33.

33. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Писарик М.И. Интеллектуальная упаковка для овощей и фруктов, классификация и перспективы использования: обзор предметного поля. Health, Food & Biotechnology. – 2023. – Т. 5. – № 1. – С. 51-80.

34. Chiang Te.W., Yang Ch.Y., Chiou G.J., Lin F.Ye.S., Lin Yi.N., Shen V.R.L., Juang T.T.Y., Lin Ch.Ya. Development and evaluation of an attendance tracking system using smartphones with GPS and NFC. Applied Artificial Intelligence. – 2022. – Т. 36. – № 1. – С. 27-34.

35. Auccahuasi W., Herrera L., Rojas K., Martinez H.C., Ponce E.L., Sotomayor D.Yu., Herrera Salazar J.L. Method for registration of vaccines for covid 19, through NFC technology. Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Т. 2318. – № 1. – С. 012030.

36. Бородин А.В. Обзор технологий идентификации и позиционирования железнодорожного подвижного состава. Вестник института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 2 (62). – С. 49-55.

37. Громов Д.В., Каледин В.В., Скородумов А.И. Организация инфраструктуры мобильных NFC-сервисов с участием транспортных предприятий. Электросвязь. – 2014. – № 2. – С. 20-24.

38. Зиневич Д.В., Ворожбицкая Е.С. Мировые тренды информационных технологий отслеживания грузов в автомобильных международных перевозках и перспективы развития в республике Беларусь. В сборнике: Логистический аудит транспорта и цепей поставок. Материалы IV Международной научно-практической конференции. в 2-х томах. Тюмень, 2021. – С. 95-99.

39. Пеплер А.Э., Орешкина А.Д. Средства оперативного контроля данных перевозочного процесса. В сборнике: перспективные транспортные технологии. Материалы II

международной научно-практической конференции НТИ «Автонет». Москва. – 2023. – С. 36-43.

40. Zadorozhnyi Z.M., Muravskiy V., Shesternyak M., Hryt-syshyn A. Innovative NFC-validation system for accounting of income and expenses of public transport enterprises. Marketing and Management of Innovations. – 2022. – Т. 1. – № 1. – С. 84-93.

41. Conti M. Evo-NFC: extra virgin olive oil traceability using NFC suitable for small-medium farms. IEEE Access. – 2022. – Т. 10. – С. 20345-20356.

42. Kramar V., Määttä H., Hinkula H., Thorsen O., Cox G. Smart-fish system for fresh fish cold chain transportation - overall approach and selection of sensor material. Conference of Open Innovations Association, Fruct. – 2017. – № 21. – С. 202-209.

43. Гудонис В.М. Реализация NFC технологии в системах контроля и управления доступом. В сборнике: Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России. Доклады молодых ученых в рамках программы «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса» («Умник»). Сост. М.В. Лозовская, А.Г. Баделин. – 2015. – С. 27-29.

44. Oluwagbemiga Omotayo Shoewu, Lateef Adesola Akinyemi, Quadri Ademola Mumuni, Abiodun Afis Ajasa, Comfort Oluwaseyi Folorunso, Richard Edozie. Development of a smart attendance system using near field communication (SMART-NFC). Global Journal of Engineering And Technology Advances. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 121-139.

45. Бляблин А.А., Леонтьев М.А., Здравов А.В., Каганов Е.Б. Гибридная система позиционирования indoor/outdoor как метод комплексного мониторинга персонала. Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 9. – С. 39-42.

46. Намиот Д.Е., Макарычев И.П. Об альтернативной модели отметки местоположения в социальных сетях. International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 74-90.

47. Захаров Н.А. Сенсорные сети для Industry 4.0. Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 26-30.

48. Курзенева Т.А. NFC-метки как элемент "умного дома" и обеспечение их информационной безопасности. В Сборнике: Перспективные информационные технологии (Пит 2019). Труды Международной научно-технической конференции. Под Ред. С.А. Прохорова. – 2019. – С. 174-175.

49. Плотникова А.В. Использование NFC-технологий в повседневной жизни. В Книге: Информационные Технологии: Состояние и Перспективы Развития. Материалы III Международной Научно-Практической Конференции. – 2019. – С. 137-139.

50. Тимергалин А.Р., Ахметов Р.Д., Князев О.А. NFC как средство автоматизации бытовой и промышленной среды. Мировая Наука. – 2021. – № 7 (52). – С. 124-128.

51. Cecil S., Bammer M., Schmid G., Lamedschwandner K., Oberleitner A. Smart NFC-sensors for healthcare applications and further development trends. Elektrotechnik und informationstechnik. – 2013. – Т. 130. – № 7. – С. 191-200.

52. Kristiadi D.P., Hasanudin M. Mobile application of electronic medical record (EMR) systems using near field communication (NFC) technology. International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – № 10. – С. 68-72.

53. Бондарев В.П. Технология цифровой беспроводной передачи данных ZIGBEE. В сборнике: Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Посвящается 100-летию Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Ответственный редактор А.В. Олифиров. – 2018. – С. 392-395.

54. Краевский Д.Е., Кудрявченко И.В. Организация связи роя мобильных объектов на основе технологии ZigBee. Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2020. – № 3. – С. 103.

55. Cobo A., Nguyen M.T., Pham V.N., Vu T.C., Nguyen M.D., Nguyen D.T. Zigbee based mobile sensing for wireless sensor networks. Computer Networks and Communications. – 2023.

56. Friesen M.R., Mcleod R.D. Bluetooth in intelligent transportation systems: A survey. International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. – 2015. – Т. 13. – № 3. – С. 143-153.

**Статья публикуется в рамках бюджетной
темы FFZF – 2022-0004.**

Статья поступила в редакцию 28.06.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.942

EDN: KFLDGC

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕР В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

© Автор(ы) 2024

SPIN-код: 7198-5521

AuthorID: 415365

ORCID: 0000-0002-7495-1090

ResearcherID: GWC-2625-2022

ScopusID: 57204969256

ПРОКОФЬЕВ Олег Владимирович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и системы»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail Prokof_ow@mail.ru)

Аннотация. Искусственный интеллект (ИИ), применяемый в целях защиты информации, является перспективным направлением развития кибербезопасности, вызывающим широкий интерес в мире. Но, одновременно, машинное обучение, способность к развитию интеллектуальной системы защиты информации, предоставляют злоумышленникам возможности по созданию угроз защищаемой информации. Поэтому автором была поставлена цель исследования – выработка такой методики применения искусственного интеллекта, чтобы интеллектуальный анализ данных наибольшим образом способствовал бы распознаванию и предупреждению мошеннических операций, с большой вероятностью прогнозировал бы появление угроз и, в то же время, обладал минимальной уязвимостью к атакам злоумышленников. Выполнен обзор и систематизация публикаций о преимуществах интеллектуального анализа состояния защищаемого объекта и формируемых в ходе машинного обучения (МО) потенциальных уязвимостях, анализ открытых статистических отчетов по анкетированию специалистов в области разработки и использования ИИ. Предложен пример классификация информационных рисков для финансовой организации. Дана оценка текущему состоянию интеллектуальных средств кибербезопасности и построены перспективные оценки атак злоумышленников в ближайшем будущем. Разработана концептуальная основа превентивных решений в виде совокупности характеристик алгоритмов МО и задач по разработке, соответствующих прогнозам по информационным рискам. Статья может быть полезна разработчикам и исследователям, выполняющим работу по обучению нейронных сетей для предметной области защиты информации, когда совершенствование сети для противостояния кибератакам может сопровождаться возникновением и ростом угроз информационной безопасности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, защита информации, информационная безопасность, информационный риск.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PROVIDE PREVENTIVE MEASURES IN THE FIELD OF INFORMATION PROTECTION

© The Author(s) 2024

PROKOFIEV Oleg Vladimirovich, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Information Technologies and Systems

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail Prokof_ow@mail.ru)

Abstract. Artificial intelligence (AI) used for information protection purposes is a promising area of cybersecurity development, which is of great interest worldwide. However, machine learning and the ability to develop an intelligent information protection system provide attackers with opportunities to create threats to protected information. Therefore, the author set the goal of the study to develop a methodology for using artificial intelligence so that intelligent data analysis would contribute to the greatest possible recognition and prevention of fraudulent transactions, predict the emergence of threats with a high confidence level, and at the same time, have minimal vulnerability to attacks by attackers. A review and systematization of publications on the advantages of intelligent analysis of the state of the protected object and potential vulnerabilities formed during machine learning (ML), an analysis of open statistical reports on a survey of specialists in the field of AI development and use are performed. An example of classification of information risks for a financial organization is proposed. An assessment of the current state of intelligent cybersecurity tools is given and prospective assessments of attackers in the near future are built. A conceptual basis for preventive solutions has been developed in the form of a set of characteristics of ML algorithms and development tasks corresponding to forecasts of information risks. The article may be useful for developers and researchers working on training neural networks for the subject area of information security, when improving the network to counter cyberattacks may be accompanied by the emergence and growth of information security threats.

Keywords: Artificial intelligence, information protection, information security, information risk.

Для цитирования: Прокофьев О.В. Применение искусственного интеллекта для обеспечения превентивных мер в области защиты информации / О.В. Прокофьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 35-42. – EDN: KFLDGC.

Введение. Искусственный интеллект (ИИ), как автономная саморазвивающаяся система мышления, способная обучаться на неизвестных заранее данных, может быть применён в обеспечении кибербезопасности с помощью его возможностей решать задачи классификации и прогнозирования. Процессы постоянного развития системы, самонастройки модели предметной области улучшают качество распознавания угрозы информационной безопасности или перспективной оценки её скорого появления. Однако возможности совершенствования системы могут быть, вопреки первоначальным намерениям, использованы злоумышленниками и стать источниками информационных рисков. Поэтому при определённом стечении обстоятельств ИИ вместо средства обеспечения защиты информации может быть использован противоположным образом – как инструмент атак и мошеннических схем. Кроме того, недостаточно контролируемый процесс развития ИИ может привести к нарушениям

этики и права цивилизованного общества [1-16], к состоянию «технологической сингулярности» [17]. Понимание текущего положения вещей и исторической перспективы становится массово распространённым явлением. Пример оценки уровня востребованности инженерных решений в этой области представлен на рисунке 1. Поисковая аналитическая система *Google Trends* (<https://trends.google.ru/trends/>) собрала данные о популярности запросов на тему «*artificial intelligence for cybersecurity*» за 2015-2024 гг. и представила в виде диаграммы. На рисунке 1 видно формирование восходящего тренда количества запросов, приближающегося к уровню 100%, т.е. к наивысшей степени популярности запроса. Вследствие перечисленного, целью работы является разработка методики внедрения интеллектуальной системы защиты информации, обеспечивающей раскрытие преимуществ интеллектуального мониторинга обращений к данным и снижение потенциальных рисков.

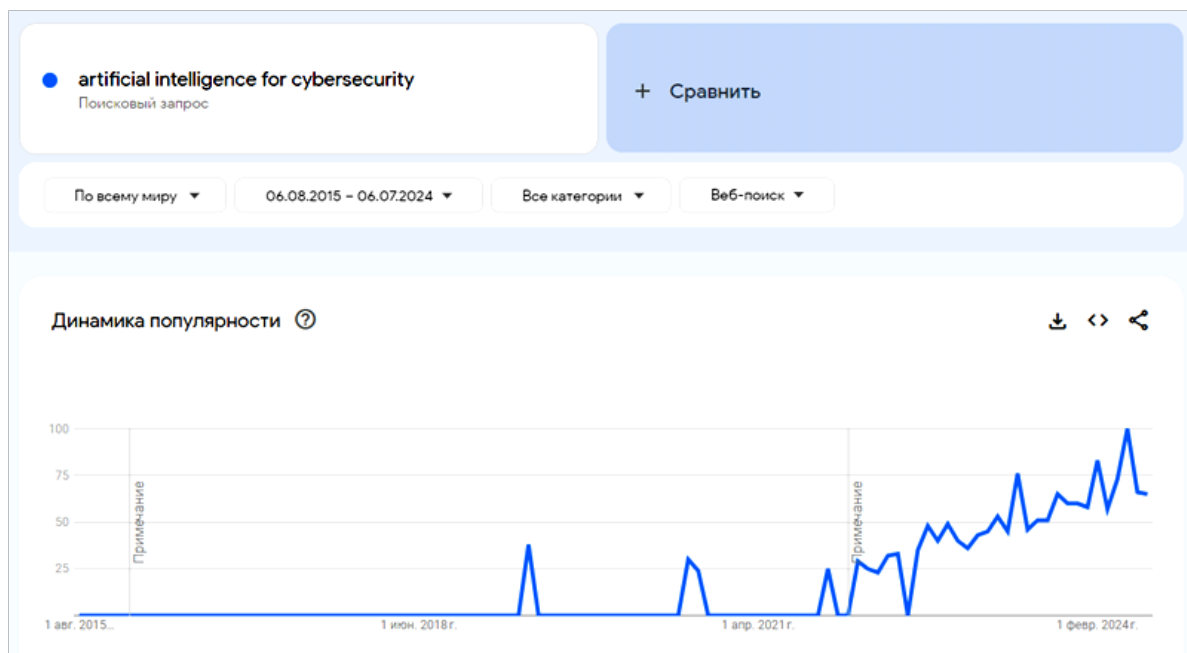


Рисунок 1 – Динамика популярности поисковых запросов об искусственном интеллекте для информационной безопасности по данным Google Trends за последнее десятилетие

Вследствие отмеченного можно утверждать, что высокий интерес к применению искусственного интеллекта для обеспечения защиты информации сочетается с недостаточно развитой системой мер защиты от сопутствующих рисков [18-22].

Методология. В связи с большим количеством публикуемых источников по обсуждаемой теме, автором использован поиск и анализ информации из обзорных статей, открытых статистических отчётов [18-22], систематизация рисков на основе выделения основных классификационных признаков,

прогнозирование сценариев развития угроз информации. В таблице 1 собраны выявленные к настоящему времени статьи – агрегаторы информации, отражающие многогранную и противоречивую сущность ИИ, применяемого в защите информации.

Анализ тенденций показывает, что универсального подхода для снижения риска пока не существует и неосторожное применение ИИ в сфере кибербезопасности может привести к потенциально дискриминационным выводам, "несправедливым" выводам. Повышение уровня противостояния

отслеживанию данных отдельных пользователей возможно за счёт принципа дифференциальной конфиденциальности, то есть, мер по агрегированию данных, внесению шумов в наборы данных, обеспечению анонимности. Основные направления деятельности злоумышленников при посягательствах на конфиденциальную информацию – это разработка

атаки вывода членства (принадлежности) и разработка инверсной атаки. В первом случае успешная атака злоумышленником осуществляется, когда он может с достаточно высокой вероятностью узнать, использовалась ли проверяемая запись данных в наборе данных для обучения целевой модели или не использовалась.

Таблица 1 – Источники информации с масштабной агрегацией данных по области исследования

Темы исследований	Методы	Интерпретация данных: качественные или количественные	Аргументы и вклад	Ссылки
ИИ, информационная безопасность	Обзор литературы	качественные	Модели поведения роя могут быть включены в системы защиты от вредоносных программ	[18]
ИИ, умные города	Анализ литературы	качественные	Обзор методов ИИ	[19]
ИИ, общественные медиа, информационная безопасность	Обзор литературы и медиа	качественные	ИИ может быть интегрирован в кибербезопасность социальных сетей	[20]
ИИ, информационная безопасность	Обзор литературы	качественные	Описание кибератак на сетевые стеки и приложения	[21]
ИИ, информационная безопасность	Обзор литературы	качественные	ИИ способствует сокращению времени обучения модели	[22]

Во втором случае производится атака с инверсией модели, при которой злоумышленник имеет возможность извлечь обучающие данные непосредственно по результатам работы нейронной сети. В этом случае нарушитель строит свою модель, данными для обучения которой являются результирующие данные взламываемой модели. Поэтому результатом работы инверсной модели являются прогнозируемые исходные данные модели, применяемой в защите информации. Ввиду практической значимости потенциального ущерба от потери конфиденциальности, перечисленные уязвимости должны быть учтены и сформированы подходы к превентивному противодействию рискам.

Результаты. Источники рисков, возникающих на этапах жизненного цикла создания и применения интеллектуальной системы защиты информации, включая машинное обучение (МО), приведены на рисунке 2. Классификация выполнена на примере предметной области финансовой организации [23] и рассмотрена ниже.

Для рисков, связанных с данными для обучения, характерна, в первую очередь, недостижимость абсолютной полноты данных, учёта всех контекстов и сценариев развития событий. Кроме того, могут быть использованы данные низкого качества: потерявшие актуальность, неполные, аномальные, данные неустойчивых процессов и данные из неподходящего контекста. Следствием являются неверно рассчитанные прогнозы, ошибки в классификации объектов.

Такие умышленные действия, как атаки на системы с ИИ/МО, могут подразумевать лишение конфиденциального статуса данных, порчу ("отравление") данных, добычу параметров модели искусственного

интеллекта. Выявление злоумышленником данных для обучения модели означает потерю их конфиденциальности. Два основных вида атак на конфиденциальность данных (вывода членства и разработка инверсной атаки) описаны выше. Испорченность, "отравление" данных – преднамеренное добавление шумов, случайной составляющей в данные для обучения системы. Таким образом можно увеличить долю неправильных выводов, ошибок распознавания и ухудшить качество процесса переобучения. Испорченные данные могут быть использованы для предвзятых суждений и организации лазейки в системе защиты информации. Вредные воздействия могут быть также в форме состязательных атак, когда данные целенаправленно вводятся для обмана модели, вынесения ошибочного суждения (например, вставка в спам-письма "правильных" слов и маскировка "неправильных"). Извлечение параметров самой сетевой модели, если блокировка таких действий не предусмотрена, может быть реализовано с высокой скоростью и упрощает доступ злоумышленникам.

В процессе эксплуатации изменения в постановке задачи могут накапливаться и становятся причиной возникновения дополнительных рисков. Процессы с высокой динамикой могут привести к тому, что ранее обученная сеть эксплуатируется в новых условиях и может предоставить неправильный вывод. Заранее невозможно предвидеть все новые сочетания входных данных, создать полный набор обучающих и тестовых данных для всех вариантов развития событий. Процесс формирования результатов нейросетевой модели сложен и модель является "чёрным ящиком" с точки зрения пользователя, доверие при отсутствии прозрач-

ности вывода является проблематичным, затруднена оценка качества работы. Субъективно выбранные данные для обучения могут привести к "несправедливым" результатам, необоснованной дискриминации классифицируемых объектов. Предвзятость в выборе данных для обучения и тестирования может привести к ошибкам в допуске или недопуске к информации, несправедливым решениям в отношении сотрудников и клиентов, привести к дефектам бизнес-процессов.

Комплаенс, как соответствие требованиям политики безопасности организации, должен быть обеспечен при работе систем с ИИ, однако отсутствие гарантий этого соответствия является потенциальным источником риска.

Тем не менее, можно отметить, что для различных прикладных областей сейчас активно разрабатываются и успешно внедряются системы защиты информации с искусственным интеллектом. Некоторые примеры применения [21, 22], позволяющие предупреждать проблемы уязвимости, перечислены ниже.

1. Усиленная защита "конечных точек" корпоративных информационных систем. Обновление антивирусной базы может отставать от запросов времени и устройства удалённых работников могут быть разнообразными, но ИИ позволяет заметить аномальные события в операционной среде. Таким образом, доступны превентивные меры против угроз вместо ожи-

дания обновлённых сигнатур базы.

2. Обнаружение подозрительных денежных транзакций. Применение МО для формирования модели ожидаемого поведения потребителя, моделей типичного поведения покупателя и поставщика, образа места транзакции даёт возможность прогнозировать мошеннические транзакции.

3. Фильтрация ботов. Классификация запросов на обычные запросы поисковых систем, запросы субъектов-пользователей и запросы ботнетов, в последнем случае – ответная реакция в реальном времени.

4. Искусственная "иммунная система" корпоративной сети за счёт собственного сканирования уязвимостей позволяет сформировать превентивные меры защиты.

5. Защита данных в интернете вещей и совершенствование процедуры идентификации пользователя вещей. Выявление случаев небезопасного сбора и обмена данными (в том числе, с облачным хранилищем), попыток выдачи себя за другого пользователя.

6. Перспективные оценки наиболее вероятных атак. Методы компьютерной лингвистики позволяют собирать материалы статистических отчётов, дайджестов и других специализированных изданий об актуальных киберугрозах, позволяют выполнить прогнозирование будущих сценариев действий злоумышленников.



Рисунок 2 – Классификация рисков искусственного интеллекта

В целом, сегодняшнее состояние интеллектуальной защиты информации характеризуется внедрением машинных классификаторов, а именно систем обнаружения вторжений в сеть, фильтров спама в электронной почте, текстовых и графических сообщениях, средств обнаружения вредоносного программного обеспечения.

Были выявлены перечисленные далее направления развития систем защиты информации с ИИ:

- обеспечение безопасного обмена информацией с удалённо работающими сотрудниками;
- высвобождение экспертов и автоматизация мониторинга активности в оборонной сфере, распознания моделей информационных атак, защиты от фишинга и программ-вымогателей;
- выявление вредоносных ботов в Сети, в том числе имитирующих действия удалённо работающих сотрудников, распознавание атак методами социальной

инженерии;

- управление информационными технологическими (ИТ) операциями в условиях растущего количества передаваемых форм данных (например, от устройств Интернета вещей, *API*, мобильных приложений и т.д.);

- достижения в области облачной инфраструктуры и сторонних сервисов приведут к нарастанию сложности ИТ-операций и для сохранения контроля над операциями потребуется интеллектуальная поддержка решений;

- интеграция разнообразных данных, переход к большим данным в социальной и производственной сферах, обработка которых без ИИ не представляется возможной.

Перечислим основные тенденции в использовании ИИ для кибератак в ближайшем будущем.

1. Точно так же, как ИИ может контролировать сеть для обнаружения атак, злоумышленники стремятся использовать ИИ для наблюдения за решениями по защите информации и использовать сеть глубокого обучения для автоматических состязательных атак на системы защиты;

2. ИИ можно использовать для создания атак с испорченными ("отравленными") данными, нацеленных на защитные системы ИИ, для искажения обучающих данных, что приводит к неточным или предвзятым решениям системы киберзащиты;

3. Поскольку большая часть обучающих данных для алгоритмов защиты ИИ алгоритмы основаны на общедоступных записях и записях открытого доступа об утечках данных, злоумышленники могут использовать одни и те же данные или проводить кражу обучающих данных, чтобы узнать, как работают алгоритмы защиты.

4. На основе состязательного принципа можно создавать ложноположительные и ложноотрицательные ошибочные классификации, чтобы замаскировать реальную атаку.

Существуют организационные, социотехнические, экономические факторы и особенности прикладных областей, способные увеличить уязвимости системы защиты информации с ИИ. Перечислим основные из них.

1. Технические решения в области защиты информации с помощью ИИ пока ещё не являются сравнительно доступными по цене, особенно для небольших предприятий. Если предположить, что в организации система защиты всё же внедрена (например, при поддержке государства), то атаки злоумышленников, рассчитанные на масштабные корпоративные информационные системы, могут стать более целенаправленными и эффективными.

2. Состязательные алгоритмы обучения нейронной сети, применяемые злоумышленниками, доступны через платные библиотеки, имеют возможность быстрой проверки и модификации. Алгоритмы для отражения атак имеют конкретную направленность, для них характерны проблема модифицируемости

для новой операционной среды и ограничения для обмена опытом применения.

3. Противоречия между техникой и технологиями научного эксперимента, с одной стороны, и потребностями производства, с другой стороны. На предприятии могут храниться актуальные большие данные со скрытыми закономерностями, в том числе, отображающими новые виды атак злоумышленников. В то же время, система с ИИ, созданная в научно-исследовательской организации, предоставляет точные прогнозы и классификации на тех наборах данных, которыми располагает разработчик.

4. Создание наборов данных для обучения системы защиты информации зачастую основывается на моделях операционной среды, а не на производственных данных. Также алгоритмы для противостояния злоумышленникам должны гарантировать обеспечение качества информации, в первую очередь, конфиденциальность данных. Однако состязательные алгоритмы взлома не ограничены в соответствии с законом и нормами этики.

Обсуждение. Обобщая результаты, можно прийти к методике реализации интеллектуальных систем защиты информации, использующей актуальные алгоритмы обучения и архитектуры нейронных сетей. Предлагаемые к внедрению в рамках этой методики технические решения представлены на рисунке 3, отражающем концептуальную основу и комплексный подход к решению задачи.

Противодействие разведке злоумышленников, предотвращение их атак возможны на основе скрытых семантических моделей с глубокой структурой, которые представляют запросы и документы в информационном пространстве малой размерности, делающем доступным анализ целей поиска информации. Методы глубокого обучения способны не только обнаруживать угрозу "нулевого дня", но и противостоять атакам состязательного вида. Многозадачное машинное обучение позволяет использовать многокритериальную оптимизацию модели, потому что в защите информации осуществляется поиск решения нескольких взаимосвязанных задач, касающихся аналитики трафика и производительности системы.

Комплексный подход к реализации превентивных мер по защите информации предполагает снижение доли сложных и непрозрачных решений. Новый математический инструментарий обладает непосредственно интерпретируемыми механизмами логического вывода и апостериорной интерпретируемостью результата. Среди более точных и прозрачных математических средств вывода можно упомянуть следующие:

- масштабируемые списки байесовских правил (*Scalable Bayesian Rule Lists, SBRL*) – алгоритмы МО, снижающие влияние ошибок ветвления в вершине дерева;

- объясняющие машины повышения мощности (*Explainable Boosting Machine, EBM*) – основанные

на древовидной структуре циклические градиентные бустинговые аддитивные модели "стеклянного ящика", не уступающие по точности распространённым методам МО *Random Forest* и *Boosted Trees*;

– машины градиентного усиления (*Gradient Boosting Machine, GBM*) – ансамблевые методы прямого МО на основе деревьев решений, которые строят по всем признакам набора данных и добиваются наиболее точных приближений результатов прогнозирования и классификации.

Визуализации в сочетании с прогнозирующей аналитикой может обеспечить значительный прогресс в текущем состоянии кибербезопасности. Средства ИИ, которые могут улучшить текущую предиктивную аналитику, включают в себя нейронные сети на основе временных графов, обу-

чаемых на графоструктурированных данных (с реализацией возможности коррекции параметров узлов и рёбер), глубокие генеративные модели для создания и интерпретации временных графов, модели обнаружения всплесков, модели для глубокого байесовского прогнозирования. Совокупность алгоритмов МО и процедур анализа данных, лежащая в основе системы защиты информации, обладает достаточной прочностью для противостояния атакам и сохранения конфиденциальности данных критически важных систем.

Придя к необходимости принятия превентивных решений по защите информации, следует отметить итерационный характер этого процесса. Состязательный ИИ будет продолжать развиваться, и решение должно повторять процессы, чтобы гарантировать эффективность от будущих рисков ИИ.

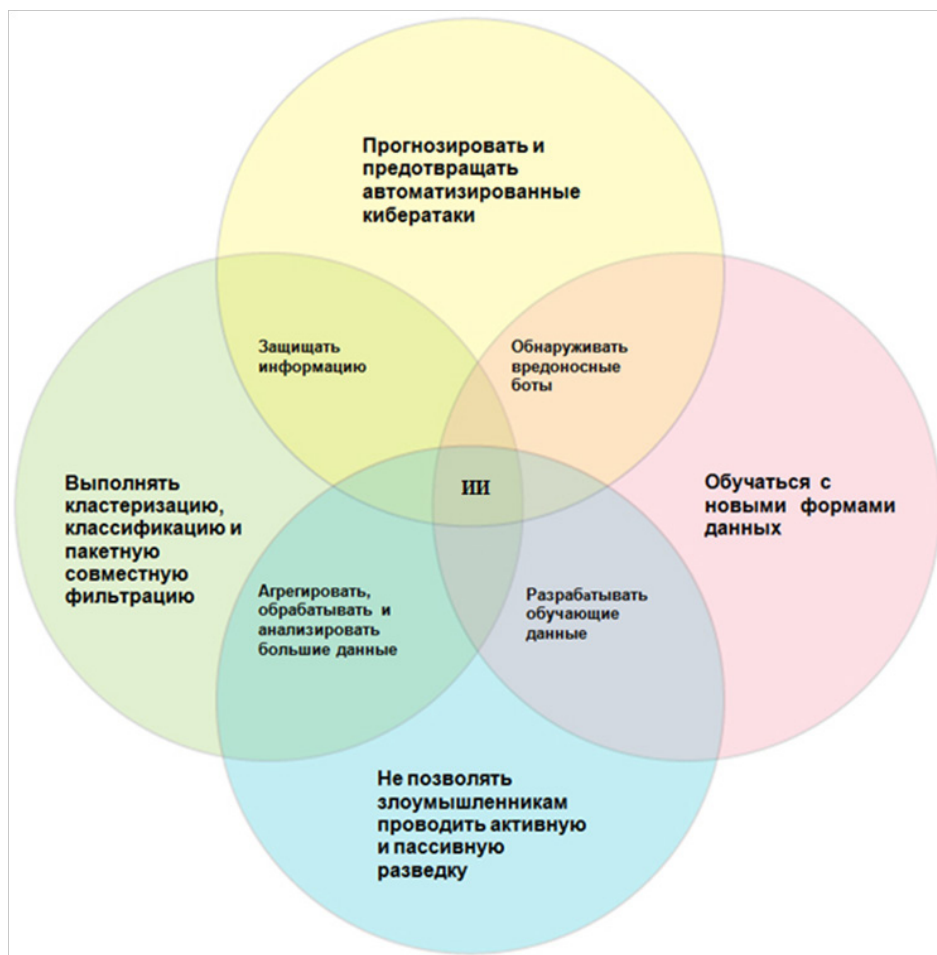


Рисунок 3 – Концептуальная основа разработки системы кибербезопасности с ИИ

Выводы. Методика применения алгоритмов ИИ в качестве превентивных решений против мошеннических систем описывает ряд организационных мер для комплексного применения (рис. 4). Прогнозирование рисков ИИ даёт возможность не только для обнаружения атак, но и одновременно служит для оценки уязвимостей самого ИИ.

Методика применения ИИ для защиты от атак

злоумышленников с использованием уязвимостей самого ИИ подразумевает реализацию следующих превентивных решений.

Перечислим их.

1. Прогнозирование наиболее вероятного пути к разработке более эффективных алгоритмов ИИ.

2. Сравнительный анализ появляющихся и неожиданных угроз от атак с использованием проти-

вооружающего ИИ, автоматизирующего атаки. Желательна разработка ИИ на основе компактных представлений, которые могут работать с меньшими требованиями к памяти.

3. Проверка готовности систем ИИ к безопасности: проектирование самоадаптирующихся систем ИИ, компрометируемых в результате кибератаки, например, управляемого бота, запускающего автоматизированную атаку.

4. Предотвращение предвзятости в алгоритмах ИИ может быть осуществлено методом минимизации

разнородного воздействия: переменная(ые), которые вызывают дискриминацию, исключаются из системы, а несколько других переменных проходят тестирование на предмет ввода в модель.

5. Разработка и использование новых форм данных для количественной оценки рисков в реальном времени, включая потребление энергии и конечную результативность обнаружения атак.

6. Разработка адаптирующейся модели прогнозирования рисков от ИИ, предоставляющей выводы в реальном времени.



Рисунок 4 – Превентивные решения для атакуемых систем искусственного интеллекта

Перечисленные процедуры, входящие в состав методики, не противоречат возможности совершенствовать систему защиты и после компрометации восстановить её работоспособность, а также избегать состояния "технологической сингулярности". Выполнение превентивных решений открывает перспективу деятельности разработчикам в области ИИ, поддерживающим системы защиты информации в актуальном состоянии и работающим над созданием профилактических мер противодействия атакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Vincent Boulanin, Lora Saalman, Petr Topychkanov, Fei Su And Moa Peldán Carlsson (2020). Artificial Intelligence, Strategic Stability and Nuclear Risk. https://www.sipri.org/sites/default/files/2020-06/artificial_intelligence_strategic_stability_and_nuclear_risk.pdf
2. Integrating Cybersecurity and Critical Infrastructure. National, Regional and International Approaches. Edited by Lora Saalman (2018). https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-04/integrating_cybersecurity_0.pdf
3. The Impact of Artificial Intelligence on Strategic Stability and Nuclear Risk. Volume I. Euro-Atlantic Perspectives. Edited by Vincent Boulanin (2020). <https://www.sipri.org/publications/2020/other-publications/artificial-intelligence-strategic-stability-and-nuclear-risk>
4. Vincent Boulanin and Maaïke Verbruggen (2020). Mapping the Development of Autonomy in Weapon Systems. https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-04/integrating_cybersecurity_0.pdf
5. Vincent Boulanin, Laura Bruun and Netta Goussac (2021). Autonomous Weapon Systems And International Humanitarian Law. Identifying Limits and the Required Type and Degree of Human-Machine Interaction. <https://www.sipri.org/sites/default/>

[files/2021-06/2106_aws_and_ihl_0.pdf](https://www.sipri.org/sites/default/files/2021-06/2106_aws_and_ihl_0.pdf)

6. Lora Saalman, Fei Su and Larisa Saveleva Dovgal (2022). Cyber Posture Trends in China, Russia, the United States and the European Union. https://www.sipri.org/sites/default/files/2022-12/2212_cyber_postures_0.pdf
7. Vincent Boulanin (2017). Mapping the development of autonomy in weapon systems. A primer on autonomy. <https://www.sipri.org/sites/default/files/Mapping-development-autonomy-in-weapon-systems.pdf>
8. Vincent Boulanin, Netta Goussac, Laura Bruun And Luke Richards (2020). Responsible Military Use of Artificial Intelligence. Can the European Union Lead the Way in Developing Best Practice? <https://www.sipri.org/publications/2020/other-publications/responsible-military-use-artificial-intelligence-can-european-union-lead-way-developing-best>
9. Vincent Boulanin, Kolja Brockmann And Luke Richards (2020). Responsible Artificial Intelligence Research And Innovation For International Peace And Security. https://www.sipri.org/sites/default/files/2020-11/sipri_report_responsible_artificial_intelligence_research_and_innovation_for_international_peace_and_security_2011.pdf
10. Mark Bromley and Giovanna Maletta (2018). The Challenge of Software and Technology Transfers to Non-Proliferation Efforts. Implementing and Complying with Export Controls. <https://www.sipri.org/publications/2018/other-publications/challenge-software-and-technology-transfers-non-proliferation-efforts-implementing-and-complying>
11. Johan Turell, Fei Su And Vincent Boulanin (2020). Cyber-incident Management Identifying and Dealing with the Risk of Escalation. IPRI Policy Paper No. 55 <https://www.sipri.org/publications/2020/sipri-policy-papers/cyber-incident-management-identifying-and-dealing-risk-escalation>
12. Forrest E. Morgan, Benjamin Boudreaux, Andrew J. Lohn, Mark Ashby, Christian Curriden, Kelly Klima, Derek Grossman. Military Applications of Artificial Intelligence. RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2020, Pages 202.
13. Christian Ruhl. Autonomous weapon systems and military artificial intelligence (AI) applications report. May 202. <https://>

www.founderspledge.com/research/autonomous-weapon-systems-and-military-artificial-intelligence-ai.

14. Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence: An Open Letter. Future of Life Institute. https://futureoflife.org/data/documents/research_priorities.pdf (дата обращения: 09.03.2024).

15. Pause Giant AI Experiments: An Open Letter. <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/> (дата обращения: 10.07.2024).

16. Кодекс этики в сфере ИИ. URL: <https://ethics.a-ai.ru/> (дата обращения: 10.07.2024).

17. Issac, Reji & S., Sangeetha & S., Silpa. (2020). Technological Singularity in Artificial Intelligence. 10.13140/RG.2.2.32607.84646. DOI:10.13140/RG.2.2.32607.84646.

18. Truong, T.C., Zelinka, I., Plucar, J., Candik, M., Sulc, V. (2020). Artificial Intelligence and Cybersecurity: Past, Presence, and Future. In: Dash, S., Lakshmi, C., Das, S., Panigrahi, B. (eds) Artificial Intelligence and Evolutionary Computations in Engineering Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1056. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0199-9_30.

19. Zaib Ullah, Fadi Al-Turjman, Leonardo Mostarda, Roberto Gagliardi, Applications of Artificial Intelligence and Machine learning in smart cities, Computer Communications, Volume 154, 2020, Pages 313-323, <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.069>.

20. Thuraisingham B (2020) "The role of artificial intelligence and cyber security for social media", in Proceedings – 2020 IEEE 34th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops, IPDPSW 2020, pp. 1116-1118.

21. S. Zeadally, E. Adi, Z. Baig and I. A. Khan, "Harnessing Artificial Intelligence Capabilities to Improve Cybersecurity", in IEEE Access, vol. 8, pp. 23817-23837, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968045.

22. Wiafe I, Koranteng FNti, Obeng ENyarko, Assyne N, Wiafe A, Gulliver SR (2020) Artificial Intelligence for Cybersecurity: A Systematic Mapping of Literature. IEEE Access 8:146598–146612.

23. Artificial Intelligence Risk & Governance. By Artificial Intelligence/Machine Learning Risk & Security Working Group (AIRS). <https://ai.wharton.upenn.edu/white-paper/artificial-intelligence-risk-governance/> (дата обращения: 10.07.2024).

Статья поступила в редакцию 18.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.421

EDN: KUYWIT

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СЕДИМЕНТАЦИИ

© Автор(ы) 2024

SPIN: 4911-7158

AuthorID: 1160570

ORCID: 0009-0002-6980-056X

СКВОРЦОВ Даниил Евгеньевич, программист кафедры

«Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды»

*Иркутский национальный исследовательский технический университет
(664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: daniil-skvorcov@mail.ru)*

SPIN: 4471-9617

Author ID: 1075584

ORCID: 0000-0003-3486-8214

ResearcherID: KIC-5621-2024

ScopusID: 57203155501

ШАДРИН Дмитрий Германович, PhD, ведущий научный сотрудник

*Иркутский национальный исследовательский технический университет
(664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: d.shadrin@skoltech.ru)*

SPIN: 6676-0131

AuthorID: 653720

ORCID: 0000-0001-5298-445X

ResearcherID: E-1799-2017

ScopusID: 57170725500

БУРДОНОВ Александр Евгеньевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды»

*Иркутский национальный исследовательский технический университет
(664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: slimbul@inbox.ru)*

ORCID: 0009-0008-2210-6558

ResearcherID: KYQ-9123-2024

ШОНХОДОВ Зандан Чимитдашиевич, инженер кафедры

«Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды»

*Иркутский национальный исследовательский технический университет
(664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: Zandanshonhodoev@gmail.com)*

Аннотация. В статье рассматривается возможность проведения лабораторных исследований процесса седиментации с использованием автоматизированной информационной системы. Особое внимание уделяется реализации распределённой архитектуры, хранению разнородных данных, а также применению компьютерного зрения для распознавания границ раздела жидкостных сред. Описывается реализация аппаратной составляющей системы, а также взаимодействие её программных модулей. Предлагается использование узкоспециализированных серверов для возможности масштабирования системы. Основным решением задачи определения границы раздела жидкостных сред предлагается использование нейросетевой модели семейства YOLOv8. В качестве альтернативы нейросетевой модели применяется алгоритм, основанный на анализе значений пикселей изображений в градациях серого. Для проверки работы автоматизированной информационной системы проводятся лабораторные эксперименты с использованием глинозёмсодержащей руды. В статье приводятся результаты определения скорости осаждения твёрдых частиц в жидкостной среде с добавлением флокулянта. Исходные данные обрабатываются с помощью сравниваемых методов компьютерного зрения для определения скорости осаждения твёрдых частиц. По полученным результатам сделан вывод о возможности применения разрабатываемой автоматизированной информационной системы.

Ключевые слова: седиментация, сгущение, программно-аппаратный комплекс, машинное зрение, лабораторные исследования, автоматизированная информационная система.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR CONDUCTING LABORATORY RESEARCH OF THE SEDIMENTATION PROCESS

© The Author(s) 2024

SKVORTSOV Daniil Evgenievich, programmer of the department of

"Mineral processing and environmental protection"

Irkutsk National Research Technical University

(664074, Irkutsk, Lermontov st. 83, e-mail: daniil-skvorcov@mail.ru)

SHADRIN Dmitry Germanovich, PhD, leading researcher

Irkutsk National Research Technical University

(664074, Irkutsk, Lermontov St. 83, e-mail: d.shadrin@skoltech.ru)

BURDONOV Alexander Evgenievich, candidate of Technical Sciences,

associate Professor of the Department of Mineral Processing and Environmental Protection

Irkutsk National Research Technical University

(664074, Irkutsk, Lermontov St. 83, e-mail: slimbul@inbox.ru)

SHONKHODOYEV Zandan Chimtdashievich, engineer of the department

"Mineral processing and environmental protection"

Irkutsk National Research Technical University

(664074, Irkutsk, Lermontov st. 83, e-mail: Zandanshonhodoev@gmail.com)

Abstract. The article considers the possibility of conducting laboratory studies of the sedimentation process using an automated information system. Special attention is paid to the implementation of a distributed architecture, the storage of heterogeneous data, as well as the use of computer vision to recognize the boundaries of liquid media. The implementation of the hardware component of the system, as well as the interaction of its software modules, is described. It is proposed to use highly specialized servers to scale the system. The main solution to the problem of determining the interface of liquid media is proposed to use a neural network model of the YOLOv8 family. As an alternative to the neural network model, an algorithm based on the analysis of pixel values of images in grayscale is used. Laboratory experiments using alumina-containing ore are conducted to verify the operation of the automated information system. The article presents the results of determining the deposition rate of solid particles in a liquid medium with the addition of flocculant. The initial data are processed using comparable computer vision methods to determine the deposition rate of solid particles. Based on the results obtained, a conclusion is made about the possibility of using the automated information system being developed.

Keywords: sedimentation, thickening, hardware and software complex, machine vision, laboratory research, automated information system.

Для цитирования: Скворцов Д.Е. Автоматизированная информационная система проведения лабораторных исследований процесса седиментации / Д.Е. Скворцов, Д.Г. Шадрин, А.Е. Бурдонов, З.Ч. Шонходоев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 43-50. – EDN: KUYWIT.

Введение. Эффективное управление природными ресурсами является необходимой составляющей повышения экономической эффективности современных предприятий. Кроме того, текущая экологическая ситуация в мире требует модернизации производственных циклов на предприятиях с целью снижения их негативного влияния на окружающую среду [1]. Отрасль добычи и обогащения полезных ископаемых характеризуется интенсивным использованием природных ресурсов, образованием большого количества отходов и, как следствие, негативным воздействием на объекты окружающей среды, что обуславливает необходимость внедрения современных методов управления природными ресурсами и техногенным сырьем.

Одним из ключевых технологических переделов при переработке полезных ископаемых, касаемый управления отходами, является процесс сгущения и складирования хвостов [2-3]. Операция сгущения позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию, снизить объем хвостов, поступающих на хвостохранилище и организовать внутрифабричный водооборот с получением достаточного количества технологической оборотной воды.

Для достижения высокой эффективности работы сгустителей существуют методы определения оптимальных параметров их работы [4]. Одним из ключевых технологических параметров при очистке сточных вод и сгущении пульпы является скорость

осаждения частиц. Как правило, первичные лабораторные исследования по определению скорости осаждения частиц проводятся с применением различных химических реагентов (среди них коагулянты, флокулянты, регуляторы среды). Одним из классических методов является фиксация скорости осаждения частиц в мерном цилиндре. Скорость осаждения частиц определяет динамику седиментации.

В настоящее время лабораторные исследования во многих случаях не имеют какой-либо автоматизации. Измерения уровня границы раздела сред осуществляются исследователями только за счет визуального наблюдения. В связи с этим существует большая вероятность ошибки при фиксации параметров осаждения. Такой подход требует активного участия и внимания исполнителя, затрачивает много времени для сбора исходных данных и их дальнейшей обработки.

С целью совершенствования процесса измерения скорости осаждения частиц могут внедряться автоматизированные информационные системы (АИС). Основные подходы по разработке этих систем описаны в ряде работ [5-6]. Отдельное внимание уделяется использованию методов компьютерного зрения, как классических [7], так и на основе нейросетевых моделей [8].

В качестве примера реализации автоматизированной информационной системы можно привести разработку «SediRack» от компании «Cettem». «SediRack» является программно-аппаратным комплексом, позво-

ляющим одновременно проводит до пяти лабораторных испытаний за счёт автоматизации сбора изображений процесса седиментации и их последующего анализа [9].

Несмотря на явные сильные стороны программно-аппаратного комплекса «*SediRack*», часть используемых в нём решений могут быть скорректированы с учётом актуальных средств и методов разработки автоматизированных информационных систем. Среди них можно обозначить производительные нейросетевые модели для распознавания объектов на изображениях [10], распределённые архитектуры информационных систем [11] и стремление к накоплению больших данных [12].

Новая автоматизированная информационная система, разработанная с учётом сильных сторон системы «*SediRack*» и актуальных информационных технологий, позволит значительно повысить эффективность работы исследователя, изучающего динамику седиментации. Кроме того, собираемые данные могут использоваться для дальнейших исследований.

Цель данной работы заключается в проверке возможности применения новой АИС в условиях лабораторного эксперимента.

Для проектирования и реализации новой автоматизированной информационной системы проведения лабораторных исследований процессов сгущения рассмотрены следующие темы:

1. Определение границы раздела стужённой и осветлённой сред при проведении лабораторных исследований процесса седиментации с помощью методов компьютерного зрения.

2. Применение распределённой архитектуры для масштабирования системы при обработке больших объёмов данных.

3. Реализация хранения разнородных данных.

Методология. Для реализации алгоритмов и пользовательского интерфейса был использован язык программирования *Python*. Он был выбран в качестве основного языка поскольку обладает большим количеством библиотек, упрощающих обработку изображений, реализацию графического пользовательского интерфейса (GUI) и отрисовку диаграмм. Графический пользовательский интерфейс приложения реализован с помощью библиотеки *PyQt5*. Она позволяет создавать визуально приятные и гибкие формы с помощью универсальных технологий *XML* и *CSS*. При этом *PyQt5*-приложения являются платформеннонезависимыми [13].

Предварительная обработка изображений и взаимодействие с камерой реализованы с помощью библиотеки *Open Source Computer Vision Library (OpenCV)* [14]. Также, используя эту библиотеку, можно реализовать метод компьютерного зрения, основанный на анализе значений пикселей изображения для решения задачи нахождения границы раздела стужённой и осветлённой сред.

Альтернативным способом поиска границ разделов жидкостных сред является использование свер-

точной нейронной сети семейства *YOLOv8*. Высокая производительность моделей семейства позволяет использовать их при решении задач обнаружения объектов на изображениях в различных предметных областях [15-17]. В данной работе используется модель глубокого обучения *YOLOv8m*, которая обучена на заранее подготовленных наборах данных. Для разметки было отобрано 240 случайных изображений пяти экспериментов, подготовленных в различных внешних условиях и с использованием различных проб.

С целью оценки эффективности разработанной АИС, проведено несколько экспериментов, для которых использовалась глинозёмсодержащая руда с содержанием твёрдого 7,5%. В качестве флокулянта использовался реагент Гранфлок 1415 с концентрацией 0,025%. Исследование проводилось на 5 образцах с различным расходом флокулянта: 2,5 г/т; 5 г/т; 7,5 г/т; 10 г/т; 12,5 г/т соответственно.

В стеклянные цилиндры с исследуемой пульпой добавлялось соответствующее количество реагента. Затем полученная смесь перемешивалась с помощью установки. После окончания перемешивания производилась фотофиксация процесса седиментации. Полученные снимки обрабатывались с помощью разработанных алгоритмов.

Также было проведено исследование гранулометрического состава глинозёмсодержащей руды с помощью лазерного анализатора частиц «*Analysette-22 NanoTec plus*». Диапазон определяемых частиц: от 10 нм до 1 мм.

Результаты. Для реализации проекта была спроектирована установка (рис. 1), состоящая из вращающейся рамы размером 330x90x400 мм с пятью закреплёнными в ней стеклянными цилиндрами. Ёмкость каждого цилиндра 500 мл. Фотосъёмка цилиндров осуществляется с помощью камеры *Logitech HD Pro C920*, подключенной к компьютеру, на котором работает клиентское приложение, написанное на языке программирования *Python*. Для вращения рамы используется шаговый двигатель *MP555SP-2NK*, который управляется с помощью микроконтроллера *Arduino Nano*, также подключённого к компьютеру с помощью *USB*-кабеля.

Клиентское приложение, запущенное на компьютере исследователя, реализует графический пользовательский интерфейс, а также отвечает за подачу сигналов управления на микроконтроллер *Arduino* и приём изображений с камеры. Приложение упаковывает получаемые изображения в архивы и отправляет их по сети на сервер, на котором реализованы вычислительные алгоритмы для обнаружения границ раздела стужённой и осветлённой сред. Все получаемые сервером изображения помещаются в файловое хранилище. Результаты нахождения границ разделов жидкостных сред, а также данные о проводимых пользователем экспериментах записываются в реляционную базу данных.

Для работы с собранными данными используется

отдельное клиентское приложение, ориентированное на построение наглядных визуализаций. Такое решение позволяет разделить функциональность системы между двумя акторами: исследователем-лаборантом, отвечающим за проведение экспери-

ментов и сбор исходных данных с помощью аппаратного обеспечения, и исследователем-аналитиком, работающим только с уже собранными и предварительно обработанными данными.

Архитектура системы приведена на рисунке 2.

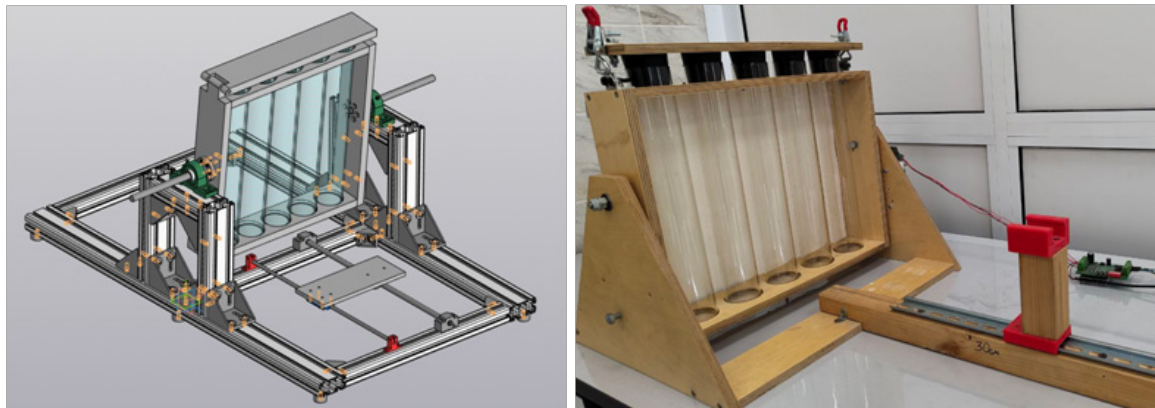


Рисунок 1 – Модель и реализация прототипа вращающейся рамы с закреплёнными стеклянными цилиндрами

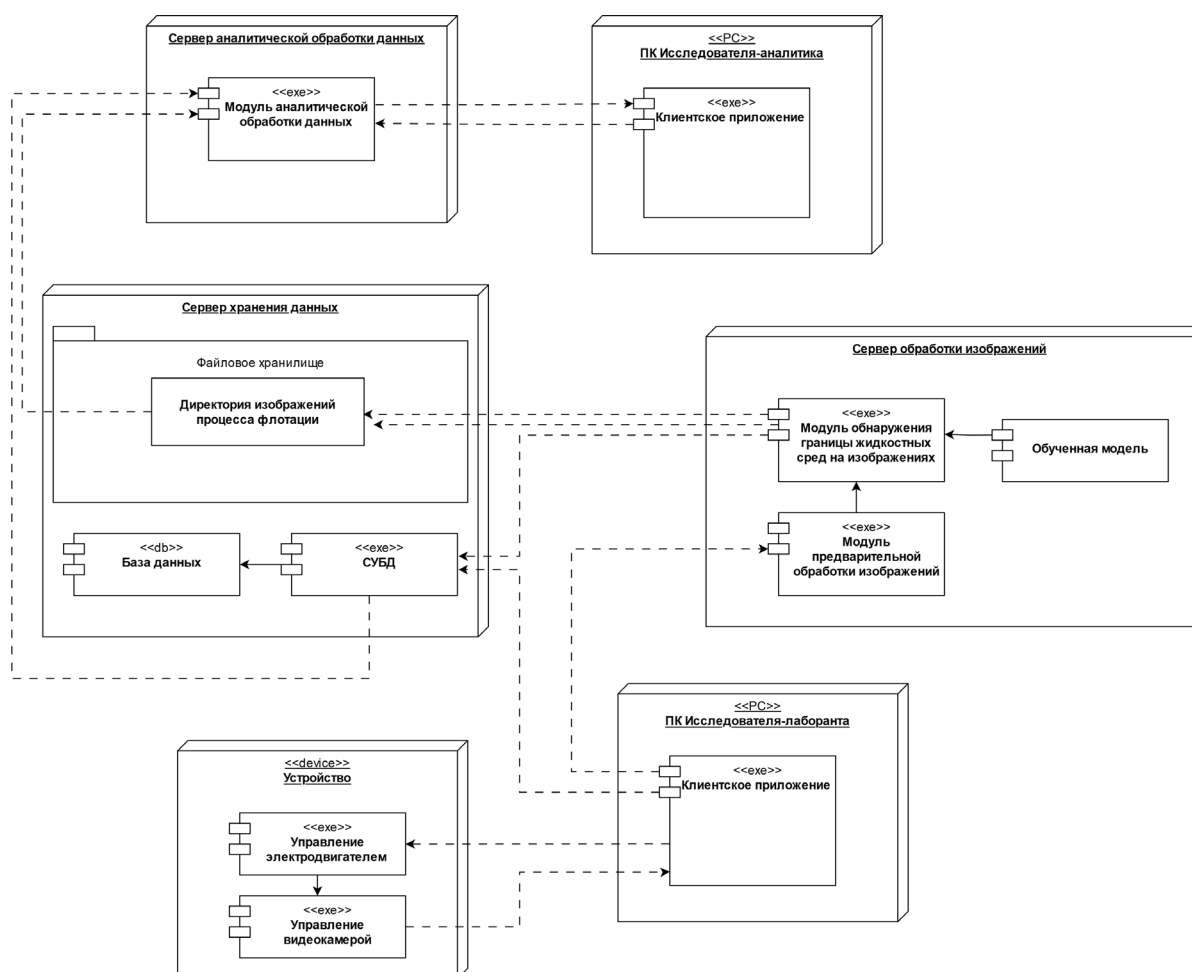


Рисунок 2 – Архитектура модулей АИС

В системе имеется два клиентских приложения и ряд серверов, каждый из которых специализируется на решении узкого класса задач. Взаимодействие между серверами и клиентскими приложениями осуществляется через программные интерфейсы.

Сервера могут располагаться на одном аппаратном обеспечении, но изолированы друг от друга и не имеют общего доступа к памяти. У исследователя-аналитика и исследователя-лаборанта разные клиентские приложения, так как они реализуют

различный функционал. Кроме того, только приложение исследователя-лаборанта реализует взаимодействие с установкой, в которой находятся стеклянные цилиндры и видеокамера.

Сервер хранения данных хранит все данные, описывающие эксперименты, и рассчитанные уровни границ разделов сгущённой и осветлённой жидкостных сред в реляционной базе данных. Все изображения, полученные с камеры, помещаются в файловое хранилище.

Реализация распределённой системы, ориентированной на использование узкоспециализированных серверов, открыта к масштабированию, так как для повышения эффективности обработки данных возможно добавление новых серверов, между которыми будет распределяться нагрузка. Кроме того, система может быть достаточно легко модифицирована, так как обновление основных программных модулей не требует никаких дополнительных действий со стороны пользователей – под их контролем находятся только клиентские

приложения и лабораторная установка.

В качестве основных инструментов для решения задачи обнаружения границы раздела жидкостных сред решено выбрать два метода компьютерного зрения: алгоритм, основанный на анализе значений пикселей изображения, и нейросетевую модель.

Алгоритм анализа значений пикселей основан на сравнении пикселей, выбранных по центральной вертикали изображения цилиндра в оттенках серого. Так как граница между осветлённой и сгущённой средами обычно чётко видна, разница между числовыми значениями пикселей на границе будет больше заданного порога.

Диаграмма со значениями центральной вертикали пикселей изображения в оттенках серого показана на рисунке 3.

Поскольку вероятность нахождения границы раздела зависит от скорости изменения значений двух соседних пикселей, мы можем найти наиболее вероятный диапазон пикселей, где располагается граница.

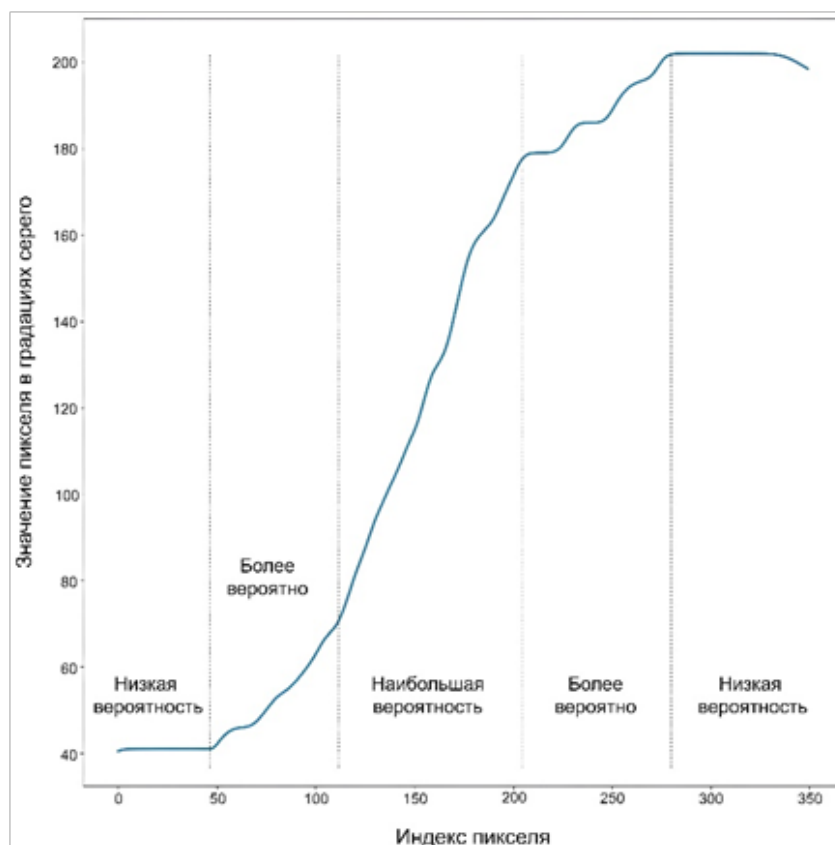


Рисунок 3 – Значения пикселей центральной вертикали изображения в оттенках серого

Из полутонового обрезанного изображения стеклянного цилиндра выбирается одна центральная вертикальная линия пикселей – все они добавляются в массив целых чисел P :

$$p_i \in P$$

Значения цвета пикселей сравниваются с соседними, и найденные различия проверяются на значимость. Если разница больше заданного

параметра значимости, то индекс левого значения равен высоте граничного слоя – полученное значение в пикселях переводится в миллиметры и добавляется в новый массив высот пограничного слоя H , который обрабатывается для сглаживания значений и удаления выбросов.

$$|p_{ik} - p_{k(i+1)}| > S \Rightarrow h_n = p_{ik}, h_n \in H$$

Для обучения нейросетевой модели исходный

набор данных разделён с помощью *Hold-out* метода следующим образом:

- 80% (192 изображения) – тренировочная выборка;
- 10% (24 изображения) – валидационная выборка;
- 10% (24 изображения) – тестовая выборка.

По завершении обучения получены следующие результаты.

Оценка качества *mAP*:

- *mAP50* = 0.995: Средняя точность на уровне IoU 0.5. Значение близкое к 1 указывает на высокую точность в обнаружении объектов;
- *mAP50-95* = 0.822: Средняя точность на уровне IoU от 0.5 до 0.95. Значение также довольно высокое

и указывает на способность модели обобщать для различных уровней перекрытия объектов.

На рисунке 4 приведены примеры результатов, полученных при обнаружении границы раздела двух жидкостных сред с помощью обученной модели.

Эксперименты для проверки АИС проводились на глинозёмсодержащей руде. На рисунке 5 приведён её гранулометрический состав.

В результате проведения экспериментов и последующей обработки собранных изображений были построены графики изменения границ разделов сгущённой и осветлённой жидкостных сред.

Вычисленные скорости осаждения твёрдых частиц приведены в таблице 1.

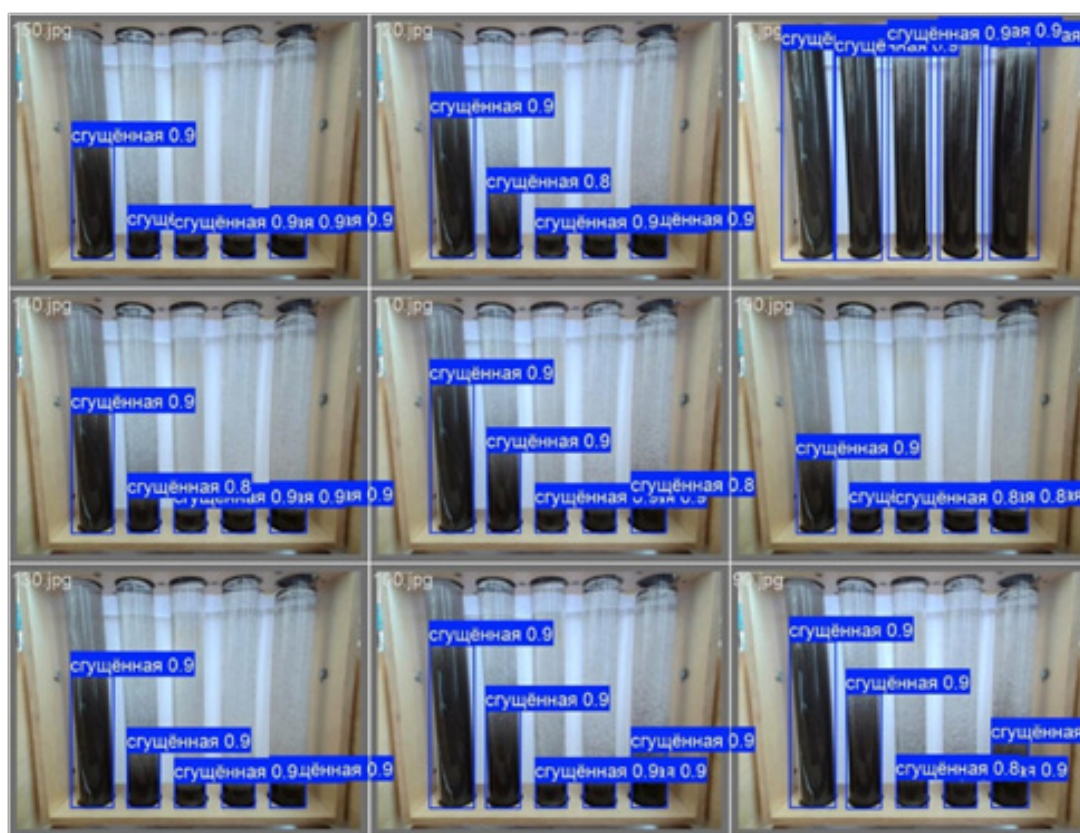


Рисунок 4 – Результаты применения сверточной нейронной сети

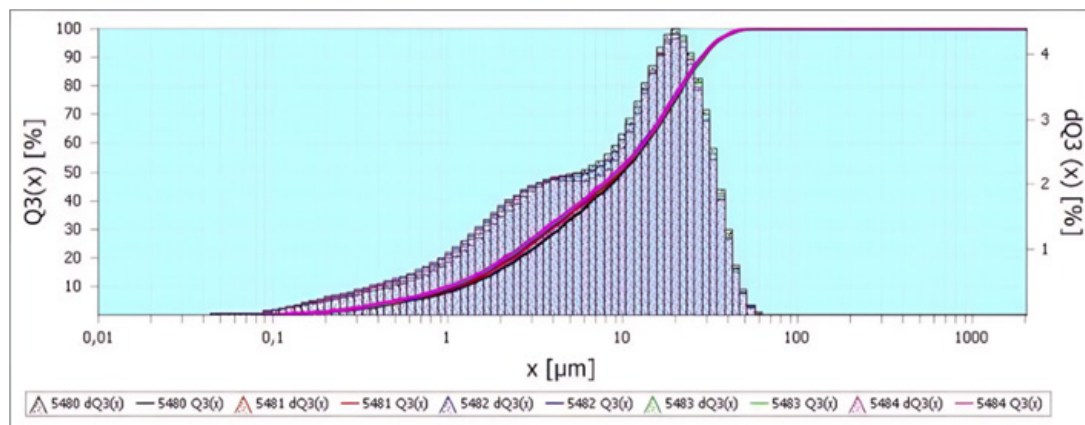


Рисунок 5 – Распределение частиц по их размерам

Таблица 1 – Средние скорости осаждения на основе приведённых методов

Номер цилиндра	Средняя скорость осаждения, мм/с	
	Метод анализа пикселей	Нейросетевая модель
1	15,27	15,13
2	19	22,4
3	34,38	37,33
4	36,67	44,44
5	27,5	30,11

Обсуждение. Подготовка изображения должна включать в себя кадрирование, поскольку на фотографии присутствует пять стеклянных цилиндров, которые рассматриваются по очереди. Прежде всего, можно использовать размытие по Гауссу. Оно необходимо для улучшения визуального восприятия, но в данной ситуации оно используется для оптимизации алгоритма сравнения значений пикселей за счёт упрощения анализа изображения. Дополнительно необходимо использовать методы «размытия» («erosion») и «расширения» («dilation») [18-19]. На рисунке 7 приведены исходное изображение, а также результаты применения операций «размытие» и «расширение».

Разрабатываемая система должна собирать исходные данные, описывающие процесс седиментации, проводя его фотофиксацию через установленные промежутки времени и анализируя собранные данные с помощью методов компьютерного зрения. Основной идеей обработки данных должно стать решение задачи обнаружения границы раздела

жидкостных сред и определения скорости осаждения частиц в жидкой среде.

Основное преимущество классического метода компьютерного зрения, основанного на сравнении пикселей, заключается в том, что он может использоваться без каких-либо заранее подготовленных наборов данных и имеет легко интерпретируемые параметры. С другой стороны, разработанный алгоритм сильно зависит от множества переменных факторов, таких как физические свойства исследуемой пробы, источники света и др.

Сверточные нейронные сети высокоэффективны для решения задачи обнаружения объектов, имеют большую устойчивость к изменениям внешней среды и могут быть использованы для автоматизированного поиска нижней границы освещенного слоя. В то же время данные модели требуют огромного количества размеченных изображений для обучения и валидации. Вероятным методом преодоления этого препятствия может стать аугментация [20].

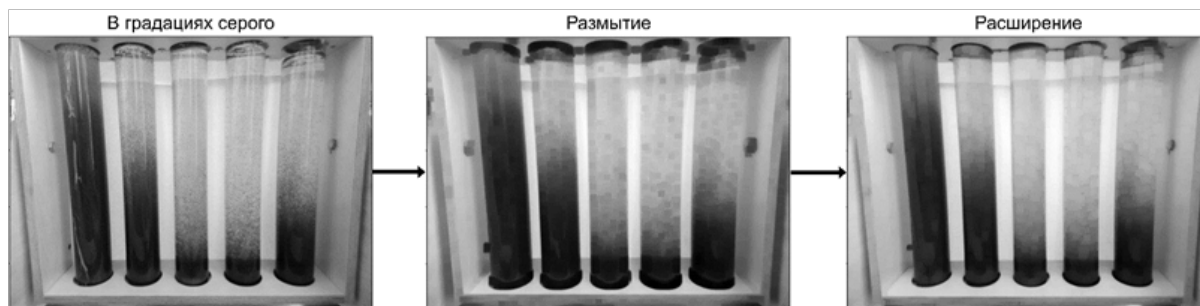


Рисунок 7 – Изображение цилиндров в оттенках серого с предварительной обработкой

Для дальнейшего повышения точности определения границ раздела жидкостных сред можно использовать регрессионные модели или эмпирические формулы. Среди прочих, отдельного внимания достойна аппроксимирующая модель Вейбулла [21] вида:

$$h = a - be^{-ct^d}$$

где h – высота освещенного слоя в мм; t – время отстаивания в секундах; a , b , c , d – эмпирические коэффициенты.

Разрабатываемая автоматизированная информационная система может минимизировать человеческий фактор за счёт автоматизации наиболее трудоёмких процессов лабораторного исследования седиментации. Применение программно-аппарат-

ного комплекса может позволить значительно повысить эффективность исследователя за счёт трёх факторов:

1. Одновременное проведение пяти независимых экспериментов.
2. Отсутствие необходимости активного участия исследователя в процессах перемешивания пульпы, фиксации результатов наблюдений экспериментов и построения графиков зависимости уровня границ разделов жидкостных сред от времени.
3. Сокращение влияния человеческого фактора при сборе и обработке данных.

Побочными достигаемыми эффектами могут являться:

1. Накопление результатов лабораторных экс-

периментов в базе данных.

2. Снижение себестоимости исследований.

Выводы. Проведённые эксперименты показали, что АИС, реализующая предложенные нами решения, способна собирать и обрабатывать данные даже при скорости осаждения твердых частиц более 30 мм/с. Таким образом разработанный программный-аппаратный комплекс может быть использован для анализа новых типов флокулянтов и коагулянтов в лабораторных условиях.

В дальнейших работах предполагается повышение точности распознавания границ разделов сгущённой и осветлённой жидкостных сред с помощью использования современных нейросетевых моделей, обученных на разнообразных и больших наборах данных. Также предполагается рассмотрение возможности моделирования процесса осаждения твёрдых частиц с помощью аппроксимирующей модели Вейбулла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кибирев В.И. Сгущение хвостовой пульпы-шаг к "зеленой" технологии складирования хвостов // Обогащение руд. – 2010. – №. 6. – С. 44-48.
2. Бауман А.В., Степаненко А.И., Баранова А.А. Теоретические основы и практика проектирования процессов и аппаратов сгущения рудных пульп // Обогащение руд. – 2023. – № 1.
3. Рылов К.А., Бурдонов А.Е. Исследование сгущаемости хвостов обогащения железных руд // Обогащение руд. – 2023. – № 5. – С. 51-56.
4. Дмитриева Е.Г., Газалеева Г.И., Мусаев В.В., Ключников А.М. Исследование процесса сгущения тонкодисперсных хвостов золотосодержащих руд // Обогащение руд. – 2022. – № 1. – С. 46-50.
5. Осипова Н.В. Обзор систем машинного зрения для контроля процессов рудоподготовки и обогащения // Автоматизация в промышленности. – 2024. – №5.
6. Concha F. et al. Audit industrial thickeners with new on-line instrumentation // Powder technology. – 2017. – Т. 314. – С. 680-689.
7. Ромашев А.О., Николаева Н.В., Гатиатуллин Б.Л. Формирование адаптивного подхода с применением технологии машинного зрения для определения параметров осаждения продуктов обогащения // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 677-685.
8. Jothiprakash V., Garg V. Reservoir sedimentation estimation using artificial neural network // Journal of Hydrologic Engineering. – 2009. – Т. 14. – №. 9. – С. 1035-1040.
9. Ruan Z. et al. Effect of interparticle interactions on the yield stress of thickened flocculated copper mineral tailings slurry // Powder Technology. – 2021. – Т. 392. – С. 278-285.
10. Sultana F., Sufian A., Dutta P. A review of object detection models based on convolutional neural network // Intelligent computing: image processing based applications. – 2020. – С. 1-16.
11. Золотарева П.Ю., Гадасин Д.В., Маклачков К.А. Методы обработки информации в распределенных информационных системах. – 2023.
12. Zhang X., Zhou Y., Luo J. Deep learning for processing and analysis of remote sensing big data: A technical review // Big Earth Data. – 2022. – Т. 6. – №. 4. – С. 527-560.
13. Willman J. Modern PyQt: create GUI applications for project management, computer vision, and data analysis. – Berkeley: Apress, 2021.
14. Sigut J. et al. OpenCV basics: A mobile application to support the teaching of computer vision concepts // IEEE Transactions on Education. – 2020. – Т. 63. – №. 4. – С. 328-335.
15. Li Y. et al. A Modified YOLOv8 Detection Network for UAV Aerial Image Recognition // Drones. – 2023. – Т. 7. – №. 5. – С. 304.
16. Xiao B., Nguyen M., Yan W.Q. Fruit ripeness identifica-

tion using YOLOv8 model // Multimedia Tools and Applications. – 2024. – Т. 83. – №. 9. – С. 28039-28056.

17. Wang H. et al. YOLOv8-QSD: An improved small object detection algorithm for autonomous vehicles based on YOLOv8 // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2024.

18. Kalinkina D., Vatolin D. The problem of noise suppression in images and videos and various approaches to its solution // Komp. Graf. Multimed. Online Journal. – 2005. – Т. 9.

19. Said K.A.M., Jambek A.B. Analysis of Image Processing Using Morphological Erosion and Dilation // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2071. – №. 1. – С. 012033.

20. Nesteruk S. et al. Xtremeaugment: Getting more from your data through combination of image collection and image augmentation // IEEE Access. – 2022. – Т. 10. – С. 24010-24028.

21. Deep S. et al. Estimation of the wind energy potential for coastal locations in India using the Weibull model // Renewable energy. – 2020. – Т. 161. – С. 319-339.

Статья поступила в редакцию 02.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.853

EDN: AKLEBT

**ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ:
ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ НЕПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ
БАКАЛАВРИАТА**

© Авторы 2024

SPIN: 4528-0302

AuthorID: 280970

ORCID: 0000-0001-7365-9349

ResearcherID: AAJ-4801-2020

БУГАКОВА Татьяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Прикладная информатика и информационные системы»
Сибирский государственный университет геосистем и технологий
(630108, Россия, Новосибирск, улица Плеханова, 10, e-mail: bugakova-tu@yandex.ru)

SPIN: 9554-4138

AuthorID: 550115

ORCID: 0000-0002-4185-7866

СМИРНОВ Дмитрий Юрьевич, кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Прикладная информатика и информационные системы»
Сибирский государственный университет геосистем и технологий
(630108, Россия, Новосибирск, улица Плеханова, 10, e-mail: smirdu@yandex.ru)

Аннотация. Предложенная в статье структура учебной дисциплины «Системы искусственного интеллекта» позволяет студентам непрофильных специальностей и направлений подготовки овладеть компетенциями по использованию основных методов искусственного интеллекта в их последующей профессиональной деятельности. Сущность предлагаемого авторами статьи подхода при построении практической части курса состоит в том, чтобы изучение технологий искусственного интеллекта начиналось с использованием специализированных платформ визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю инструментарием и заканчивалось итоговым проектом в виде разработанного на языке *Python* Telegram-бота, отвечающего на вопросы пользователей по заданной тематике. По мнению авторов статьи, предлагаемая структура учебного курса «Системы искусственного интеллекта» позволит, с одной стороны, наиболее наглядно продемонстрировать студентам специфику основных прикладных задач, решаемых с помощью технологий искусственного интеллекта, а, с другой стороны, вооружит учащихся инструментарием, который будет востребован ими в дальнейшей учебе при написании и защите курсовых проектов, отчетов по практикам, выпускных квалификационных работ и т.д. Использование метода обучения «от простого к сложному» и проектного обучения дает возможность студентам непрофильных специальностей освоить основы написания программного кода на языке *Python*, ознакомиться с базовыми библиотеками, модулями и фреймворками, используемыми при разработке программных приложений в области искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, платформы визуального программирования, виджет, чат-бот, библиотеки *Python*, проектное обучение, компетенция, лабораторная работа, программный код, машинное обучение.

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION: TRAINING OF
STUDENTS OF NON-CORE SPECIALTIES AND DIRECTIONS OF THE BACHELOR'S DEGREES**

© The Authors 2024

BUGAKOVA Tatyana Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor
head of the Department "Applied Computer Science and Information systems"
Siberian State University of Geosystems and Technologies
(10 Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russia, e-mail: bugakova-tu@yandex.ru)

SMIRNOV Dmitry Yurievich, candidate of economic sciences,
associate professor of the Department "Applied Computer Science and Information systems"
Siberian State University of Geosystems and Technologies
(10 Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russia, e-mail: smirdu@yandex.ru)

Abstract. The article proposes the structure of the academic discipline "Artificial intelligence systems", which allows students of non-core specialties and bachelor's degrees to acquire competencies in the use of basic artificial intelligence methods in their subsequent professional activities. The essence of the proposed approach in building the practical part of the course is that the study of artificial intelligence technologies begins with the use of specialized visual programming platforms with tools understandable to an unprepared user and ends with a final project in the form of a Telegram bot developed in *Python* that answers user questions on a given topic. According to the authors of the article, the proposed structure of the training course "Artificial Intelligence systems" will, on the one hand, most clearly

demonstrate to students the specifics of the main applied tasks solved with the help of artificial intelligence technologies, and, on the other hand, equip students with tools that will be in demand by them in further studies for writing course projects, reports on practical training, graduation papers, etc. Using the "from simple to complex" learning method and project-based learning allows students of non-core specialties to master the basics of writing software code in *Python*, learn the basic libraries, modules and frameworks used in the development of software applications in the field of artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, visual programming platforms, widget, chatbot, *Python* libraries, project learning, competence, laboratory work, program code, machine learning.

Для цитирования: Бугакова Т.Ю. Технологии искусственного интеллекта в сфере высшего образования: подготовка студентов непрофильных специальностей и направлений бакалавриата / Т.Ю. Бугакова, Д.Ю. Смирнов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 51-59. – EDN: AKLEBT.

Введение. За последние три года резко возросла роль технологий искусственного интеллекта в повышение качества жизни населения, ускорении роста мировой экономики, увеличении объема инвестиций, повышении доступности и качества медицинской помощи, образования, культуры и т.д. Модели, основанные на технологии искусственного интеллекта, способны писать программные коды, сочинять поэмы, давать ответы на вопросы, создавать изображения по текстовому описанию и т.д.

В настоящее время более половины крупных компаний используют искусственный интеллект в реализации осуществляемой ими деятельности. Технологии искусственного интеллекта оказывают все большее влияние на решения, принимаемые органами государственной власти.

Наблюдается существенный рост частных и государственных инвестиций в разработку прикладных решений в области искусственного интеллекта. В 2022 году объем венчурных и прямых инвестиций в компании, разрабатывающие технологии искусственного интеллекта, составил 92 млрд. долларов США.

Доля работников, занятых в области искусственного интеллекта, уже составляет релевантную величину на рынке труда. В России около 1 процента публикуемых вакансий связано с трудоустройством в области искусственного интеллекта. В развитых странах данный показатель в 1,5-2 раза выше.

Подтверждением значимости роли, которую технологии искусственного интеллекта играют в развитии современного общества, стала разработка Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации в 2019 году [1].

Согласно вышеупомянутой Национальной стратегии одной из основных задач развития искусственного интеллекта в Российской Федерации является повышение уровня компетенций в области искусственного интеллекта и уровня информированности граждан о технологиях искусственного интеллекта. Решение данной задачи подразумевает внедрение в образовательных организациях высшего образования комплексной

системы подготовки квалифицированных кадров в области искусственного интеллекта, в том числе формирование и актуализация набора компетенций, приобретаемых по итогам получения высшего образования по различным специальностям и направлениям подготовки в области искусственного интеллекта.

В целях практической реализации поставленной задачи Минобрнауки России своим письмом от 2 июля 2021г. №МН-5/2657 «О направлении информации» утвердил учебный модуль «Системы искусственного интеллекта», который может применяться при реализации основных образовательных программ высшего образования по всем специальностям и направлениям подготовки [2]. Данный модуль был актуализирован письмом Минобрнауки России от 14 июня 2023г. №МН-5/179660 [3].

Кроме того, с 2022 года в рамках федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» вузы приступили к реализации проекта «Цифровые кафедры». Суть проекта заключается в том, что студенты вузов, в том числе специальностей и направлений подготовки, не относящихся к ИТ-сфере, могут получить дополнительную квалификацию по ИТ-профилю в рамках обучения, организуемого цифровыми кафедрами. Первоначально цифровые кафедры были созданы в вузах – участниках программы «Приоритет-2030», однако предполагается включение в проект «Цифровые кафедры» и остальных российских университетов до конца 2025 года. Каждый вуз вправе самостоятельно разрабатывать образовательные программы профессиональной переподготовки, реализуемые цифровыми кафедрами. К числу наиболее востребованных программ относятся программы в области искусственного интеллекта. Предлагаемый в настоящей статье модуль «Системы искусственного интеллекта» может послужить основой программы профессиональной переподготовки студентов непрофильных специальностей и направлений бакалавриата, получающих дополнительные компетенции в рамках проекта «Цифровые кафедры».

Методология. Несмотря на то, что в утверж-

денном письмом Минобрнауки России модуле «Системы искусственного интеллекта» приведена примерная тематика лекций и лабораторных работ, научные дискуссии по поводу содержания учебных дисциплин в области искусственного интеллекта продолжаются [4-9]. В первую очередь, обсуждаются особенности преподавания дисциплины для студентов непрофильных специальностей и направлений бакалавриата, не обладающих глубокими знаниями в области IT-технологий [10].

По итогам анализа вышеупомянутых научных публикаций нам представляется целесообразным выделить два положения, которые, по нашему мнению, могут послужить своеобразными «отправной» и «конечной» точками построения модуля «Системы искусственного интеллекта», предназначенного специально для изучения студентами направлений подготовки, несвязанных напрямую с IT-отраслью.

Суть первого положения заключается в том, чтобы, учитывая отсутствие у студентов непрофильных направлений подготовки необходимых навыков программирования или знаний библиотек и фреймворков *Python*, использовать в учебном процессе специализированные платформы визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю инструментарием, такие как *Orange Data Mining* или *Teachable Machine* [11].

Второе, выделенное нами, положение заключается в попытке совместить обучение системам искусственного интеллекта и проектную деятельность, а именно: результатом освоения дисциплины должен стать разработанный студентом законченный проект в области искусственного интеллекта [12].

Эти два положения соответствуют двум методам, которыми мы руководствовались при разработке содержания лабораторных работ: «движение от простого к сложному» и проектное обучение.

Отталкиваясь от метода «движения от простого к сложному», мы предлагаем первые лабораторные работы построить на основе специализированных платформ визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю инструментарием. Применение в обучении платформ с интуитивно понятным интерфейсом, таких как *Orange Data Mining*, *Teachable Machine* и т.д. дает возможность не обладающим глубокими познаниями в IT-дисциплинах студентам получить наглядное представление о тех основных задачах, которые решаются с помощью технологий искусственного интеллекта. В этом случае внимание студентов не будет отвлекаться на изучение языка *Python*, разбор программного кода и целиком сосредоточится на способах решения практических проблем с помощью технологий искусственного интеллекта.

Проектное обучение, результатом которого должен стать итоговый проект в области искусственного интеллекта, нацелено на повышение мотивации студентов по овладению непрофильной для них дисциплины «Системы искусственного интел-

лекта». При этом разработанный студентом проект, выполненный с использованием технологий искусственного интеллекта, должен быть полезен студентам в их дальнейшей учебе при изучении последующих дисциплин. Поэтому среди предлагаемых в соответствующих публикациях итоговых проектов, которые студенты могут выполнять в рамках дисциплины «Системы искусственного интеллекта», нам представляется наиболее интересным проект по созданию чат-бота, отвечающего на вопросы пользователей по заданной тематике (создание нишевого чат-бота) [13-15]. В ходе дальнейшей учебы студенты смогут создавать чат-боты, которые, к примеру, будут отвечать на вопросы преподавателя при защите курсовых работ и отчетов по практике, или отвечать на вопросы участников при проведении студенческих конференций, научных семинаров и т.д.

Предлагаемая нами структура практической части учебной дисциплины «Системы искусственного интеллекта», состоящая в последовательном движении от лабораторных работ, построенных на использовании специализированных платформ визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю инструментарием, к лабораторным работам по разработке нишевого *Telegram*-бота на *Python*, позволяет студентам эффективно освоить компетенции, указанные в вышеупомянутом письме Минобрнауки России.

Во-первых, наглядная демонстрация классов и типов задач, которые в настоящее время успешно решаются с использованием технологий искусственного интеллекта (классификация объектов, прогнозирование показателей на основе регрессии, кластеризация неразмеченной совокупности объектов и т.д.), позволит студентам успешно освоить компетенцию по использованию основных методов искусственного интеллекта в их последующей профессиональной деятельности (компетенция с кодом «ПК-1»).

Во-вторых, обучение студентов основам написания программного кода на языке *Python*, ознакомление их с базовыми библиотеками, модулями и фреймворками, используемыми при разработке нишевого *Telegram*-бота, будет способствовать формированию у будущих специалистов навыков декомпозиции и формализации процессов и объектов при анализе проблем, возникающих в ходе их профессиональной деятельности (компетенция с кодом «ПК-2»).

Мы считаем, что наиболее эффективно не параллельное, а последовательное выполнение упомянутых задач. В ходе выполнения первых лабораторных работ студенты должны четко уяснить, какой круг проблем можно решить с помощью применения современных технологий искусственного интеллекта, а в последующих лабораторных работах перейти к изучению программной составляющей решения этих проблем.

Результаты. При разработке структуры прак-

тической части учебной дисциплины мы отталкивались от тех ограничительных условий, с которыми приходится сталкиваться при обучении студентов непрофильных специальностей и направлений подготовки технологиям искусственного интеллекта.

Во-первых, вышеупомянутые студенты в подавляющей своей массе имеют слабое представление о языках программирования, программном коде, библиотеках, модулях и фреймворках *Python* и т.д.

Во-вторых, «непрофильность» дисциплины относительно будущей специальности данной категории студентов снижает их мотивацию к ее изучению.

В-третьих, рекомендуемый письмом Минобрнауки России от 14 июня 2023г. №МН-5/179660 общий объем модуля составляет всего 72 академических часа, в том числе 17 часов лекций и 17 часов лабораторных занятий.

Начальной точкой в структуре дисциплины «Системы искусственного интеллекта», предлагаемой для изучения студентам непрофильных специальностей и направлений подготовки, должны стать лабораторные работы, выполняемые на базе специализированных платформ визуального программирования с понятным неподготовленному

пользователю интерфейсом (*Teachable Machine* и *Orange Data Mining*). Конечным пунктом изучения рассматриваемой дисциплины должен стать студенческий проект по созданию *Telegram*-бота на *Python*, отвечающего на вопросы пользователей по заданной тематике. Остальные лабораторные работы должны последовательно и логично связать начальную и конечную точки.

Цель первой лабораторной работы «Разработка проекта по классификации рукописных цифр на платформе *Teachable Machine*» – показать студентам алгоритм решения задач классификации изображений на основе платформы *Teachable Machine* с загрузкой датафреймов, размещенных на сайте *Kaggle* [16, 17]. В рамках первой лабораторной работы студенты загружают с сайта *Kaggle* датафреймы с изображением рукописных цифр (например, содержащий более 21 тысячи рукописных цифр датафрейм «*Handwritten Digits 0 – 9*») в создаваемый ими на платформе *Teachable Machine* проект по классификации написанных от руки цифр. В графическом редакторе студенты рисуют рукописные цифры и распознают их с помощью созданной и обученной модели (рис. 1).

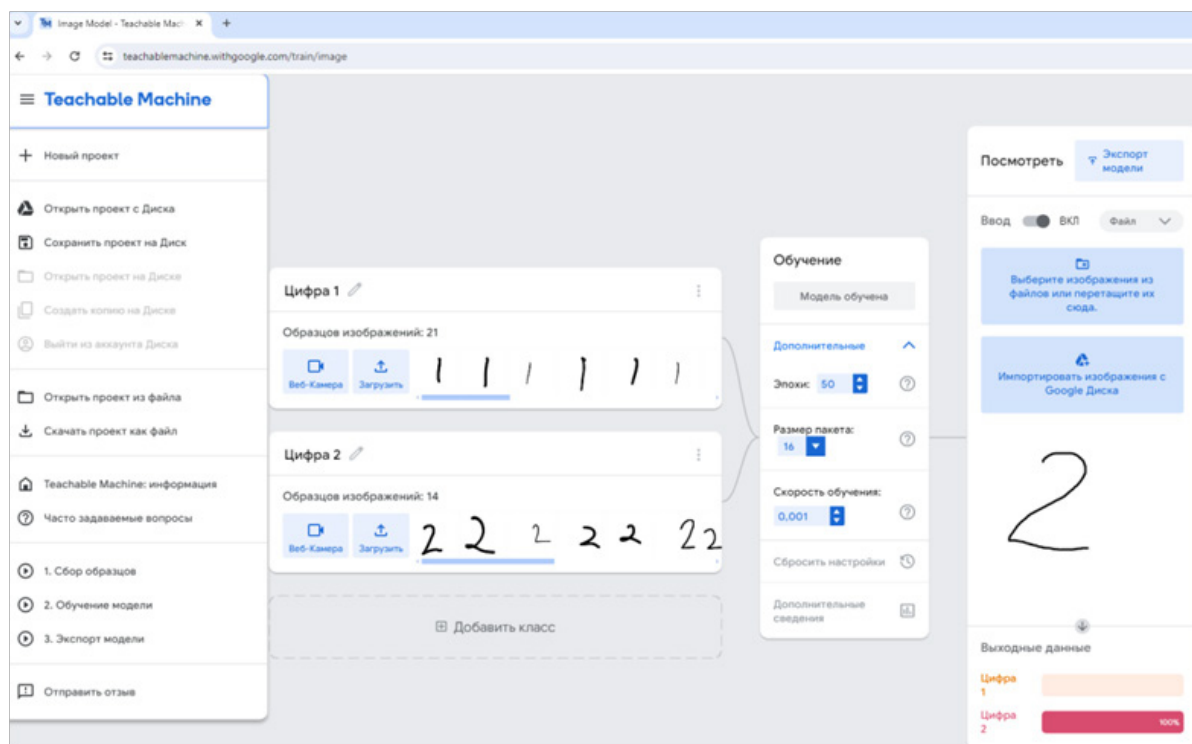


Рисунок 1 – Результат распознавания рукописных цифр на Teachable Machine (составлено автором)

Вторая лабораторная работа «Построение алгоритма классификации цветов ириса с помощью виджетов на платформе *Orange Data Mining*» является логическим следствием первой: студенты продолжают изучать механизм решения задачи классификации объектов с использованием технологий искусственного интеллекта, но более детально. Для облегчения понимания данного механизма

по-прежнему используются специализированные платформы визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю инструментарием, в данном случае – *Orange Data Mining* [18-20]. В качестве объектов классификации взяты два классических датасета (*iris* и *wine*), содержащие соответственно характеристики цветков ириса и бутылок вина, а также метки, обозначающие класс, к

которому данные объекты относятся.

С помощью виджетов на холсте студентам наглядно демонстрируются основные этапы обучения модели, создаваемой для классификации новых объектов, а именно: деление датасета на обучающую и тестируемую выборки, выбор алгоритма классификации, обучение модели на обучающей выборке с использованием выбранного алгоритма классификации, проверка качества модели на тестируемой выборке, отнесение нового объекта к тому или иному классу с использованием обученной модели (рис. 2).

В третьей лабораторной работе «Разработка модели машинного обучения для решения задачи

классификации с использованием библиотек, модулей и фреймворков *Python*» студенты выполняют ту же самую задачу, что и во второй, а именно: классификацию объектов на примере цветов ириса (датасет *load_iris*) и бутылок вина (датасет *load_wine*), но теперь уже с помощью программного кода, написанного языком *Python* в блокнотах на платформе *Google Colab*. Студенты проходят те же этапы решения задачи классификации, что и во второй лабораторной работе, но без использования виджетов *Orange Data Mining*, а на основе библиотек и модулей *Python*. Понимание студентами программного кода обеспечивается его визуализацией в ходе двух первых лабораторных работ (рис. 3).

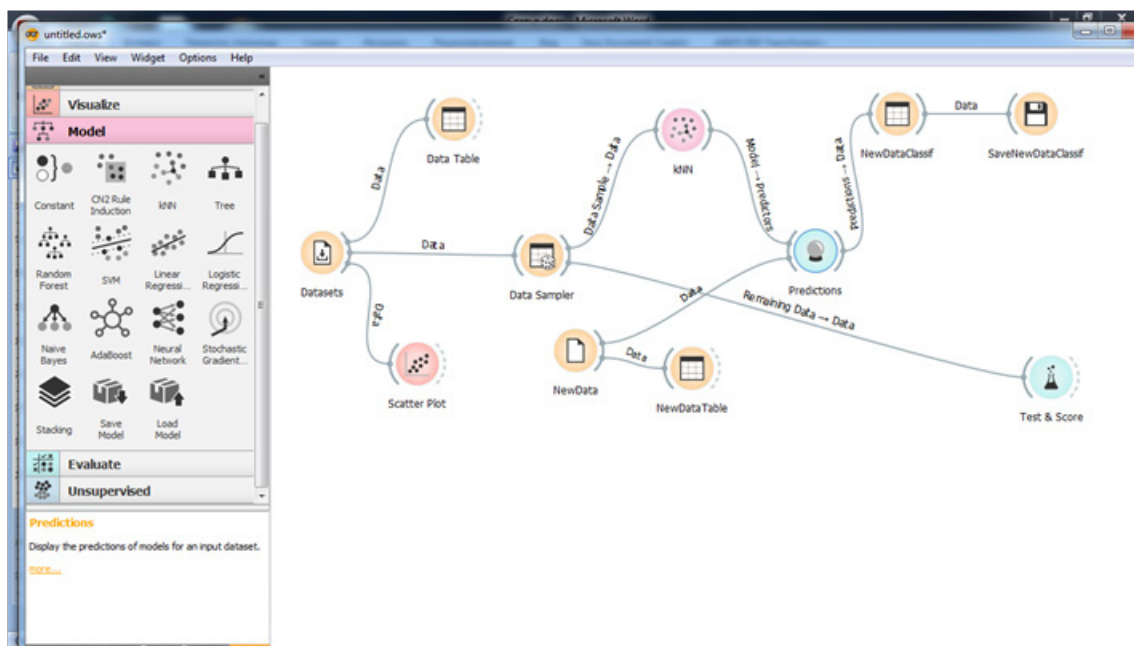


Рисунок 2 – Классификация объектов с помощью виджетов Orange Data Mining (составлено автором)

```

from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split
import numpy as np

[5] X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    iris_dataset['data'], iris_dataset['target'], random_state=0)

[6] knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=1)

[7] knn.fit(X_train, y_train)

[8] y_pred = knn.predict(X_test)
print("Правильность на тестовом наборе: {:.2f}".format(np.mean(y_pred == y_test)))

Правильность на тестовом наборе: 0.97

[9] X_new = np.array([[5, 2.9, 1, 0.2]])
prediction = knn.predict(X_new)
print("Прогноз: {}".format(prediction))
print("Спрогнозированная метка: {}".format(iris_dataset['target_names'][prediction]))

Прогноз: [0]
Спрогнозированная метка: ['setosa']

```

Рисунок 3 – Классификация объектов с помощью библиотек и модулей Python (составлено автором)

В четвертой и пятой лабораторных работах студенты должны ознакомиться с иными типами задач, решаемых с использованием искусственного интеллекта.

Цель четвертой лабораторной работы «Разработка модели для построения регрессии» – продемонстрировать, как с помощью технологий искусственного интеллекта можно спрогнозировать какой-либо количественный признак объекта, например, цены недвижимости или подержанных автомобилей, экономические показатели, оценку будущего состояния больного и т.д. в рамках решения задачи регрессии. Лабораторная работа выполняется в блокнотах на платформе *Google Colab*, а в качестве объектов для построения регрессии выбираются соответствующие датасеты из библиотеки *Scikit-Learn*, например, *load_boston* (цены на недвижимость в Бостоне) или *load_diabetes* (медицинские показатели больных диабетом). В ходе выполнения лабораторной работы студенты должны протестировать несколько алгоритмов (линейную и нелинейные виды регрессии, метод опорных векторов и т.д.) и выбрать наилучший алгоритм, обеспечивающий наименьшую ошибку на тестируемой выборке.

При выполнении пятой лабораторной работы «Разработка модели для кластеризации множества непомеченных объектов» студенты должны ознакомиться с еще одним типом задач, реализуемых при

помощи технологий искусственного интеллекта, – кластеризацией множества непомеченных объектов, а также получить навыки подготовки данных для машинного обучения.

Так как в реальной практической деятельности большие данные зачастую генерируются в виде файлов формата *xlsx*, то для ознакомления студентов с операциями по очистке и подготовке данных для последующего машинного обучения берется файл соответствующего формата, который, в свою очередь, может быть получен путем конвертации скачанного с сайта *Kaggle* файла формата *csv*, например, файла «*Student Stress Factors: A Comprehensive Analysis*», содержащего информацию о влияющих на уровень стресса двадцати факторах по превышающему тысячу студентов множеству.

В блокноте на платформе *Google Colab*, используя модули и команды библиотек *Pandas*, *Scikit-Learn* и т.д., студенты учатся конвертировать листы таблицы *Excel* в датафреймы, проводить очистку данных (приведение в соответствие с форматом, выявление и исправление недостоверных данных, удаление заголовков столбцов и т.д.), удалять в полученном датафрейме столбец с метками, выбирать алгоритм кластеризации (метод *k*-средних, графовый алгоритм Крускала, иерархическая кластеризация и т.д.), проводить кластеризацию множества в соответствии с выбранным алгоритмом и сравнивать полученные результаты с фактическими метками объектов (рис. 4).

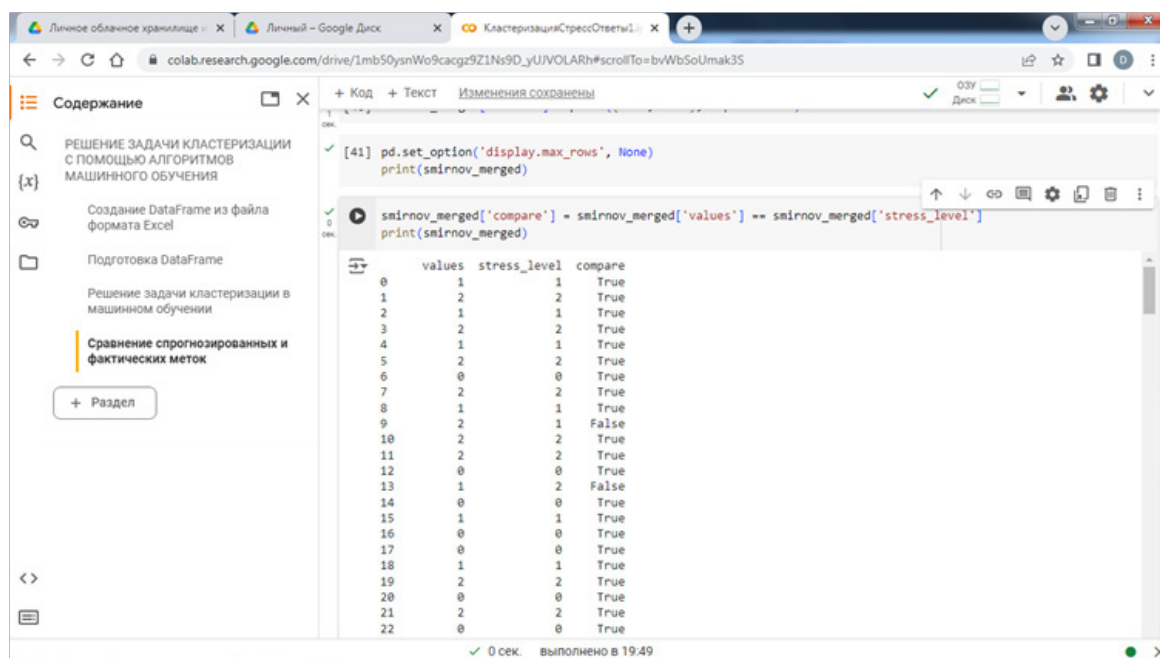


Рисунок 4 – Кластеризация объектов и сравнение предсказанных и фактических меток (составлено автором)

После того, как студенты уяснили основные типы задач, решаемых с помощью технологий искусственного интеллекта, ознакомились с базовыми библиотеками *Python* и возможностями их применения, следует приступить к выполнению итогового проекта – созданию нишевого чат-бота.

Разрабатываемый в рамках шестой лабораторной работы «Разработка чат-бота на основе машинного обучения» чат-бот, отвечающий на вопросы пользователей по заданной тематике, опирается на решение уже знакомого студентам типа задач классификации. Используя *on-line* редактор данных

формата *JSON*, студенты создают файл, содержащий в качестве объектов перечень намерений задающего вопрос пользователя, соответствующие этим намерениям возможные вопросы пользователя, а также набор ответов на вопросы. Вопросы и ответы относятся к заданной тематике, например, согласуются с содержанием студенческой курсовой работы. Студенты помечают вопросы метками исходя из намерений, которым они соответствуют, преобразуют текстовые данные в числовой вектор, выбирают алгоритм классификации (*LogisticRegression()*, *RandomForestClassifier()* и т.д.), обучают модель с помощью выбранного алгоритма (рис.5).

В седьмой лабораторной работе студенты усложняют созданного в предыдущей лабораторной работе чат-бота, используя функционал библиотек

NLTK, *re* и т.д. (*word_tokenize*, *edit_distance(text1, text2)*, *search()*, *lower()*, *sub(pattern, repl, string)* и т.д.).

В ходе восьмого лабораторного занятия «Разработка *Telegram*-бота на *Python*» студенты получают знания о работе с *Telegram*-ботами на *Python*, используя *API Telegram*, знакомятся с библиотекой *python-telegram-bot* и входящими в нее пакетами (*telegram*, *telegram.ext* и т.д.), методами *API*, связанными с получением и отправкой сообщений (*Bot()*, *Updater()*), обработчиками команд и сообщений (*CommandHandler*, *MessageHandler*), фильтрами обработчиков сообщений (*Filters.text*, *Filters.photo*, *Filters.video*) и т.д.

Результатом итогового проекта является разработка *Telegram*-бота, отвечающего на вопросы пользователей по заданной тематике (рис. 6).

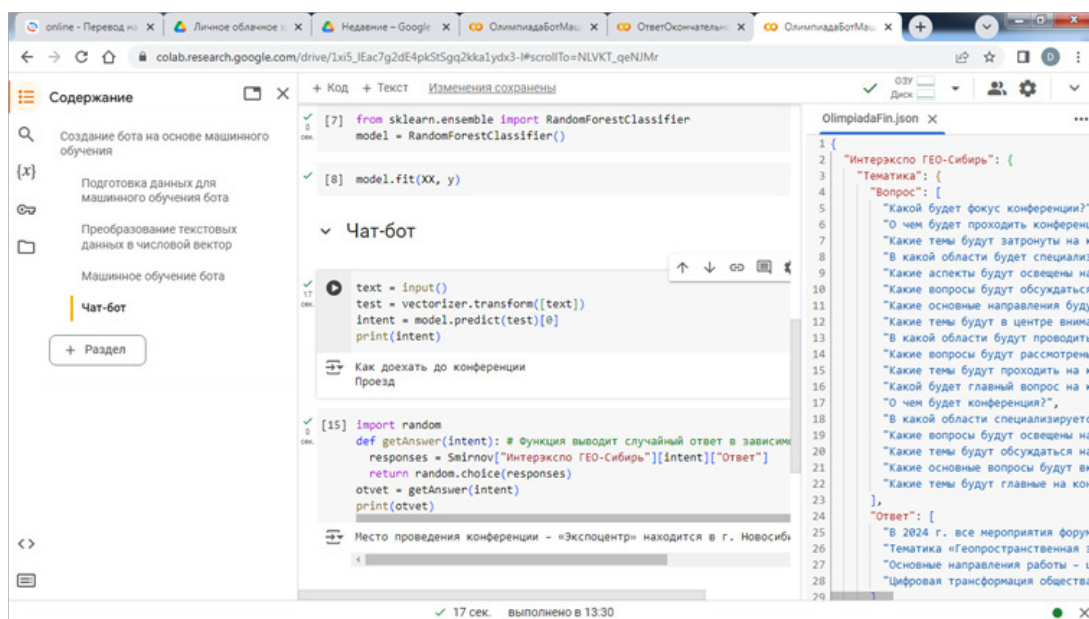


Рисунок 5 – Создание чат-бота на основе машинного обучения (составлено автором)

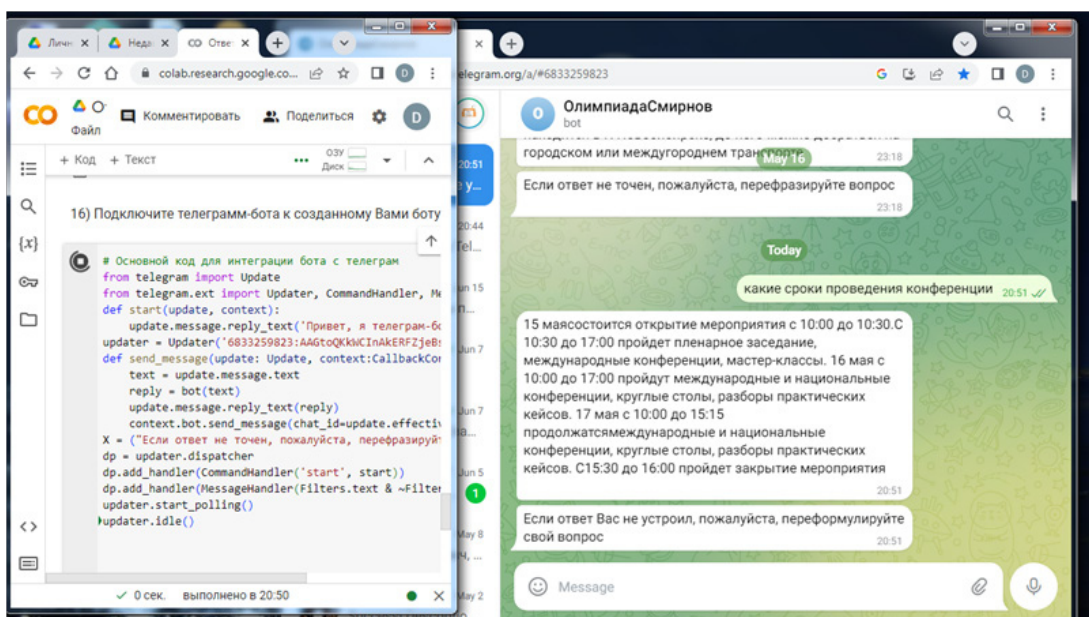


Рисунок 6 – Разработка нишего *Telegram* – бота (составлено автором)

Обсуждение. Сравнительный анализ предлагаемой нами структуры практической части учебной дисциплины и рекомендуемого письмом Минобрнауки России перечня лабораторных работ учебного модуля «Системы искусственного интеллекта» позволяет выделить следующее.

Во-первых, рекомендуемый письмом Минобрнауки России учебный модуль «Системы искусственного интеллекта» имеет универсальный характер, не учитывает профильность специальностей и направлений подготовки студентов, его изучающих. Разработанная нами система лабораторных работ предназначена исключительно для студентов непрофильных специальностей и направлений подготовки и исходит из ограничительных условий, с которыми сталкивается преподаватель в процессе обучения (недостаточная подготовленность студентов, низкая мотивация к изучению дисциплины и т.д.). Направленность предлагаемого курса на определенный целевой контингент студентов предполагает некоторое упрощение заданий, исходя из принципа «лучше меньше, да лучше».

Во-вторых, в целом, предлагаемая нами структура практической части учебной дисциплины соответствует содержанию лабораторных работ учебного модуля «Системы искусственного интеллекта» из письма Минобрнауки России и является их конкретизацией. К примеру, лабораторная работа «Работа с текстами и их векторными представлениями текстов» конкретизирована нами в виде трех взаимосвязанных лабораторных работ, итогом которых является разработанный студентом нишевой *Telegram*-бот.

В-третьих, в предлагаемой нами структуре учебной дисциплины несколько изменен порядок изучения тем, по сравнению с рекомендуемым письмом Минобрнауки России учебным модулем. Например, в учебном модуле первая лабораторная работа посвящена анализу, агрегации и визуализации данных, которые используются для построения моделей на основе технологий искусственного интеллекта. По нашей логике практическое изучение курса нужно начинать с наглядной демонстрации (благодаря специализированным платформам визуального программирования с интуитивно понятным неподготовленному пользователю интерфейсом) студентам задач, решаемых с помощью искусственного интеллекта.

В-четвертых, существенную роль в предлагаемой нами структуре учебной дисциплины играет метод проектного обучения, что не прослеживается в рекомендуемом письмом Минобрнауки России учебном модуле. Разработка студентами непрофильных специальностей и направлений подготовки итогового проекта в области искусственного интеллекта, который может быть использован ими в процессе дальнейшего обучения, существенно повышает мотивацию студентов к изучению курса.

В целом, разработанную нами систему лабо-

раторных работ можно определить как конкретизацию рекомендуемого письмом Минобрнауки России учебного модуля, предназначенного для изучения студентами непрофильных специальностей и направлений подготовки.

В Сибирском государственном университете геосистем и технологий предлагаемая структура практической части учебной дисциплины «Системы искусственного интеллекта» была апробирована при обучении студентов первого курса направления бакалавриата 21.03.02 – «Землеустройство и кадастры».

По итогам анализа обучения можно констатировать следующие результаты:

- существенно улучшилось понимание студентами задач, которые в настоящее время решаются с помощью технологий искусственного интеллекта;
- значительно повысилась мотивация студентов к изучению дисциплины, что, в первую очередь, обусловлено их заинтересованностью в реализации итоговых проектов по разработке *Telegram*-ботов на *Python*, используя *API Telegram*;
- разработанные студентами итоговые проекты используются ими при изучении других дисциплин, прежде всего при защите курсовых работ.

Как результат, студенты первого курса направления бакалавриата 21.03.02 – «Землеустройство и кадастры» приняли активное участие в проходившей в рамках XX Международной выставки и научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2024» студенческой олимпиаде «Применение систем искусственного интеллекта в исследовании геосистем» и, соревнуясь со студентами профильных направлений подготовки, заняли одно из призовых мест.

Выводы. Предложенная в статье структура учебного курса «Системы искусственного интеллекта» позволяет студентам непрофильных специальностей и направлений подготовки в условиях ограниченного объема часов лабораторных работ в полной мере освоить компетенции, рекомендуемые письмом Минобрнауки России. Используемый при построении курса метод «от простого к сложному» дает возможность учащимся сперва понять сущность и виды задач, решаемых с помощью технологий искусственного интеллекта. С этой целью первые лабораторные работы выполняются на базе специализированных платформ визуального программирования с понятным неподготовленному пользователю интерфейсом (*Teachable Machine* и *Orange Data Mining*). В последующих лабораторных работах осуществляется последовательный и логичный переход к изучению программных средств решения этих задач. В соответствии с методом проектного обучения конечным пунктом изучения рассматриваемой дисциплины является студенческий проект по созданию *Telegram*-бота на *Python*, отвечающего на вопросы пользователей по заданной тематике. Тем самым студенты получают инструмент, которым могут активно пользоваться в

ходе дальнейшего обучения.

Предлагаемый комплекс взаимосвязанных лабораторных работ является конкретизацией рекомендуемого письмом Минобрнауки России учебного модуля «Системы искусственного интеллекта», и предназначен для изучения студентами непрофильных специальностей и направлений подготовки.

Разработанный учебный курс прошел практическую апробацию и показал свою эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 (ред. от 15.02.2024) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года») [Электронный источник] // https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/ (дата обращения 30.06.2024).
2. Письмо Министерства науки и высшего образования РФ от 2 июля 2021 г. N МН-5/2657 «О направлении информации» [Электронный источник] // <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401364914/#review> (дата обращения 30.06.2024).
3. Письмо Минобрнауки России от 14.06.2023 г. № МН-5/179660 «Информация об образовательном модуле «Системы искусственного интеллекта» для включения в образовательные программы высшего образования и дополнительные профессиональные программы, планируемые к реализации в 2023/24 учебном году» // <https://fgosvo.ru/> (дата обращения 30.06.2024).
4. Кудрявцева А.А., Соркин А.В. Отношение студентов к использованию искусственного интеллекта в обучении (на примере социологического факультета Смоленского государственного университета) // Цифровое общество: научные инициативы и новые вызовы: Материалы Международной научно-практической конференции. – Москва, 22 декабря 2023 г. / ред. кол.: П.Н. Новиков [и др.]. – Москва: Изд-во АНО ДПО «ПРОН», Изд-во АЛЕФ, 2023. – С. 185-191.
5. Кухарев А.В. Современные библиотеки глубокого обучения и их использование в учебном процессе при подготовке it-специалистов // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы XXIV (71) Региональной научно-практической конференции, Витебск, 14 февраля 2019 г. / ред. кол.: И.М. Прищепа [и др.]. – Витебск: Изд-во ВГУ им. П.М. Машерова, 2019. – том 2. – С.50-52.
6. Лукьяненко А.С. Некоторые технологические и педагогические аспекты разработки и использования экспертных систем при обучении студентов основам искусственного интеллекта // Вестник Поморского университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. – 2009. – № 2. – С. 112-115.
7. Некрасова И.И., Розов К.В., Шрайнер Б.А. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере высшего и общего образования // Сибирский педагогический журнал. – 2021. – № 3. – С. 20-27.
8. Розов К.В. Формирование профессиональной готовности будущих учителей информатики к применению технологий искусственного интеллекта // Информатика и образование. – 2022. – Т. 37. – № 2. – С. 50-63.
9. Шрайнер Б.А., Розов К.В. Специфика дистанционного обучения студентов педагогических специальностей предмету «Технологии искусственного интеллекта» // Вестник педагогических инноваций. – 2022. – № 4 (68). – С.122-132.
10. Дробахина А.Н. Организация обучения студентов непрофильных специальностей в области искусственного интеллекта // Цифровые трансформации в образовании (E-Digital Siberia'2023): Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 20 апреля 2023 г. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2023. – С. 117-122.
11. Никольский А.А. Использование открытых программных платформ и графического интерфейса для обучения студентов методам глубокого обучения, когнитивного анализа и искусственного интеллекта // Современные нейрокибернетические технологии в реабилитации и развитии когнитивных способностей человека: Материалы VI Международной конференции. – Москва, 26–27 ноября 2021 г. / ред. кол.: В.Д. Байрамов [и др.]. – Москва: Изд-во Московского государственного гуманитарно-экономического университета, 2022. – С. 56-61.
12. Некрасова И.И., Шрайнер Б.А. Проектная деятельность студентов при обучении дисциплине «технологии искусственного интеллекта» // Технологическое образование: теория и инновационные практики (К 45-летию юбилею кафедры технологического образования РГПУ им. А. И. Герцена): Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Санкт-Петербург, 28-30 марта 2023 г. / ред. кол.: О.В. Костейчук [и др.]. – Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. – С. 172-176.
13. Дробахина А.Н. Опыт обучения студентов педагогических специальностей разработке чат-ботов с помощью визуальных конструкторов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2022. – №5 (80). – С. 26-29.
14. Лызь Н.А., Компаниец В.С., Лызь А.Е. Системы искусственного интеллекта в сопровождении обучения и развития студентов // Педагогика информатики. – 2023. – № 1 – 2. – С. 48-59.
15. Сафонов В.И., Сафонова Л.А. Обучение студентов основам искусственного интеллекта // Инновации и информационные технологии в условиях цифровизации экономики: Материалы Международной научно-практической конференции. – Алчевск, 27–28 апреля 2023 г. / ред. кол.: И.С. Кусов [и др.]. – Алчевск: Изд-во ДонГТУ, 2023. – С. 331.
16. Edwin Ariesto Umbu Malahinal, Ryan Peterzon Hadjon, Franki Yusuf Bisilisin. Teachable Machine: Real-Time Attendance of Students Based on Open Source System / International Journal of Informatics and Computer Science. – 2022. – Vol.6 №3. – P. 140-146.
17. Libo Li. Boosting Performance in Data Science Competition Using Topic-Driven Analytics: Evidence From Recommendation System Design on Kaggle / IEEE Transactions on Engineering Management. – 2022. – Volume 71 – P. 3016-3027.
18. Demšar J., Curk T., Erjavec Al., Gorup Č., Hočevcar T., Milutinović M., Možina M., Polajnar M., Toplak M., Starič An., Stajdohar M., Umek L., Žagar L., Žbontar J., Žitnik M., Zupan B. Orange: Data Mining Toolbox in Python / Journal of Machine Learning Research. – 2013. – 14. – P. 2349-2353.
19. Demšar J., Zupan B. Data mining fruitful and fun - a historical perspective / Informatica. – 2013. – 37. – P. 55-60.
20. Toplak M., Birarda G., Read S., Sandt C., Rosendahl S. M., Vaccari L., Demšar J., Borondics F. Infrared Orange: Connecting Hyperspectral Data with Machine Learning / Synchrotron Radiation News. – 2017. – 30 (4). – P. 40-45.

Статья поступила в редакцию 03.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 004.932.4

EDN: EKUMTQ

**ОСОБЕННОСТИ СКАНИРОВАНИЯ КИНОПЛЁНОК 3-Й КАТЕГОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДВУСТОРОННЕЙ ЛАМИНАЦИИ И НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ ПОСТОБРАБОТКОЙ**

© Автор(ы) 2024

SPIN-код: 4017-7027

AuthorID: 1127924

ORCID: 0009-0005-6127-3138

ScopusID: 57391985300

БЛИННИКОВ Александр Вениаминович, аспирант,

ассистент кафедры «Информационных технологий и математического обеспечения информационных систем»

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: info@kgau.ru)

SPIN-code: 4017-7027

AuthorID: 1127924

ORCID: 0009-0005-6127-3138

ResearcherID: IAQ-3058-2023

ScopusID: 57391985300

БОРОВИНСКИЙ Дмитрий Владимирович, кандидат экономических наук,

заведующий кафедры государственного и муниципального управления

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

(660041, Россия, Красноярск, ул. 60 лет Октября, 97, e-mail: b-dim@mail.ru)

SPIN-код: 3817-2742

AuthorID: 108176

ORCID: 0000-0003-2128-6661

ResearcherID: S-9633-2017

ScopusID: 56441027200

КОВАЛЕВ Игорь Владимирович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Программная инженерия»

Сибирский федеральный университет

(660041, Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: office@sfu-kras.ru)

Аннотация. Работа посвящена исследованию и изучению методов сканирования уникальных немых кинокадров начала XX века с повреждённой киноплёнки третьей категории. Основная задача была – сохранение культурно-исторического наследия. Киноплёнки проходили процедуру увлажнения в фильмолате специальными средствами на основе глицерина, изопропилового спирта и дистиллированной воды, после чего к плёнкам приклеивался дополнительный ракорд, так же выполнялось двойное ламинирование всего материала односторонней прозрачной полипропиленовой основой с акриловым клеем и низкой дегазацией. В данном исследовании киноматериалы оцифровывались с использованием киносканера Cintel Scanner C-Drive. Были отсканированы 35 мм киноленты, любезно предоставленные КГАУК «Енисей кино» и ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей. Оцифрованные киноматериалы проходили постобработку: шумоподавление, чистка изображений с применением AI технологий, цифровых эффектов и аппаратно-программных манипуляций, в процессе постобработки исчезали в среднем 10-15 крупных артефакта (пятна), от 25 до 45 мелких пылинок, а так же до 7 царапин. Уникальные кадры с уникальных киноплёнок удалось бережно перевести в цифровой формат и сохранить.

Ключевые слова: сканирование киноплёнки, двойное ламинирование односторонней прозрачной полипропиленовой основой, нейросетевые технологии, дискретные преобразования, киноплёнка 35 мм, цифровая постобработка.

**FEATURES OF SCANNING FILMS OF THE 3RD CATEGORY USING DOUBLE-SIDED
LAMINATION AND NONLINEAR DIGITAL POST-PROCESSING**

© The Author(s) 2024

BLINNIKOV Alexander Veniaminovich, post-graduate student, assistant of Department of Software Engineering

Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Ave. Mira 79, e-mail: info@kgau.ru)

BOROVINSKII Dmitrii Vladimirovich, candidate of Economic Sciences,

head of the Department «State and Municipal Management»

Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service of the EMERCOM of Russia

(660041, Russia, Krasnoyarsk, 60 let Oktyabrya St., 97, e-mail: b-dim@mail.ru)

KOVALEV Igor Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of Department of Software Engineering,

Siberian Federal University

(660041, Russia, Krasnoyarsk, Ave. Svobodny 79, e-mail: office@sfu-kras.ru)

Abstract. The work is devoted to the research and study of methods for scanning unique silent film frames of the early 20th century from damaged film of the third category. The main task was to preserve the cultural and historical heritage. The films underwent a humidification procedure in the filmostat with special means based on glycerin, isopropyl alcohol and distilled water, after which an additional record was glued to the films, as well as double lamination of the entire material with a one-sided transparent polypropylene base with acrylic glue and low degassing. In this study, film materials were digitized using the Cintel Scanner C-Drive. 35 mm films were scanned, courtesy of KGAUK "Yenisei Cinema" and GBUK Krasnoyarsk Regional Museum of Local Lore. Digitized film materials underwent post-processing: noise reduction, image cleaning using AI technologies, digital effects and hardware and software manipulations, during post-processing, an average of 10-15 large artifacts (spots), from 25 to 45 small dust particles, as well as up to 7 scratches disappeared. The unique footage from the unique films was carefully digitized and saved.

Keywords: film scanning, double lamination with a one-sided transparent polypropylene base, neural network technologies, discrete transformations, 35 mm film, digital postprocessing.

Для цитирования: Блинников А.В. Особенности сканирования киноплёнок 3-й категории с применением двусторонней ламинации и нелинейной цифровой постобработкой / А.В. Блинников, Д.В. Боровинский, И.В. Ковалев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 60-69. – EDN: EKUMTQ.

Введение. На сегодняшний день, достаточным числом исследователей и исследовательских групп (С. В. Перельгин [1], А. В. Ганков, С. Ю. Подлесный, Д. Н. Сухов [2], Глебова И.С. [4], И.А. Грачёва [7], Р.Н. Храбров [8], и др. [5-11]), весьма своевременной и потому актуальной является проблематика сканирования хроникально-документальных кинокадров.

Киносканер (сканер киноплёнки) представляет собой устройство, предназначенное для преобразования аналоговых изображений с кинематографического негатива или позитива в цифровой формат. Для этого киносканер калибруется, выбирается режим совместимости рабочей станции и аппарата, выставляются предварительные настройки (тип плёнки, число перфораций на плёнке, режим и т.д.).

Ещё одной важной задачей сканера киноплёнки является перевод старых кинофильмов на цифровые платформы и серверные облака, поскольку усадка плёнки, её сухость и амортизационная составляющая временного фактора, в общей совокупности не позволяют показывать эти кинокадры на кинопроекторе. Для подобных задач в киносканере используется бережный «протяг» (транспортирование) киноплёнки, что требует наличия гладких вращающихся барабанов, без использования насечек или усиков, без «мальтийского креста» или грейферного механизма, желательно, чтоб гладкие вращающиеся барабаны были в сочетании с резиновыми или силиконовыми роликами.

Сканер киноплёнки как правило подключается к персональной рабочей станции, предварительно созданной и собранной именно под конкретный аппарат сканирования, это позволяет оператору контролировать процесс сканирования на высоком уровне. Управляя работой сканера (калибровка, пуск, остановка, сдвиг по перфорации), выравнивая резкость, яркость непосредственно с манипулятора или клавиатуры рабочей станции можно в режиме

предпросмотра определять значимые эпизоды и исходя из поставленных задач приступать к обычному или HDR сканированию. В результате сканирования получается последовательность графических файлов, соответствующая количеству отсканированных кадров плёнки.

Совершенствование информационных технологий позволяет не только чистить, снижая уровень энтропии на отсканированных изображениях, но и частично генерировать объекты на цифровых изображениях, однако очень важным является качество исходного материала, с которого сканируется цифровая копия [2]. В случаях, когда киноплёнка является сильно повреждённой не помогает даже увлажнение, в процессе сканирования в особо хрупких местах происходят порывы.

Возможность сканирования фонограммы в данном проекте не рассматривалась, так как исходные киноматериалы были дозвуковой эпохи кинематографа – начала XX века – эры немого кино.

Киноплёнки начала XX века на нитроцеллюлозной основе [3] не скручивались (рис. 1), почти не рвались, давали искристое изображение, картинка была более детальной и глубокой (благодаря хорошей светочувствительности), но все эти плюсы перечёркивал весьма серьёзный минус – очень сильная горючесть [4]. После более чем 100 лет эксплуатации и хранения плёнка предоставленная ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей оказалась третьей категории (практически непригодная для показов).

Учитывая историческую важность изображений на 35 мм киноплёнке и их уникальность, было принято решение использовать защитные технологии для минимизации порывов киноматериалов в местах дефектной перфорации. Поскольку подобных мест на дефектной киноплёнке было слишком много, то одним из самых эргономичных способов в плане сохранения возможности сканирования и при этом с

защитой плёнки от механических повреждений стало применение ламинации односторонней прозрачной полипропиленовой основой с акриловым клеем и низкой дегазацией.

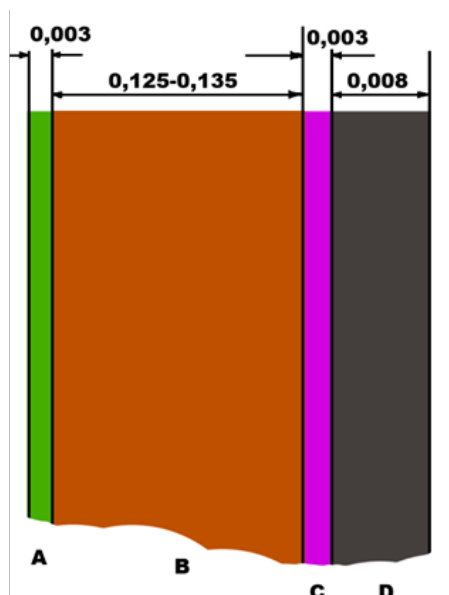


Рисунок 1 – Строение чёрно-белой киноплёнки на нитрооснове

*A – слой лака(покрытие, препятствующее скручиванию),
B – нитроцеллюлозная основа; C – клей для скрепления
нитроцеллюлозной основы и фотоэмульсии; D –
водоотталкивающая фотоэмульсия*

Высокий динамический диапазон (*HDR*) [5] – метод объединения нескольких изображений с разной экспозицией для расширения общего динамического диапазона изображения [6], позволяющий снижать показатели энтропии [7], в данном исследовании не подходил по ряду существенных причин, требовалось покадровое сканирование с частыми остановками,

пересканированием и с ручными манипуляциями на ламинированных участках повышенной сложности [8].

Цель данного исследования состояла в том, чтобы на практике отработать метод сканирования уникальных кинокадров более чем 100-летней киноплёнки, проверить способности рабочей станции в выполнении этой технической задачи для дальнейшего практического использования аппаратного комплекса в рамках работы по сканированию. Так же требовалось проверить экспериментальную технологию ламинации односторонней прозрачной полипропиленовой основой с акриловым клеем и низкой дегазацией на нитрокиноплёнке.

Методология. Первый метод, который применялся в данной работе, это стандартное увлажнение киноплёнки. Для того, чтобы хотя бы частично убрать излишнюю сухость, киноплёнки используемые в обработке, в течении недели увлажнялись фильмоостатной жидкостью [9].

Учитывая тот факт, что часть киноархива на нитроцеллюлозной основе рассыпалась буквально в руках, крошилась и сыпалась, более того, сама плёнка, благодаря диффузным процессам заметно преобразилась в цветовом спектре, от бардового до красновато-багряного цвета, требовались кардинальные меры для спасения визуальной информации на кинокадрах. Был разработан конструктивный экспериментальный аппарат для ламинации киноплёнки и в мануальном режиме, с частыми поправками на рваных участках, на участках с повреждённой перфорацией, производилась двойная ламинация односторонней прозрачной полипропиленовой основой с акриловым клеем. Односторонняя прозрачная плёнка клеилась со стороны фотоэмульсии и вторая односторонняя прозрачная полипропиленовая плёнка наносилась на лак (рис. 2).

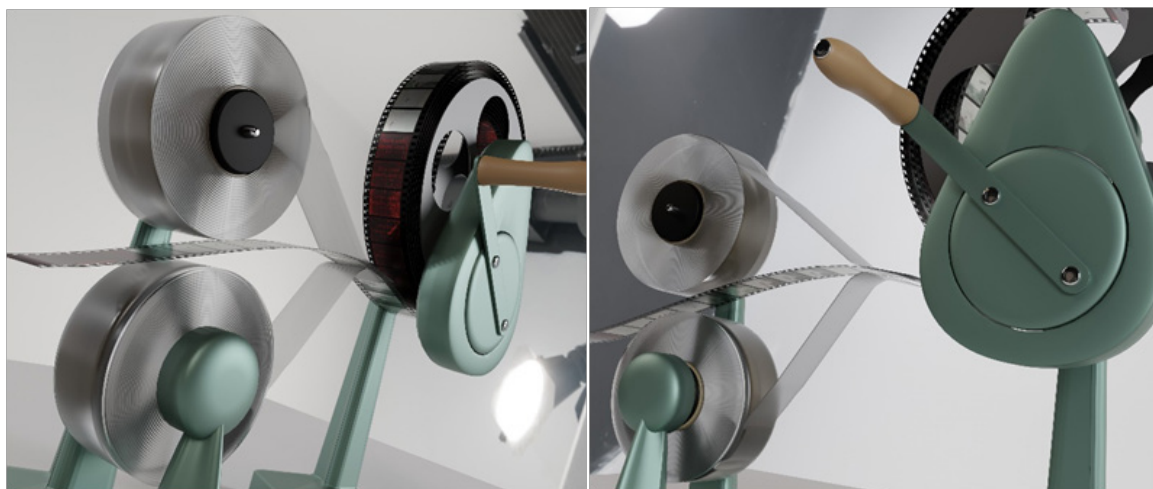


Рисунок 2 – Внешний вид прибора для ламинации киноплёнки (без прижимных термоваликов)

Этот этап подготовки был самым ответственным и потому наиболее трудоёмким. Сжатие или сдавливание по месту соединения киноплёнки и

прозрачной полипропиленовой плёнки увеличивает растекание клея, тем самым улучшая адгезию. Данные манипуляции дают более прочное соединение

в первые минуты склеивания. Время, а так же температурная амплитуда влияют на силу адгезии. Но учитывая тот факт, что архивная киноплёнка на нитроцеллюлозной основе, термическое воздействие полностью исключено [8].

Киноматериалы использовавшиеся в работе:

– экспонат из ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей «Передвижная мастерская для починки аэропланов на т.в.д.», предположительно 1913-1917 годов, предположительно записи красноярского кинооператора, на 35 мм киноплёнке, черно-белый (ЧБ);

– экспонат из ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей «Авиапроисшествие, пожарный расчёт, демонстрация», предположительно 1916-1919 годов, предположительно записи красноярского кинооператора, на 35 мм киноплёнке, черно-белый (ЧБ);

– экспонат из ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей «Парад, выборы, пейзажи», предположительно 1916-1919 годов, предположительно записи красноярского кинооператора, на 35 мм киноплёнке, черно-белый (ЧБ).

При создании акрилового клея для прозрачной полипропиленовой ленты нужных харак-

теристик (максимальная прозрачность, отсутствие дисперсионных составляющих и высокий коэффициент липкости) использовался синтезированный пластикат (рис. 3).

К каждой частёвке приклеивался дополнительный начальный и конечный ракорд не менее 3-х метров.

Следующим этапом в работе было сканирование киноплёнки:

1. На киносканера Cintel Scanner C-Drive HDR+.
2. Предустановки выставлялись в DaVinci Resolve 19.

3. Покадровое сканирование позитивной киноплёнки на нитроцеллюлозной основе осуществлялось в мануальном режиме с интервалом сканирования кадра в 2 секунды.

DaVinci Resolve 19, сочетающая в себе редактирование, цветокоррекцию, визуальные эффекты и анимированную графику в одном программном инструменте, позволила максимально бережно проработать сканы.

Нелинейная цифровая постобработка стала финальным этапом донного рабочего процесса, данная обработка осуществлялась на рабочей станции Apple Mac Studio, M2 Ultra, 24 CPU/60 GPU, 128ГБ/8ТБ.

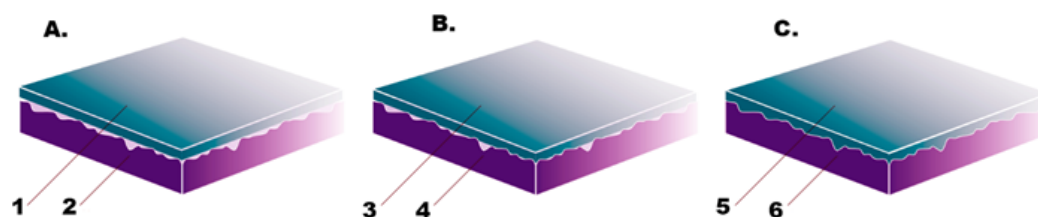


Рисунок 3 – Фазы склеивания повреждённых поверхностей клеем на полипропиленовой ленте:

A – начальный контакт; B – взаимодействие; C – воздействие
1, 3, 5 – поверхность односторонней полипропиленовой плёнки;
2, 4, 6, - поверхность нитроцеллюлозной киноплёнки

Результаты. При сканировании киноплёнки в данной работе использовались исключительно 35 мм позитивные исходные материалы с четырьмя перфорациями в кадре по правой и левой стороне.

Числовые результаты сканирования, пересчётов и процессов представлены в таблице 1.

Настройка фокуса (рис. 4) производилась с

помощью опции «Индикация фокуса» и зернистость нитроцеллюлозной киноплёнки помогла в процессе калибровки фокуса, детальное описание этого процесса представлено в мануальном руководстве киносканера [10].

Постобработка отсканированных материалов заняла 6 месяцев.

Таблица 1 – Результаты сканирования и пересчёта позитивных исходных материалов кинофильмов на нитроцеллюлозной основе начала XX века*

Общее наименование киноэпизодов	Продолжительность эпизодов (м., с.)	Процессы	Время пересчёта (м., с.)
Передвижная мастерская для починки аэропланов на т.в.д. (35 мм, ЧБ)	0:55	Ламинирование Покадровое сканирование Нелинейная постобработка	17:11
Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация (35 мм, ЧБ)	0:32	Ламинирование Покадровое сканирование Нелинейная постобработка	12:28
Аэроплан, выборы, пейзажи (35 мм, ЧБ)	0:36	Ламинирование Покадровое сканирование Нелинейная постобработка	14:15
Парад	0:44	Ламинирование Покадровое сканирование Нелинейная постобработка	15:57

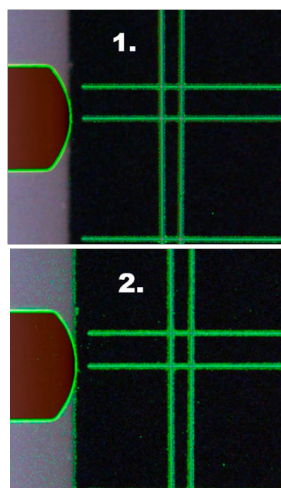


Рисунок 4 – Настройка фокуса: 1 – небольшой расфокус;
2 – настроенный фокус

Обсуждение. Поскольку киноматериалы были изначально составлены и склеены из разных отснятых материалов и плёнок начала XX века, потому во всех плёнках были как кино позитивы, так и кино негативы. В процессе монтажа производилась инверсия изображений негативов (рис. 5). Так как негативных кадров и эпизодов было не так много, то было принято решение: специально режим сканирования негативов не подключать, а работать в рабочем порядке.

Так же в комплекте поставки Cintel Scanner был SDK-пакет для разработки собственных решений, совместимых с платформой Mac, что дало

возможность управлять устройством с помощью различных команд. Другими словами, SDK-пакет позволил создать небольшую прикладную программу для контроля устройства в процессе покадрового сканирования ламинированной плёнки, изменив ряд настроек и характеристик сканирования для удобства работы [10].

При последовательном использовании временного и пространственного шумоподавления в системах дополнительной цветовой гаммы Rec.709 можно наблюдать следующее:

- при временном шумоподавлении наличие нежелательного шума проверяется сразу в нескольких кадрах, потому детали чётче проявляются в тех участках изображения, где движение минимально.

- успешное использование временного шумоподавления на первом этапе (даже на части изображения) позволяет уменьшить объем применяемого пространственного шумоподавления на втором этапе и тем самым улучшить общее качество конечного результата [12].

Cintel Scanner C-Drive HDR+ поддерживает 35-мм формат киноплёнок с разным числом перфораций на кадр. При сканировании плёнок на нитроцеллюлозной основе небольшая скорость перемещения киноплёнки (2 сек/кадр при разрешении 4K) позволяет обеспечить устойчивость кадра при сканировании [13].

Технология ламинации позволила зарядить и заправить в киносканер киноплёнку, что ранее было просто невозможно, так как из-за хрупкости и старости киноплёнка сыпалась и рвалась.

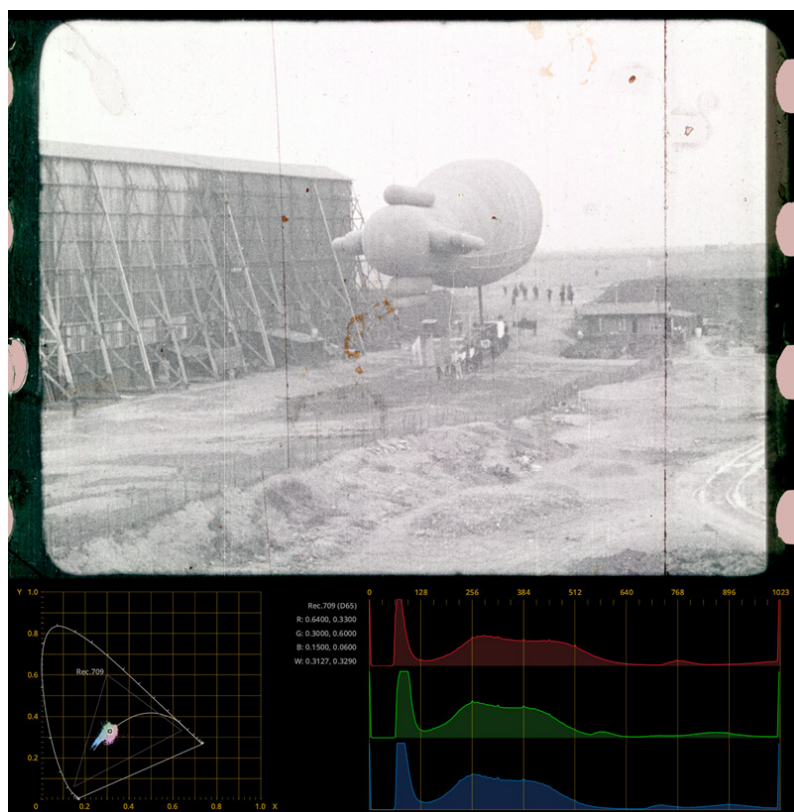


Рисунок 5 – Диаграмма CIE и Гистограмма RGB инверсированного кадра с дирижаблем (начало XX века)

В процессе постобработки уже отсканированного материала производилась покадровая чистка в подках Automatic Dirt Removal, Noise Redaction, а так же применялась опция AI Anti-Scratch 1.4, исчезали 10-15 крупных артефакта (пятна), от 25 до 45 мелких пылинок и волосков, а так же до 7 царапин (рис. 6).

При создании AI Anti-Scratch (рис. 7) источниками для сбора и разметки датасета для Machine Learning [14] были не только сканированные материалы из КГАУК «Енисей кино», но и сканированные копии из открытых источников, таких, как, например, ar-

chive.org. Так как идеального метода или алгоритма машинного обучения нет, так как есть определенные ограничения, которые можно смягчить или устранить, объединив навыки разных методологий, потому использовался гибридный алгоритмический подход.

Наиболее трудоёмким был процесс подготовки и сканирования кадров ленты «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.», так как киноплёнка была максимально плохого качества и степень износа исходных материалов была достаточно высокая.

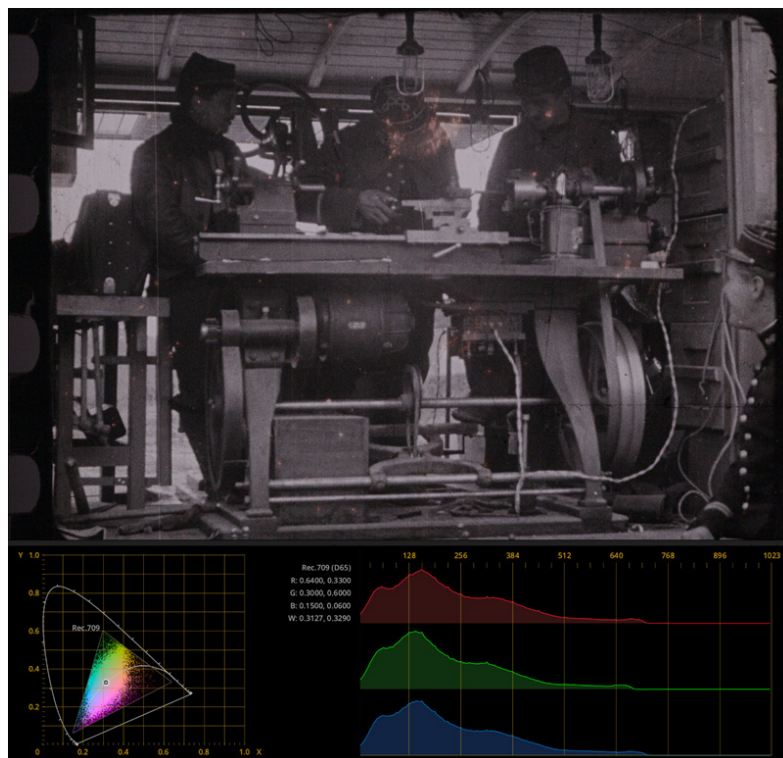


Рисунок 6 – Диаграмма СТЕ и Гистограмма RGB кадра с бригадой пожарных (начало XX века)

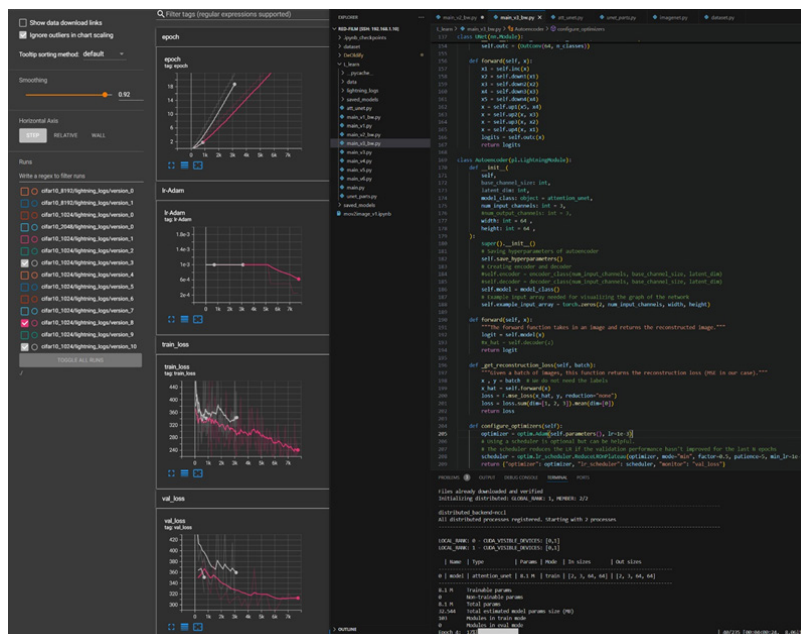


Рисунок 7 – Процесс обучения AI модели

Итогом работы стало 8 видеороликов. Две версии каждого видеофрагмента:

- обработанного видео в 4 К;
- обработанного, но сжатого до HD.

Сравнительный объективный анализ качества видео осуществлялся в программе *MSU Video Quality Measurement Tool (MSU VQMT)* по *PSNR* (Пиковому отношению сигнал/шум) по сканкопиям «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.» и «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация». Этот анализ визуально представлен на рисунке 8 цветными диаграммами (сжатого и обработанного видеопотока, в сравнении с исходным). И по *Mean Squared Error (MSE)* – среднеквадратичной ошибке.

Покадровый расчёт в динамике объективных метрик [15] качества цифрового видео при сравнении исходной сканкопии и обработанной в редакторе видеопоследовательностей.

Метрика *MSE* рассчитана по формуле:

$$MSE = \frac{1}{\omega \cdot h} \sum_{i=1}^{\omega} \sum_{j=1}^h (x_{ij} - y_{ij})^2 \quad (1)$$

Метрика *PSNR* имеет логрифмический масштаб и может быть рассчитана по следующей формуле:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{MaxErr^2 \cdot \omega \cdot h}{MSE} \quad (2)$$

где *MaxErr* – максимально возможное абсолютное значение световой составляющей (*MaxErr* = 1 в *VQMT*), *ω* – ширина видео, *h* – высота видео.

Абсолютное *PSNR* для обработанного скана плёнки «Передвижные мастерские для починки

аэропланов на т.в.д.» для 4К версии составил 50,172356, для сжатого до HD – 14,858089. *MSE* составило 50,585152 и 15,592349 соответственно (рис. 9).

Абсолютное *PSNR* для обработанного скана плёнки «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация» для 4К версии составил 51,936028, для сжатого до HD – 26,598078. *MSE* составило 53,095367 и 26,891541 соответственно (рис. 10).

Абсолютное *PSNR* для обработанного скана плёнки «Аэроплань, выборы, пейзажи» для 4К версии составил 53,731941, для сжатого до HD – 23,911382. *MSE* составило 54,518307 и 22,876645 соответственно. составило.

Абсолютное *PSNR* для обработанного скана плёнки «Парадь» для 4К версии составил 48,12978, для сжатого до HD – 17,133750. *MSE* составило 48,345607 и 17,987145 соответственно. составило.

Усреднённый коэффициент различия или отклонения (*Variance*) составил для 4К версии «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.» – 2,878843; для «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация» – 1,451904; для «Аэроплань, выборы, пейзажи» – 2,002398; для «Парадь» – 1,852108.

Общие результаты сравнительного анализ качества видео «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.»; «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация»; «Аэроплань, выборы, пейзажи» и «Парадь» (для версий в 4К) представлены в таблице 2.

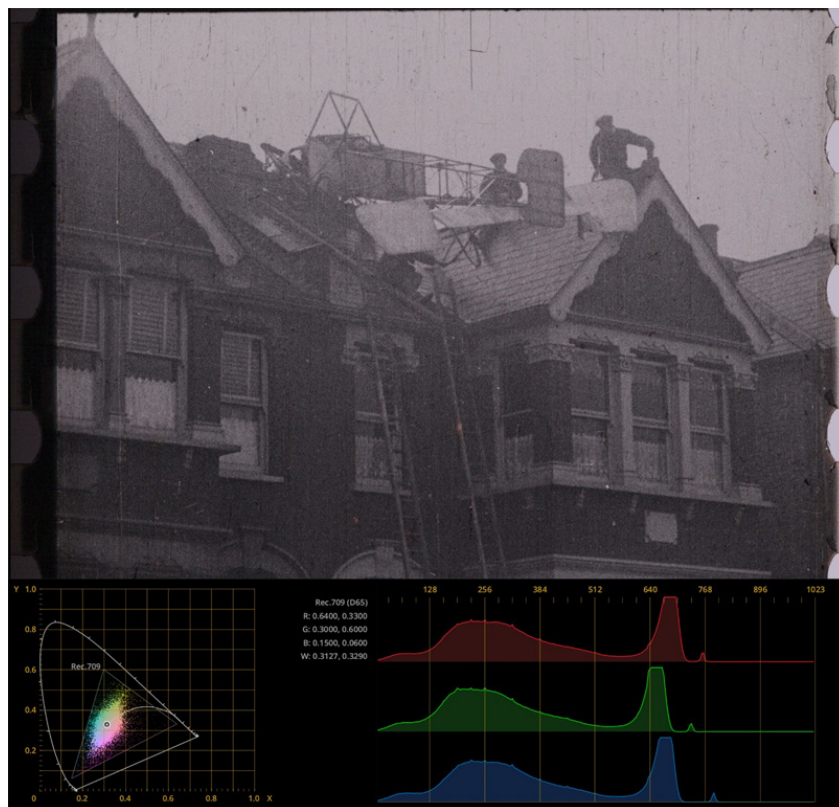


Рисунок 8 – Диаграмма CIE и Гистограмма RGB кадра с аэроплана (начало XX века)



Рисунок 9 – Диаграммы MSU VQMT по PSNR для: «Передвижная мастерская для починки аэропланов на т.в.д.»



Рисунок 10 – Диаграммы MSU VQMT по PSNR для: «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация»

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализ качества сканированного видео кинофильмов на нитроцеллюлозной основе*

Общее наименование киноэпизодов	Total PSNR	MSE	Harm.MSE	Variance	STDDev
Передвижная мастерская для починки аэропланов на т.в.д. (35 мм, ЧБ)	50,172356	50,585152	50,530735	2,878843	1,696715
Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация (35 мм, ЧБ)	51,936028	53,095367	53,057411	1,451904	1,204950
Аэроплан, выборы, пейзажи (35 мм, ЧБ)	53,731941	54,518307	54,814706	2,002398	1,890121
Парадъ	48,12978	48,12978	48,001598	1,852108	1,451904

* составлено автором

Так как PSNR – отношение пикового уровня сигнала к шуму, учитывается тот факт, что при вычислении PSNR вычисляется именно отношение максимально возможного («пикового») сигнала по отношению к уровню шума, а не ищется максимальное («пиковое») отношение вычисленного

значения сигнал/шум [16].

Типичные значения Total PSNR для обрабатываемых изображений лежат в пределах от 20 до 30 dB [17]. Потому значения для не сжатых 50,172356; 51,936028; 53,731941; 48,12978 и для сжатых файлов 14,858089; 26,598078; 23,911382 и 17,133750

достаточно неплохой результат изображений, исходное качество которых в оригинале на аналоге было 3-й категории.

Стандартное отклонение (STDDev) в мониторинге производительности для «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.», «Автомобиль, пожарный расчёт, демонстрация», «Аэроплан, выборы, пейзажи» и «Парад» для 4K составили 1,696715; 1,204950; 1,890121 и 1,451904 соответственно.

Из-за слишком сильных цветовых скачков в ряде плёнок на финальном этапе производился уход в чёрно-белое изображение сканированных и обработанных видеофрагментов, кроме оригинальной заставки «Передвижные мастерские для починки аэропланов на т.в.д.», которая была специально раскрашена вручную для художественного эффекта ещё при проявке и закреплении киноплёнки в начале XX века.

Динамические процессы оцифровки аналоговых материалов, применяемых в различных областях человеческой научной мысли (от архивных хроникально-документальных киноплёнок до спутниковых снимков [18]), предполагают, что опыт предыдущих поколений будет не только интересен, но и полезен последующим поколениям исследователей.

Выводы. Главную задачу, которую выполнил киносканер, можно сформировать следующим образом: сканер обеспечил максимально точную передачу кадров при переводе оптического изображения повреждённой киноплёнки в файлы с расширением .cst в Capture CacheClip. Уникальные киноплёнки удалось бережно перевести в цифровой формат, сохранить и обработать в редакторе.

MSE по обработанным киноплёнкам составило 50,585152; 53,095367; 54,518307 и 48,345607 (для 4 K версии).

Total PSNR для не сжатых видеофайлов составило 50,172356; 51,936028; 53,731941; 48,12978.

STDDev в мониторинге производительности для изображений в 4K составили 1,696715; 1,204950; 1,890121 и 1,451904.

Полученный результат вполне смотрибелен, а учитывая тот факт, что изображению более 100 лет, это уже большое достижение [19], поскольку ранее эти фрагменты даже зарядить в аппарат не представлялось возможным.

Основываясь на ранее полученных данных [20], в работе применялась система дополнительной цветовой гаммы Rec.709 и сканирование позволило визуально улучшить обработку уникальных короткометражных кинодокументов, предоставленных КГАУК «Енисей кино» ГБУК Красноярский краевой краеведческий музей на длительное хранение.

Красноярский фильмофонд КГАУК «Енисей кино» представляет интерес для исследовательских проектов. Результаты сканирования на данное время уже используются для закрытых показов на

специальных краевых мероприятиях. Методики постобработки сканированных изображений постоянно совершенствуются, в этом направлении уже применяются AI технологии и перспективы дальнейших изысканий в данном направлении вызывают сдержанный оптимизм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Перельгин, С.В. Фильм-сканеры: современные разработки и технологии / С.В. Перельгин // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий: материалы V Международной научно-технической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения выдающегося физика и создателя первой русской усилительной радиолампы Н. Д. Папалекси. В 2 частях, Санкт-Петербург, 24-25 ноября 2020 года. Том Ч. 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2021. – С. 153-160.
2. Анализ структурных характеристик киноизображений / А.В. Ганков, С.Ю. Подлесный, Д.Н. Сухов [и др.] // Мир техники кино. – 2020. – Т. 14. – № 4. – С. 3-10.
3. Иофис Е.А. Кинофотопроекторы и материалы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Искусство, 1980. – 240 с.
4. Глебова И.С. Развитие экранных искусств и их влияние на аудиовизуальное образование / И.С. Глебова // Наука телевидения. – 2017. – № 13.3. – С. 33-42.
5. Грачева И.А. Алгоритм сжатия динамического диапазона HDR изображений на основе фильтрации с сохранением структуры / И.А. Грачева, А.В. Копылов // Интеллектуализация обработки информации: Тезисы докладов 12-й Международной конференции, Москва, Россия – Гаэта, Италия, 08-12 октября 2018 года. – Москва, Россия – Гаэта, Италия: Общество с ограниченной ответственностью "ТОРУС ПРЕСС", 2018. – С. 110-111. – DOI 10.30826/IDP201850.
6. Украинский О.В. О применении технологии HDR в телевизионном вещании / О. В. Украинский // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022): Сборник научных трудов XI Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах, Санкт-Петербург, 15-16 февраля 2022 года / Под редакцией А.В. Шестакова, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2022. – С. 397-401.
7. Храбров, Р.Н. Операторы HDR TONE MAPPING для повышения реалистичности изображения / Р.Н. Храбров // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 18-22 апреля 2016 года / Российский университет дружбы народов. – Москва: Российский университет дружбы народов, 2016. – С. 189-190.
8. Цобкалло Е.С. Функциональные композиционные полимерные материалы электротехнического назначения / Е.С. Цобкалло, О.А. Москалюк, А.С. Степашкина // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2020. – № 52(78). – С. 28-35. – DOI 10.36807/1998-9849-2020-52-78-28-35.
9. Physical and technological approaches to systemic film moistening / I.V. Kovalev, N.A. Testoyedov, A.V. Blinnikov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 сентября – 03 октября 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. Volume 2094. – Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 22082. – DOI 10.1088/1742-6596/2094/2/022082.
10. Cintel Scanner Installation and Operation Manual / Grant Petty // Blackmagic Design Pty. Ltd. – November 2023. – 1271 p.
11. Pearl, Judea. The Book of Why: The New Science of Cause and Effect / Judea Pearl, Dana Mackenzie. – New York City: Basic Books, 2018. – 432 p.
12. Блинников А.В. Применение двумерного дискретного преобразования Фурье с узлами на центрированной решётке при постобработке архивной кинохроники / А.В. Блинников, И.В. Ковалев // Системы управления и информационные

технологии. – 2023. – № 4(94). – С. 50-53.

13. Blinnikov A. Nonlinear transformations of video elements in the morphing applications for event projects. / Aleksandr V. Blinnikov, Igor V. Kovalev, Anna A. Voroshilova, Dmitry V. Borovinsky // AIP Conf. Proc. 12 January 2024; 2969 (1): 060044. <https://doi.org/10.1063/5.0183407>.

14. Beatriz, Cristina, Flávia, de, Azevedo., Ana, Maria, A., C., Rocha., Ana, I., Pereira. (2024). Hybrid approaches to optimization and machine learning methods: a systematic literature review. Machine Learning, doi: 10.1007/s10994-023-06467-x.

15. Image Quality Evaluation in Professional HDR/WCG Production Questions the Need for HDR Metrics / Ya. Sugito, Ja. Vazquez-Corral, T. Canham, M. Bertalmio // IEEE Transactions on Image Processing. – 2022. – Vol. 31. – P. 5163-5177. – DOI 10.1109/tip.2022.3190706.

16. Al Najjar, Yu. Comparative Analysis of Image Quality Assessment Metrics: MSE, PSNR, SSIM and FSIM / Yu. Al Najjar // International Journal of Science and Research. – 2024. – Vol. 13, No. 3. – P. 110-114. – DOI 10.21275/sr24302013533.

17. Эталонная объективная метрика оценки качества видео совместимая с PSNR учитывающая частотные и периферическую характеристики зрения человека / А.И. Можяева, И.В. Власюк, А.М. Поташников, Л. Стритер // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 44-54.

18. Digitization of 20 years of decametric observations of the Sun and Jupiter in Nançay between 1970 and 1990 / L. Lamy, B. Cecconi, L. Debisschop [et al.] // Icarus. – 2023. – Vol. 394. – P. 115418. – DOI 10.1016/j.icarus.2022.115418.

19. Кинозрелищные предприятия и техника кинопоказа / Ю.П. Черкасов, О.Б. Шатилов. – 2-е изд. – Москва: Новый Центр, 2007. – 191, [1] с.: ил., табл.; 21 см.

20. Blinnikov A. Application of discrete digital transformations with nodes on a centered lattice in post-processing of anti-nicotine animation / Aleksandr V. Blinnikov, Elena Stepanova, Igor V. Kovalev // Global Scientific and Academic Research Journal of Economics, Business and Management. Vol. 2 Issue – 8 (August 2024), 21-25 p. DOI 10.5281/zenodo.13347327.

Статья поступила в редакцию 20.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 663.126

EDN: PYGABJ

ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РОСТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ ПО БИОМАССЕ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ

© Автор(ы) 2024

SPIN: 4157-4382

AuthorID: 181949

ORCID: 0000-0002-3904-7127

ResearcherID: N-8424-2016

ScopusID: 56216764600

КУЗЬМИН Антон Алексеевич, кандидат биологических наук,
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

*Пензенский государственный технологический университет
(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: kuzmin-puh@yandex.ru)*

Аннотация. Работа посвящена изучению продуктивности хлебопекарных дрожжей при периодическом глутинном культивировании в различных физико-химических условиях с целью оценки комплексного влияния параметров выращивания на прирост клеточной биомассы. Продуктивность дрожжевых культур по биомассе клеток оценивали турбидиметрическим методом. Питательные среды составляли путем добавления компонента, содержащего питательный элемент, к составу, обеспечивающему максимальный прирост при прочих равных условиях. В качестве источника углерода использовали глюкозу, фруктозу или сахарозу, в качестве источника азота – пептон или мочевины, в качестве источника фосфора – двойной суперфосфат. Культуры инкубировали 20 ± 1 ч при температурах 26°C или 37°C . Влияние pH изучали в интервале 3.5-6.5, применяя цитратный буфер. Подтверждены ауксотрофность, ацидофильность, трофическая и экологическая пластичность продуцента в психро- и мезофильных условиях, необходимость неорганических фосфатов для синтеза первичных метаболитов, выявлены способность дрожжей эффективно потреблять более высокие концентрации сахаров в мезофильных условиях, при комплексной оценке эффекта параметров культивирования на продуктивность дрожжей по биомассе установлена наибольшая значимость вида источника азота и концентрации углевода в среде.

Ключевые слова: дрожжи хлебопекарные, периодическое культивирование, биогенные элементы, нутриенты, питательная среда, первичные метаболиты, турбидиметрия, продуктивность по биомассе, биотехнология, ауксотрофы.

EVALUATION OF THE COMPLEX EFFECT OF GROWTH CONDITIONS ON THE PRODUCTIVITY OF BAKER'S YEAST BY BIOMASS DURING BATCH CULTIVATION

© The Author(s) 2024

KUZMIN Anton Alekseevich, candidate of biological sciences,
associate professor of Biotechnology and Technosphere Safety Department
Penza state technological university

(Russia, 440039, Penza, Pr. Baidukova/Gagarina Street, 1a / 11, e-mail: kuzmin-puh@yandex.ru)

Abstract. This work is devoted to the study of baker's yeast productivity during batch cultivation under different physicochemical conditions in order to evaluate the complex influence of cultivation parameters on cell biomass growth. Batch cultures' productivity was evaluated using turbidimetry. Media were composed by consequential addition of a component with exact nutrient to a composition which provided best growth of biomass at other equal conditions. In the formulation of nutrient media, glucose, fructose or sucrose was used as a carbon source, peptone or urea as a nitrogen source, and double superphosphate as a phosphorus source. Cultures were incubated for 20 ± 1 h at temperatures of 26°C or 37°C . The effect of pH was studied between 3.5 and 6.5 using citrate buffer. Auxotrophy, acidophilicity, trophic and ecological plasticity of the producer in psychro- and mesophilic conditions, the necessity of inorganic phosphates for the synthesis of primary metabolites were confirmed, the ability of yeast to efficiently consume higher concentrations of sugars in mesophilic conditions was revealed, and in a complex evaluation of the effect of cultivation parameters on yeast productivity by biomass, the greatest significance of the type of nitrogen source and carbohydrate concentration in the medium was established.

Keywords: baker's yeast, batch cultivation, biogenic elements, nutrients, medium, primary metabolites, turbidimetry, biomass productivity, biotechnology, auxotrophs.

Для цитирования: Кузьмин А.А. Оценка комплексного влияния условий роста на продуктивность хлебопекарных дрожжей по биомассе при периодическом культивировании / А.А. Кузьмин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 70-79. – EDN: PYGABJ.

Введение. Применение деятельности живых организмов (или их ферментов) в промышленных процессах является перспективным и многообещающим направлением развития экономики. Биотехнологии призваны решать широкий спектр современных общественных проблем, включая обеспечение общества полноценным и дешевым кормовым и пищевым белком и витаминами для решения вопросов получения ценных продуктов питания и нехватки качественного продовольствия.

Человек и сельскохозяйственные животные как потенциальные потребители белка одноклеточных являются ауксотрофными организмами, то есть не могут синтезировать самостоятельно некоторые (незаменимые) аминокислоты из сторонних источников и должны получать эти мономеры протеина с пищей. Это обстоятельство предъявляет высокие требования к качественному составу кормового (пищевого) белка. Кроме того, полноценность белка зависит от количественного его аминокислотного состава, обеспечивающего необходимую потребностям консумента сбалансированность пищевого продукта для построения собственных тканей. Основным продуцентом качественного белка одноклеточных являются дрожжи – колониальные одноклеточные высшие грибы из отдела (типа) аскомицетов.

Для достижения высокой продуктивности гетеротрофных продуцентов необходимо снабдить их метаболически доступными источниками основных биогенных элементов в оптимальном соотношении, а культивирование вести в условиях, обеспечивающих максимальную активность клеточных ферментов. Кроме того, действие нутриентов в среде происходит не изолированно, а в комплексе, поэтому ценным как с теоретической, так и с практической точки зрения представляется изучение такого сочетанного эффекта физико-химических условий культивирования на продуктивность клеточной биомассы.

Являясь гетеротрофами, дрожжи, как и большинство других представителей отдела сумчатых грибов, демонстрируют, главным образом, сапрофитный способ поглощения питательных веществ всей поверхностью клетки из окружающего раствора.

В качестве источников углерода дрожжи могут использовать разнообразные углеводы за исключением полисахаридов, предпочитая олигосахаридам (сахарозе и раффинозе) разнообразные простые углеводы – глюкозу, фруктозу, галактозу [1]. Исследована способность некоторых штаммов расти на глицероле как на несбраживаемом источнике углерода [2]. Если в выборе источников углерода дрожжи проявляют облигатную органотрофность, то в отношении субстратов остальных биогенных элементов они демонстрируют относительную пластичность.

В современной промышленной биотехнологии дрожжи являются типичными продуцентами кормового белка, для биосинтеза которого необходим аммонийный азот [3]. Источником его для дрожжей могут быть как органические (аминокислоты), так и неор-

ганические (соли аммония, аммиак) вещества. Плохо усваивают нитриты и нитраты. Из органических форм они усваивают аминокислоты, пептиды и мочевины [4]. По отношению к некоторым аминокислотам являются ауксотрофами [5].

Из минералов отмечено стимулирующее влияние на рост дрожжевой культуры ионов магния (II) и цинка (II), источниками которых выступают растворы минеральных солей этих металлов [6, 7].

Среди факторов роста дрожжей исследователи выделяют некоторые витамины группы В, в частности, тиамин и пиридоксин [8].

Помимо наличия основных биогенных элементов в доступной форме, необходимо обеспечить условия, оптимальные для роста дрожжевой культуры. К таковым относятся, прежде всего, температура и pH среды. Большинство штаммов дрожжей, в том числе промышленных, относится к кислотофильным организмам, оптимум pH которых находится в пределах от 4 до 6 [9]. Максимальные значения температуры среды для роста штаммов *S. cerevisiae* колеблются в пределах 37.5-39.8°C, тогда как температурный оптимум для быстрой активации роста культур находится в границах 30.0-35.0°C [10].

Несмотря на широкий спектр исследований вопроса периодического культивирования дрожжей, большинство работ рассматривает изолированное влияние какого-либо нутриента или физического фактора среды на продуктивность клеточной биомассы или изучает эффект определенного фактора роста при его добавлении или исключении из состава питательного субстрата. Оценке комплексного влияния условий культивирования на продуктивность дрожжевых культур, по нашему мнению, не уделено должного внимания.

Цель работы – оценить комплексное влияние физико-химических условий периодического культивирования на продуктивность хлебопекарных дрожжей по биомассе.

Методология. Материалом работы послужили данные по накоплению клеточной биомассы в культурах дрожжей, полученных методом глубинного культивирования в периодическом режиме. Исходную суспензию клеток продуцента готовили непосредственно перед инкубацией из брикета прессованных хлебопекарных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, G. Winter, 1880), влажность 75-80%, из расчета 10 г прессованной массы на 100 мл воды. Модельные питательные среды получали в день закладки эксперимента растворением навески химически чистого вещества в стерильной дистиллированной воде объемом 50 мл. Исходную суспензию продуцента и жидкие питательные среды смешивали из расчета 5 мл дрожжевой суспензии на 50 мл среды. Культивирование проводили в плоскодонных термостойких колбах объемом 250 мл, снабженных ватно-марлевыми пробками. Посуду и реактивы предварительно стерилизовали в автоклаве в течение 45±2 мин при температуре 120°C и давлении 1,1 атм. Суспензии

клеток в растворах питательных сред инкубировали в термостатах (на 26 и 37°C). Продолжительность выращивания составила 20 ± 1 ч.

Продуктивность клеточной биомассы оценивали турбидиметрически по величине прироста мутности дрожжевой суспензии в единицах *FAU* за период культивирования по отношению к исходной мутности культуры [11].

В качестве компонентов питательных растворов для клеток дрожжей использовали:

- источники углерода – декстрозу (глюкозу), фруктозу, сахарозу;
- источники азота – пептон (содержание азота – 16%, мочевины кристаллическая (содержание азота – 46%);
- источник фосфора – двойной суперфосфат ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Композиции питательных сред составляли методом последовательного добавления компонента, содержащего питательный элемент, к составу, обеспечивающему максимальный прирост биомассы

культуры прочих равных условиях. При составлении питательных средств приоритетность нутриентов принимали в последовательности: источники углерода, источники азота, источники фосфора.

Влияние *pH* на прирост дрожжевой биомассы устанавливали, составляя питательные среды одинакового (оптимального) состава в градиенте кислотности от 3.5 до 6.5. Растворы диапазона *pH* от 3.5 до 4.5 готовили на основе цитратного буфера по следующей прописи. Раствор цитрата натрия (0.1 М) объемом, указанным в таблице 1, поместить в колбу на 100 мл и разбавить до метки раствором 0.1 *HCl*. Раствор цитрата готовили следующим образом: к 21.014 г лимонной кислоты ($pK_1 = 3.13$; $pK_2 = 4.66$ – 4.76 ; $pK_3 = 6.40$) моно-водной добавили 200 мл раствора *NaOH* (1 н), затем объем смеси довели водой до 1 литра.

Растворы диапазона *pH* от 5.0 до 6.5 готовили на основе цитратного буфера по следующей прописи. Раствор *NaOH* (0.1 М) (всего 100 мл) объемом, указанным в таблице 2, поместили в колбу на 100 мл и разбавили до метки раствором цитрата натрия.

Таблица 1 – Объемы раствора цитрата натрия для приготовления буферной смеси (*pH* = 3.5 – 4.5)

<i>pH</i>	V, мл
3.5	46.8
4.0	56.0
4.5	71.9

Таблица 2 – Объемы раствора гидроксида натрия для приготовления буферной смеси (*pH* = 5.0 – 6.5)

<i>pH</i>	V, мл
5.0	3.6
5.5	27.7
6.0	40.4
6.5	46.3

Вклад бактериального роста в общую мутность клеточной суспензии не учитывали по следующим причинам. Во-первых, температура 26°C является пессимальной для большинства мезофильных прокариотов. Во-вторых, продуцируемый дрожжами этанол, будучи природным консервантом, угнетает деятельность посторонней микрофлоры.

Для выявления статистически значимой корреляционной зависимости между переменными применяли корреляционный тест Спирмена [12, 13].

Для расчета коэффициентов регрессионной зависимости между параметрами роста культур применяли алгоритм линейных моделей [14, 15].

Комплексный эффект состава питательной среды и условий культивирования на продуктивность дрожжей по биомассе оценивали с помощью множественной регрессии методом *Random Forest* [16, 17].

Влияние дискретных физико-химических факторов без учета их количественной составляющей на продуктивность дрожжевых культур по этанолу определяли с помощью теста хи-квадрат (χ^2) и точного теста Фишера [18–21].

Для сравнения выборок, не подчиняющихся нор-

мальному распределению величин, применяли тесты ранговых корреляций Уилкоксона (*V*) и Краскала-Уоллиса (*H*) [13, 22]. Проверку распределения значений в выборке на нормальность выполняли с помощью теста Шапиро-Уилка (*W*) [23].

Порог статистической значимости (*p*) во всех применяемых тестах принимали равным 0,05.

Количество однотипных объектов указывается в скобках (*n* = ...) после их упоминания в тексте.

Структурирование исходных данных проводили в табличном редакторе *Microsoft Excel*. Статистические тесты, графическое представление данных выполняли с помощью языка программирования *R* [24] в среде *RStudio*.

Результаты. Температура. Так как каждая композиция питательной среды дублировалась для инкубирования дрожжей при 26 и 37°C, правомочно будет сравнить продуктивность культур по биомассе (в единицах мутности *FAU*) при этих модельных условиях безотносительно других условий роста. Величина порога достоверности критерия Вилкоксона ($V = 2862$, $p = 0.6435$, $n = 156$; тест Шапиро-Уилка на нормальность распределения значений в выборке: $W =$

0.88511, $p = 1.211 \cdot 10^{-09}$) указывает на отсутствие статистически значимого влияния выбранных температур выращивания на продуктивность дрожжевых культур по биомассе.

Диаграмма разброса значений относительного прироста мутности клеточных суспензий при разной температуре представлена на рисунке 1.

Диаграммы разброса значений продуктивности культур, выращенных на различных источниках углерода без добавления в среду других нутриентов представлены на рисунке 2.

Кислотность среды. Максимальная продуктивность дрожжей по биомассе отмечается при $pH = 4.5$ независимо от вида источника углерода (66.95% для сред с сахарозой и 63.31 % для сред с глюкозой). Однако, результаты одновыборочных тестов ранговой корреляции Вилкоксона не позволяют считать эти максимумы статистически значимыми (среды с сахарозой: $V = 21$, $p = 0.2969$, $n = 7$; среды с глюкозой: $V = 5$, $p = 0.1563$, $n = 7$). Достоверных корреляций между значе-

ниями pH сред и продуктивности дрожжей по биомассе в них также не обнаружено (для сред с сахарозой: $t = -2.1107$, $df = 5$, $p = 0.08854$; для сред с глюкозой: $t = -1.9703$, $df = 5$, $p = 0.1059$)

Источники углерода. В качестве источника органического углерода для продуцентов в эксперименте выступали два моносахарида (глюкоза и фруктоза) и один дисахарид (сахароза).

При культивировании дрожжей на средах, содержащих исключительно один из источников углерода, отмечено отсутствие статистически значимого различия в продуктивности культур по биомассе при 26°C (значения уровня достоверности V -критериев при попарном сравнении выборок продуктивности на разных источниках углерода сведены в таблице 3) и статистически значимое повышение продуктивности при выращивании дрожжей на сахарозе при 37°C (значения уровня достоверности V -критериев при попарном сравнении выборок продуктивности на разных источниках углерода сведены в таблице 4).

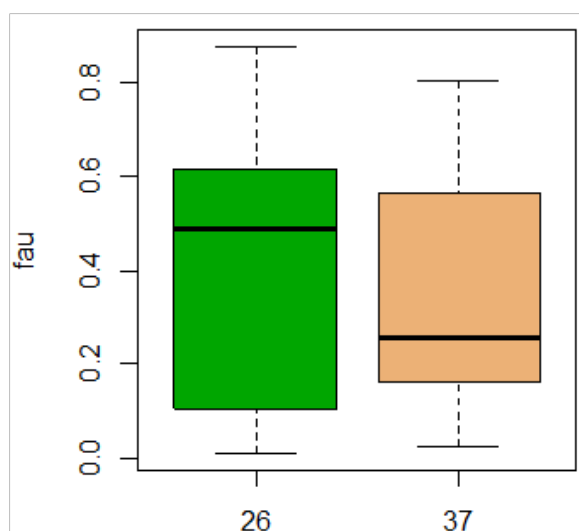


Рисунок 1 – Диаграмма разброса значений относительного прироста мутности клеточных суспензий (fau) при различной температуре выращивания (26°C или 37°C)

Таблица 3 – Значения уровня достоверности (p) V -критериев при попарном сравнении выборок продуктивности на разных источниках углерода при 26 °C (в скобках указаны медианные продуктивности культур по биомассе на данном углеводе, %)

$n = 21$	Глюкоза (10.34)	Фруктоза (11.06)	Сахароза (9.97)
Глюкоза	0		
Фруктоза	0.1508	0	
Сахароза	0.7427	0.2674	0

Таблица 4 – Значения уровня достоверности (p) V -критериев при попарном сравнении выборок продуктивности на разных источниках углерода при 37 °C (в скобках указаны медианные продуктивности культур по биомассе на данном углеводе, %)

$n = 18$	Глюкоза (11.79)	Фруктоза (11.47)	Сахароза (18.17)
Глюкоза	0		
Фруктоза	1.00	0	
Сахароза	0.01399	0.007992	0

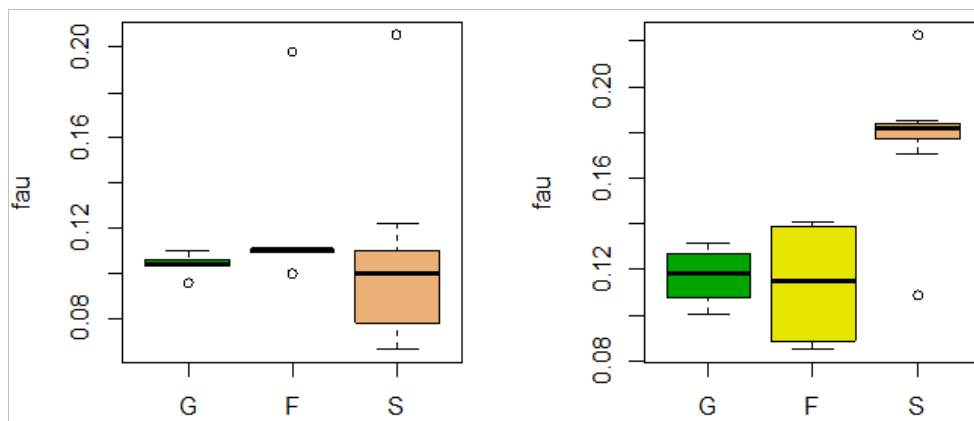


Рисунок 2 – Диаграммы разброса значений продуктивности культур, выращенных на различных источниках углерода (G – глюкоза, F – фруктоза, S – сахароза) при температурах 26°C (слева) и 37°C (справа) без добавления в среду других нутриентов

При исследовании связи между концентрацией углевода и продуктивностью культур по биомассе при 26°C статистически значимых корреляций не выявлено ($p > 0.05$). При культивировании дрожжей на растворах сахарозы при 37°C выявлена статистически значимая корреляция между концентрацией углевода и продуктивностью культуры по биомассе (0.7083374 , $p = 0.02187$).

Построенная для зависимости линейная модель имеет статистически значимый коэффициент регрессии ($k = 0.006536$, $p = 0.0219$) и объясняет 44% дисперсии значений зависимой переменной. Однако, при исключении из выборки экстремальных значений продуктивности коэффициенты регрессионной модели перестают быть статистически значимыми, а процент объясненной дисперсии становится отрицательным.

При сравнении медианных значений продуктивности культур на одинаковом углеводе при разной температуре в отсутствие других нутриентов выявлено достоверное превышение продуктивности дрожжей на сахарозе: 9.97% при 26°C ($n = 11$) и 18.17% при 37°C ($n = 10$) соответственно ($V = 13$, $p = 0.002058$).

Таким образом, продуктивность дрожжевых культур при выращивании на средах, включающих единственный источник углерода, не зависит от концентрации углевода и статистически значимо выше при 37°C при инкубировании в среде с сахарозой.

Источники азота. При составлении питательных сред в качестве источников азота использовали пептон или мочевины.

Наличие мочевины в среде с сахарозой без учета других физико-химических параметров культивирования статистически значимо не влияет на продуктивность дрожжей по биомассе (тест Шапиро-Уилка на нормальность: $W = 0.92461$, $p = 0.01362$; тест Вилкоксона: $V = 228$, $p = 0.8617$), не смотря на различие медианных значений (в средах с мочевиной: $M = 14.67\%$, $n = 21$, в средах без мочевины: $M = 12.21\%$, $n = 21$).

Также не обнаружено статистически значимого влияния наличия мочевины в среде на прирост клеточной биомассы при разной температуре культи-

вирования. Медианные значения продуктивностей культур по биомассе в зависимости от температуры и наличия в среде мочевины, результаты сравнительных тестов Вилкоксона и величины уровня достоверности тестов приведены в таблице 5.

Диаграммы разброса значений продуктивности дрожжей по биомассе в зависимости от присутствия в среде мочевины представлены на рисунке 3.

Наличие пептона в среде значительно и статистически достоверно повышает продуктивность дрожжей по биомассе по сравнению со средами, дефицитными по азоту или содержащими мочевины (рис. 4).

Среды с пептоном ($n = 84$) обеспечивают медианную продуктивность культур в 59.98%, что статистически значимо больше медианных значений продуктивности культур как на безазотистых средах ($n = 41$, $M = 10.98\%$, $W = 123$, $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$), так и на средах с мочевиной ($n = 31$, $M = 14.67\%$, $W = 130$, $p = 1.538 \cdot 10^{-13}$).

Стимулирующее производство первичных метаболитов действие пептона не зависит от температуры (рис. 4). Медианное значение ($M = 60.34\%$) выборки культур, выращенных при температуре 26°C ($n = 51$) статистически значимо не отличается от такового ($M = 56.42\%$) выборки культур, выращенных при температуре 37°C ($n = 33$, $V = 892$, $p = 0.647$).

Действие пептона, повышающее накопление клеточной массы, проявляется только при наличии в среде источника углерода (рис. 5). Продуктивность культур с пептоном и любым углеводом статистически значимо больше продуктивности дрожжей на средах с пептоном, но без сахаров ($H = 14.855$, $df = 3$, $p = 0.001945$).

При этом вид источника углерода не оказывает статистически значимого влияния на прирост клеточной биомассы в средах, содержащих пептон ($H = 0.29619$, $df = 2$, $p = 0.8623$).

Зависимости продуктивности дрожжевых культур от концентрации углевода при росте на средах с одинаковым содержанием пептона (2%) представлены на рисунке 6.

Независимо от вида источника углерода культуры достигают максимальной продуктивности в психрофильных условиях при более низких концентрациях сахаров, чем в мезофильных. При более высокой температуре клетки эффективно усваивают более высокие концентрации углевода, чем при пониженной.

Фосфор. Включение минерального источника фосфатов в состав питательной среды статистически значительно повышало продуктивность дрожжевой культуры по биомассе (тесты Шапиро-Уилка на нормаль-

ность: выборка значений продуктивности по биомассе с добавлением фосфора – $W = 0.85987$, $p = 0.0191$, $M = 60.5\%$, $n = 16$; выборка значений без добавления фосфора – $W = 0.81401$, $p = 0.004206$, $M = 31.5\%$, $n = 16$; парный тест ранговых корреляций Вилкоксона: $V = 136$, $p = 0.00003$). Диаграмма разброса значений прироста биомассы дрожжевых культур ($n = 32$), выращенных на аналогичных по составу субстратах с добавлением или без внесения фосфатов, представлена на рисунке 7.

Таблица 5 – Результаты тестов сравнения продуктивностей культур дрожжей в зависимости от наличия в среде мочевины

Температура, °C	Мочевина	M, %	V	p
26	+	9.52	42	0.3867
	–	9.22		
37	+	16.26	36	0.5743
	–	18.11		

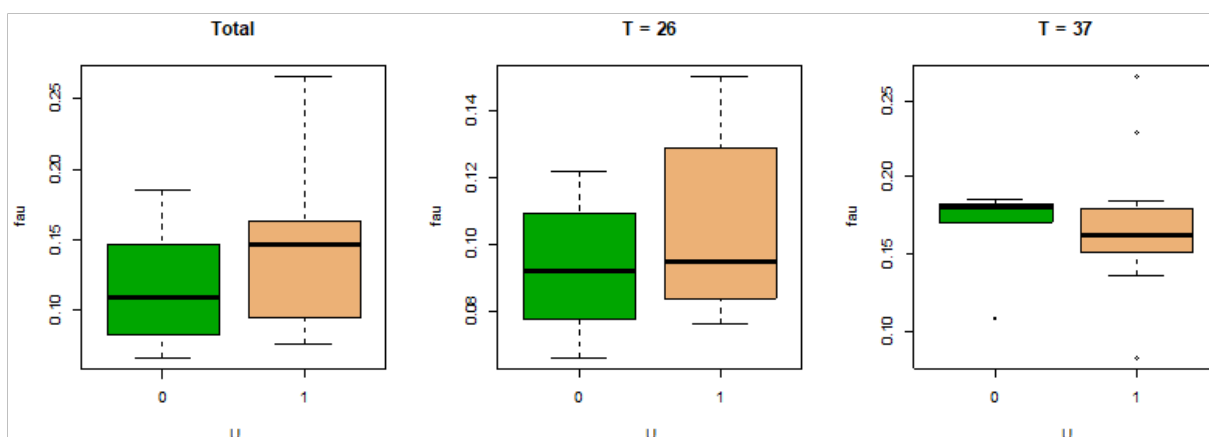


Рисунок 3 – Диаграммы разброса значений продуктивности дрожжей по биомассе в зависимости от присутствия в среде мочевины. Total – общая выборка ($n = 38$), $T = 26$ – выборка культур, выращенных при 26°C ($n = 21$), $T = 37$ – выборка культур, инкубированных при 37°C ($n = 17$)

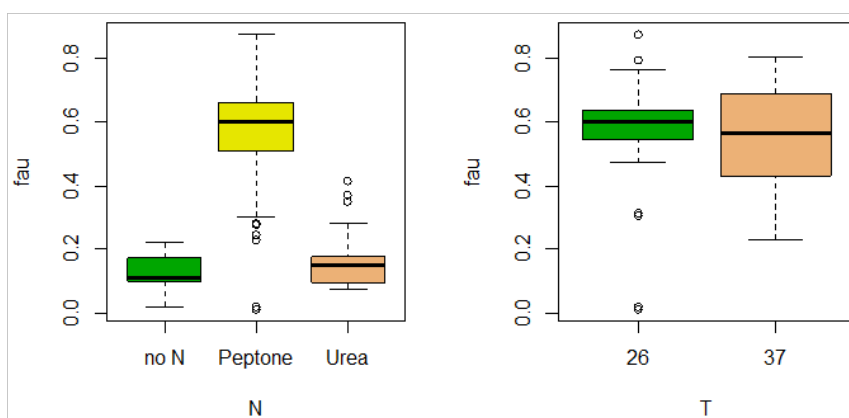


Рисунок 4 – Диаграммы накопления значений продуктивности дрожжевых культур по биомассе в зависимости от источника азота (слева) и в зависимости от температуры при выращивании на среде с пептоном (справа)

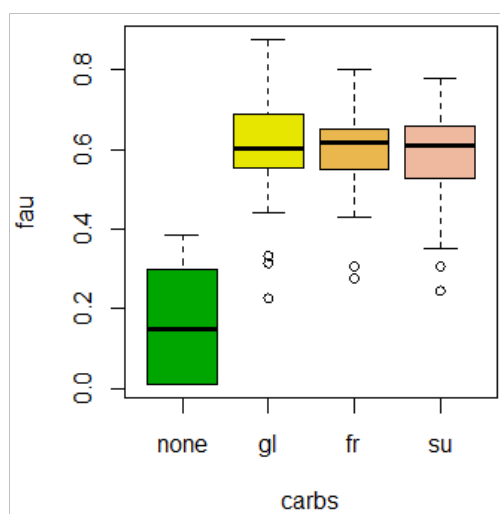


Рисунок 5 – Диаграммы накопления значений продуктивности дрожжевых культур по биомассе на средах, содержащих пептон (none – дефицит углеводов, gl – глюкоза, fr – фруктоза, su – сахароза)

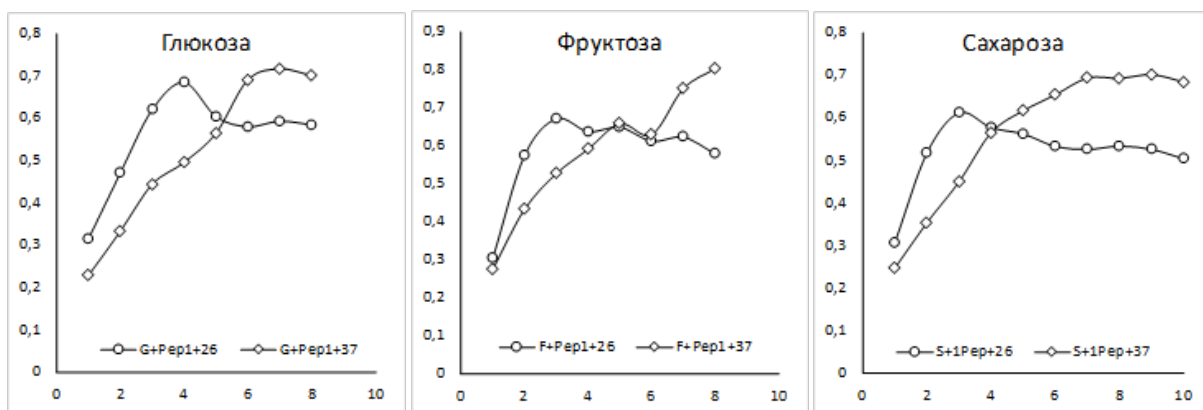


Рисунок 6 – Графики зависимости продуктивности культур по биомассе от концентрации углевода в средах с одинаковым содержанием пептона

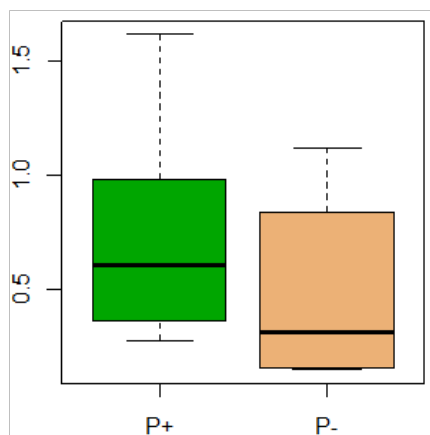


Рисунок 7 – Диаграмма разброса значений прироста биомассы дрожжевых культур, выращенных на аналогичных по составу субстратах, содержащих (P+) или не содержащих (P-) фосфаты

Следует оговориться, что дрожжи в эксперименте по определению влияния фосфора на их продуктивность культивировали в аналогичных по физико-химическим параметрам условиях (температура, *pH*, источники углерода и азота и их концентрации, время инкубации, исходная концентрация продуцента), поэтому выборки значений прироста биомассы при выращивании в средах, различных по наличию фосфатов, для теста Краскала-Уоллеса рассматривали как зависимые.

До сих пор мы рассматривали индивидуальные эффекты физико-химических параметров выращивания на продуктивность клеточной биомассы. Для оценки комплексного влияния факторов культивирования на рост дрожжей и ранжирования условий по степени их влияния на прирост клеточной биомассы построены модели многомерной регрессии (для непрерывных (численных) значений мутности суспензий) методом машинного обучения *Random Forest*, позволяющая выявлять количественные зависимости между непрерывными (численными) и дискретными (категориальными) переменными.

Множественная регрессия, построенная методом

Random Forest, объясняет 87.81% дисперсии значений продуктивности дрожжей по биомассе с учетом всех физико-химических параметров культивирования. Кроме того, модель характеризуется низкой величиной среднего значения квадратичных отклонений (0.007). Приведенные значения указывают на высокую степень влияния параметров культивирования на продуктивность дрожжей по биомассе.

Модель позволила выявить самый значимый для продуктивности дрожжей по биомассе параметр культивирования: наибольший процент увеличения средней квадратичной ошибки (71.97) отмечался при исключении из модели переменной «источник азота». Наибольшее повышение чистоты узла деревьев принятия решений (*Node Purity of Decision Trees*) – 4.67 – также наблюдалось при включении в модель переменной «источник азота». Значения указанных критериев значимости для всех переменных модели представлены в таблице 6.

Высокие критерии значимости также отмечены для концентрации источника углерода в питательной среде. График распределения критериев значимости модели по переменным представлен на рисунке 8.

Таблица 6 – Критерии значимости переменных модели множественной регрессии между продуктивностью дрожжей по биомассе и комплексом физико-химических параметров культивирования

	Увеличение средней квадратичной ошибки (%)	Повышение чистоты узла
Источник С	11.866655	0.6745529
Концентрация источника С	29.417450	1.0220782
Источник N	71.970660	4.6661828
Источник Р	12.463246	0.1901315
Температура	12.326627	0.1619508
Продуктивность по этанолу	8.549627	0.2491182

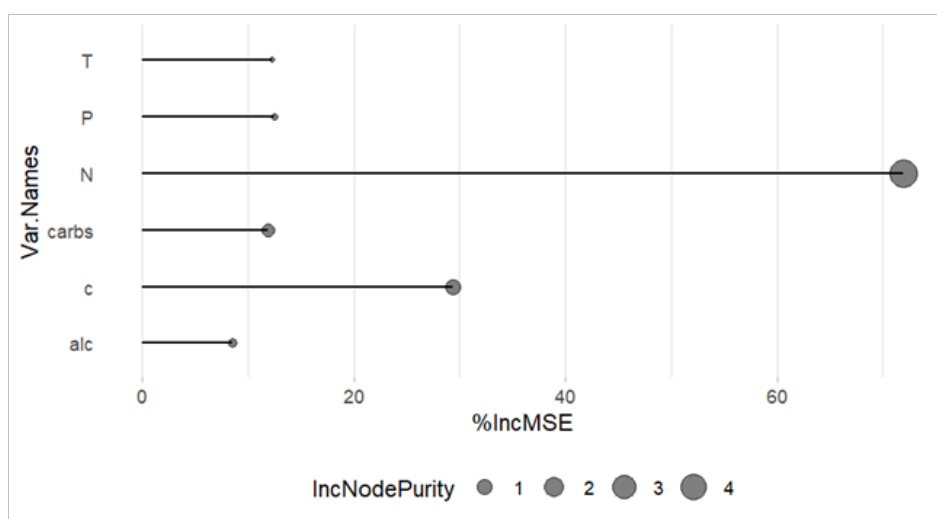


Рисунок 8 – Распределение величин критериев значимости модели множественной регрессии по переменным.

%IncMSE – процент повышения средней квадратичной ошибки, IncNodePurity – увеличение чистоты узла, T – температура, P – источник фосфора, N – источник азота, carbs – источник углерода, c – концентрация источника углерода, alc – продуктивность культур по этанолу

Таким образом, важнейшими параметрами культивирования дрожжей с целью максимальной продуктивностью по биомассе являются источник азота и концентрация источника углерода, как

основных структурных элементов для построения клеткой первичных метаболитов, в частности белков.

Обсуждение. В работе проведено экспериментальное исследование влияния таких физико-

химических условий роста на продуктивность периодических культур *S. cerevisiae* по биомассе, как температура, кислотность среды, источники углерода, азота, фосфора, их концентрации.

В серии проведенных экспериментов не обнаружено достоверного влияния температуры инкубирования на продуктивность дрожжей по биомассе. Это может указывать на высокую пластичность модельного штамма *S. cerevisiae* по отношению к этому фактору среды.

Предпочтение дрожжами моносахаридов остальным легким углеводам не противоречит полученным данным по максимальной продуктивности на сахарозе при 37°C по причине того, что в предлагаемой работе учитывалась конечная продуктивность культур за определенный интервал времени, динамика скорости потребления субстрата не принималась во внимание. При этом для всех трех модельных углеводов выявлена способность дрожжей эффективно усваивать более высокие концентрации сахаристых компонентов субстрата в условиях более высокой температуры, что является косвенным подтверждением мезофильности продуцента. Этот факт может быть определяющим при необходимости наиболее полной биодеструкции углеводных компонентов питательной среды. В то же время сравнимая продуктивность дрожжей по биомассе в психрофильных условиях достижима при низких концентрациях сахаров, что важно, если во главу угла поставлен принцип ресурсосбережения.

Основным компонентом биомассы дрожжей является белок [25]. Это объясняет максимальный прирост продуктивности культур в средах, содержащих пептон в качестве источника азота. Среда, содержащая мочевины, не только не обеспечивали сравнимой с пептоном продуктивности, но и практически не отличались по этому показателю от субстратов дефицитных по азоту. Полученные данные по влиянию азотного субстрата на прирост дрожжевой биомассы косвенно подтверждает ауксотрофность продуцента – неспособность синтезировать некоторые аминокислоты из сторонних источников.

Выводы. Нутриенты являются единственными источниками биосинтеза веществ гетеротрофными микробами, обладающими определенными экологическими предпочтениями. Поэтому продуктивность культур микроорганизмов зависит не только от сбалансированности питательных сред по химическому составу, но и физико-химических условий культивирования.

Полученные данные по влиянию температуры и кислотности на продуктивность дрожжей по биомассе указывают на широкие адаптивные возможности *S. cerevisiae* и подтверждают общеизвестную кислотофильность продуцента.

Хлебопекарные дрожжи эффективно усваивают все три модельные источники углерода, достигая высокой продуктивности по биомассе при более низких концентрациях сахаров в психрофильных

условиях.

Ауксотрофность дрожжей подтверждается максимальным влиянием на продуктивность наличия источника азота, а именно, пептона в питательной среде.

Данные по достоверному повышению продуктивности дрожжей в средах с источником фосфора подтверждают метаболическую необходимость элемента и способность продуцента усваивать неорганические фосфаты.

Несомненная ценность работы заключается в попытке оценить комплексный эффект условий культивирования на продуктивность дрожжей по биомассе. При этом самыми значимыми факторами, влияющими на продуктивность дрожжевых культур, оказались источник азота и концентрация углевода в среде. Остальные параметры культивирования имели одинаково низкие величины индексов значимости.

Перспективными направлениями развития работы могут быть исследования по влиянию витаминов и минералов как факторов роста на продуктивность дрожжей, кислотности среды в средах с моносахаридами (глюкозой и фруктозой), изучение временной динамики накопления ценных продуктов метаболизма, применение нестандартных субстратов (например, пищевых отходов или отходов пищевой промышленности) и их гидролизатов для выращивания продуцента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Broach J.R. (2012). Nutritional control of growth and development in yeast. *Genetics*. 192(1):73-105. doi: 10.1534/genetics.111.135731. PMID: 22964838; PMCID: PMC3430547.
2. Dos Santos E.O., Michelon M., Furlong E.B., Burkert J.F., Kalil S.J., Burkert C.A. (2012). Evaluation of the composition of culture medium for yeast biomass production using raw glycerol from biodiesel synthesis. *Braz J Microbiol*. 43(2):432-40. doi: 10.1590/S1517-83822012000200002. Epub 2012 Jun 1. PMID: 24031849; PMCID: PMC3768819.
3. Babel W., Pöhlend H.D., Soye K. (2002). Single Cell Proteins in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 6th ed., Interscience-Wiley ISBN 3-527-31318-4.
4. Yang X., Yang Y., Huang J. et al. (2021). Comparisons of urea or ammonium on growth and fermentative metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* in ethanol fermentation. *World J Microbiol Biotechnol* 37, 98. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03056-9>.
5. Hanscho M., Ruckerbauer D.E., Chauhan N., Hofbauer H.F., Krahulec S., Nidetzky B., Kohlwein S.D., Zanghellini J., Natter K. (2012). Nutritional requirements of the BY series of *Saccharomyces cerevisiae* strains for optimum growth. *FEMS Yeast Res*. 12(7):796-808. doi: 10.1111/j.1567-1364.2012.00830.x. Epub 2012 Jul 31. PMID: 22780918.
6. Li R., Jin M., Du J., Li M., Chen S., Yang S. (2020). The Magnesium Concentration in Yeast Extracts Is a Major Determinant Affecting Ethanol Fermentation Performance of *Zymomonas mobilis*. *Front Bioeng Biotechnol*. 8:957. doi: 10.3389/fbioe.2020.00957. PMID: 32984271; PMCID: PMC7487341.
7. Shariatmadari F., Kamranzad S., Karimi Torshizi M.A. (2012). Production of zinc-enriched biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Elemntology*. 19. 10.5601/jelem.2014.19.2.655.
8. Roca-Mesa H., Delgado-Yuste E., Mas A., Torija M.J., Beltran G. (2022). Importance of micronutrients and organic nitrogen in fermentations with *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Int. J. Food Microbiol.*, 381, 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109915.
9. Narendranath N.V., Power R. (2005). Relationship between pH and medium dissolved solids in terms of growth and

metabolism of lactobacilli and *Saccharomyces cerevisiae* during ethanol production. *Appl Environ Microbiol.* 71(5):2239-43. doi: 10.1128/AEM.71.5.2239-2243.2005. PMID: 15870306; PMCID: PMC1087585.

10. Walsh R.M., Martin, P.A. (1977). Growth of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces uvarum* in a temperature gradient incubator. *Journal of the Institute of Brewing*, 83: 169-172. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1977.tb06813>.

11. Haven M.C., Tetraault G.A., Schenken J.R. (1994). *Laboratory Instrumentation*. John Wiley and Sons. ISBN 0471285722.

12. Best D.J., Roberts D.E. (1975). Algorithm AS 89: The Upper Tail Probabilities of Spearman's ρ . *Applied Statistics*, 24, 377-379. doi:10.2307/2347111.x.

13. Hollander M., Wolfe D.A. (1973). *Nonparametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons.

14. Chambers J. M. (1992). Linear models. Chapter 4 of *Statistical Models in S* eds J.M. Chambers and T.J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.

15. Wilkinson G.N. and Rogers C.E. (1973). Symbolic descriptions of factorial models for analysis of variance. *Applied Statistics*, 22, 392-399. doi:10.2307/2346786.

16. Breiman L. (2001). Random Forests, *Machine Learning* 45(1), 5-32.

17. Breiman L. (2002). "Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1", https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/Using_random_forests_V3.1.pdf.

18. Hope A. C.A. (1968). A simplified Monte Carlo significance test procedure. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 30, 582-598. doi:10.1111/j.2517-6161.1968.tb00759.x.

19. Patefield W.M. (1981). Algorithm AS 159: An efficient method of generating $r \times c$ tables with given row and column totals. *Applied Statistics*, 30, 91-97. doi:10.2307/2346669.

20. Agresti A. (2007). *An Introduction to Categorical Data Analysis*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. Page 38.

21. Fisher R.A. (1970). *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver & Boyd.

22. Bauer D.F. (1972). Constructing confidence sets using rank statistics. *Journal of the American Statistical Association* 67, 687-690. doi:10.1080/01621459.1972.10481279.

23. Royston P. (1982). An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples. *Applied Statistics*, 31, 115-124. doi:10.2307/2347973.

24. R Core Team (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

25. Bertolo A.P., Biz A.P., Kempka A.P., Rigo E., Cavalheiro D. (2019). Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*): evaluation of cellular disruption processes, chemical composition, functional properties and digestibility. *J Food Sci Technol.* 56(8):3697-3706. doi: 10.1007/s13197-019-03833-3. Epub 2019 Jun 11. PMID: 31413397; PMCID: PMC6675859.

Статья поступила в редакцию 01.06.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК: 663.91

EDN: QTUWRQ

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОНФЕТ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИКИ

© Автор(ы) 2024

SPIN: 5578-7593

AuthorID: 1189238

ORCID: 0009-0004-1508-0768

ШАМИЛОВ Шамиль Асхабович, аспирант кафедры технологии питания

Уральский государственный экономический университет

(620219, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, д. 62/45, e-mail: Achabovich@yandex.ru)

SPIN: 5442-4264

AuthorID: 525546

ORCID: 0000-0001-5458-8565

ЗАВОРОХИНА Наталия Валерьевна, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры технологии питания

Уральский государственный экономический университет

(620219, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, д. 62/45, e-mail: degustator@olympus.ru)

SPIN: 2615-4939

AuthorID: 881294

ORCID: 0000-0001-7642-6532

ТАРАСОВ Алексей Валерьевич, научный сотрудник научно-инновационного центра сенсорных технологий

Уральский государственный экономический университет

(620219, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, д. 62/45, e-mail: tarasov_a.v@bk.ru)

Аннотация. Развитие территорий Крайнего Севера является стратегически важной задачей для России, данные территории играют ключевую роль в развитии экономики, геополитике и обороне РФ. Учитывая негативные климатические условия проживания на данных территориях, разработка функциональных продуктов питания для населения Крайнего Севера является комплексной задачей, направленной на ускорение процесса адаптации населения к экстремальным условиям проживания и позволяющая обеспечивать его здоровым и качественным питанием. Целью настоящего исследования являлась разработка шоколадных трюфелей функциональной направленности, с включением в состав рецептур дикорастущего арктического растительного сырья и комплекса полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) омега 3,6,9. В работе авторами представлен подробный химический состав некоторых ягод, произрастающих на территориях Российской Арктики, а также содержание ПНЖК в используемых растительных маслах. В ходе проведения настоящего исследования была разработана жировая композиция с использованием представленных растительных масел и модельная рецептура начинки-ганаш с включением композиции в состав. Разработана технология приготовления представленной конфеты, которая состоит из следующих этапов: нагревание ягодного пюре и сахаров до 45°C, соединения с нагретым белым шоколадом до 35-40°C соединения с нагретым белым шоколадом до 35-40°C, пробивания массы в однородную, эмульсию при помощи блендера, внесения сливочного масла и разработанной жировой композиции при достижении температуры 30-32°C, повторного пробивания в эмульсию при помощи блендера, дальнейшей кристаллизацией начинки, формования трюфельных заготовок и их глазирование темным темперированным шоколадом. Разработанное изделие является высококалорийными 500:250ккал/ 100:50г, рекомендуемая порция составляет 50г или 5 трюфелей, которые содержат ПНЖК в количестве 12,50%, ω -3 составляет 5,72%, ω -6 6,78%. Трюфели «Солнечный Север» содержат сквален и токоферол от суточной нормы потребления, в количестве 16,3% и 25,41%, соответственно, что позволяет их отнести к функциональным продуктам питания. Представленные результаты микробиологических исследований соответствуют предъявляемым требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и подтверждают их безопасность в течение всего срока хранения, истинный срок годности составляет 90 суток при температуре не выше 18°C.

Ключевые слова: Крайний Север, шоколадные конфеты, полиненасыщенные жирные кислоты, функциональный продукт, растительное арктическое сырье.

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL SWEETS FOR THE ARCTIC POPULATION

© Author(s) 2024

SHAMILOV Shamil Askhabovich, postgraduate student of The Department of Food Technologies

Ural State University of Economics

(620219, Russia, Ekaterinburg, 8 Marta/Narodnaya Volya St., 62/45, e-mail: Achabovich@yandex.ru)

ZAVOROKHINA Natalia Valeryevna, doctor of technical sciences, professor,

professor of The Department of Food Technologies

Ural State University of Economics

(620219, Russia, Ekaterinburg, 8 Marta/Narodnaya Volya St., 62/45, e-mail: degustator@olympus.ru)

TARASOV Alexey Valeryevich, research associate of the Research and Innovation Centre sensor technologies centre
Ural State University of Economics

(620219, Russia, Ekaterinburg, 8 Marta/Narodnaya Volya St., 62/45, e-mail: tarasov_a.v@bk.ru)

Abstract. The development of the Far North is a strategically important task for Russia; these territories play a key role in the development of the economy, geopolitics and defence of the Russian Federation. Given the negative climatic conditions of living in these territories, the development of functional food products for the population of the Far North is a complex task that helps to accelerate adaptation processes and allows to provide the population with healthy and high-quality nutrition. The aim of this study was to develop chocolate truffles of functional orientation, with the inclusion of wild arctic plant raw materials and a complex of polyunsaturated fatty acids (PUFA) omega 3,6,9. In the paper the authors presented a detailed chemical composition of some berries growing in the territories of the Russian Arctic, as well as the PUFAs content in the used vegetable oils. In the course of the present study, a fat composition using the presented vegetable oils and a model recipe of stuffing-ganache with the inclusion of the composition were developed. The technology of preparation of the presented candy was developed, which consists of the following steps: heating berry puree and sugars to 45°C, combining with heated white chocolate to 35-40°C, punching the mass into a homogeneous emulsion using a blender, introducing butter and the developed fat composition when the temperature reaches 30-32°C, repeated punching into the emulsion using a blender, further crystallisation of the filling, forming truffle blanks and glazing them with dark tempered chocolate. The developed product is high-calorie 500:250kcal/ 100:50g, the recommended portion is 50g or 5 truffles, which contain PUFA in the amount of 12,50%, ω -3 is 5,72%, ω -6 6,78%. Truffles "Sunny North" contain squalene and tocopherol from the daily norm of consumption, in the amount of 16.3% and 25.41%, respectively, which allows them to refer to functional foods. The presented results of microbiological studies meet the requirements of TR TS 021/2011 "On food safety" and confirm their safety during the entire shelf life, the true shelf life is 90 days at a temperature not higher than 18°C.

Keywords: Far North, chocolate sweets, polyunsaturated fatty acids, functional product, Arctic plant raw materials.

Для цитирования: Шамилов Ш.А. Разработка функциональных конфет для населения Арктики / Ш.А. Шамилов, Н.В. Заворохина, А.В. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 80-87. – EDN: QTUWRQ.

Введение. В соответствии с современными реалиями стратегически важной задачей для России является социально-экономическое развитие территорий Крайнего Севера, обеспечивающее, прежде всего, национальную безопасность, что отражено в Указе Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 г. «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». При этом, согласно Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы) «разработка специализированных рационов и пищевых продуктов для улучшения адаптации населения к экстремальным условиям Арктической зоны Российской Федерации» является приоритетной задачей.

На сегодняшний момент термины «Крайний Север» и «арктическая зона РФ» законодательно не определены, так как к Крайнему Северу относят, прежде всего, исторические территории со сходными геоклиматическими условиями, а к Арктической зоне – экономическую газо и-нефтедобывающую зону. Авторы в рамках статьи используют данные термины как синонимы.

К территории Крайнего Севера относится арктическая зона, тундра, лесотундра и тайга, которая охватывает более 11 млн. км² (64% территории России) [1]. Приоритетность развития данных территорий заключается в мировых запасах полезных ископаемых: здесь сосредоточенно около 80% нефти и 90% природного газа, кроме этого Крайний Север

является лидером по добыче твердых полезных ископаемых – 40% мировой добычи алмазов, меди и никеля [1,2,3].

Климат Арктической зоны РФ имеет экстремальные характеристики с температурой -50...-60°C, пониженным содержанием кислорода, полярной ночью и полярным днем, сильнейшим дефицитом солнечного света и геомагнитными бурями [2, 3].

Столь суровый климат отрицательно влияет на здоровье населения Крайнего Севера: к основным заболеваниям северян можно отнести болезни органов дыхания, системы кровообращения и пищеварения, заболевания мочеполовой и костно-мышечной системы, ухудшение работы иммунной системы [2]. Из-за дефицита солнечного света и, как следствие, нехватки витамина Д, наблюдается повышенная тревожность, перепады настроения, нарушение гормональной деятельности, перепады суточной температуры тела; при геомагнитных бурях нарушается сон и мозговое кровообращение, повышается риск развития инфарктов и инсультов [3].

Поскольку основное продовольственное сырье исторически добывалось местным коренным населением с помощью рыболовства и охоты, собирательства (грибы, ягоды, корни) и зависело от природных факторов, урожая, популяции животных, то появляющийся дефицит водо- и жирорастворимых витаминов, макро-и микронутриентов, пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, приводил к различным алиментарным заболеваниям и, как следствие, низкой продолжительности жизни

[2, 3]. В рационе питания северян преобладают белковые (мясные и рыбные продукты), чаще всего в сыром виде, зачастую они характеризуются низким содержанием небелковых нутриентов необходимых для поддержания энергетического баланса организма, что приводит к росту различных заболеваний [3-5].

В настоящее время на законодательном уровне, указом Президента от 05 марта 2020 г № 164 утверждены «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035», основная цель – это повышение качества жизни населения Арктических зон РФ.

В отношении разработки функциональных продуктов для населения Крайнего Севера проведено множество исследований, на сегодняшний день, многие отечественные и зарубежные исследования посвящены данной теме [2,4-9].

Согласно проведенным исследованиям к.т.н., Белиной С.А, включение дикорастущих растений в пищевые продукты позволяет обогатить последние витаминами, пищевыми волокнами и минеральными

веществами, придать им иммуномодулирующие и антиоксидантные свойства [5].

Учеными научно-исследовательского института сельского хозяйства и экологии Арктики, были проведены экспериментальные исследования по обогащению мучных кондитерских изделий (пряников) растительным сырьем, произрастающим на Арктических территориях РФ, что позволило получить функциональный продукт с повышенным содержанием пищевых волокон, витаминов, с улучшенными органолептическими показателями [6].

Дикорастущее арктическое растительное сырье содержит большое количество биологически-активных веществ, витаминов, минералов и антиоксидантов и может оказывать на организм человека положительное влияние, укрепляя его, ускоряя процессы адаптации организма к дискомфортным условиям; обладают антибактериальными свойствами и улучшают работу ЖКТ. На рисунке 1, представлен химический состав некоторых дикоросов-ягод, произрастающих в Арктической зоне РФ.

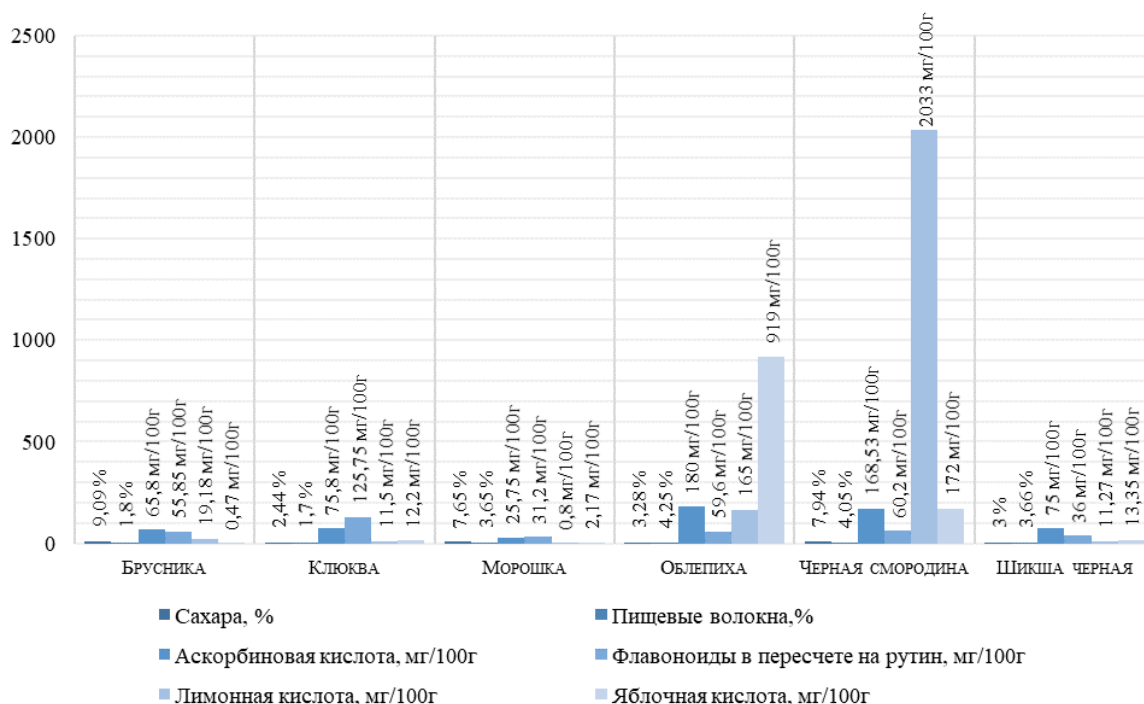


Рисунок 1 – Химический состав арктического дикорастущего растительного сырья [2,5,8]

Данные рисунка 1 показывают, что дикоросы-ягоды арктической зоны, необычайно богаты аскорбиновой кислотой и полифенолами, которые обладают сильным синергетическим эффектом, усиливая адаптационное действие на организм человека.

Использование ягод-дикоросов арктической зоны при производстве шоколадных изделий представляется авторам достаточно актуальным так как, шоколад и шоколадные изделия стабильно занимают лидирующую позицию на рынке кон-

дитерских изделий даже в периоды экономических кризисов. Средний россиянин съедает в год до 4 кг шоколада [2]. Именно массовость употребления шоколада, и его высокая калорийность позволяет считать его хорошим объектом для придания функциональной направленности прежде всего для населения, работающего в энергозатратных добывающей и нефтегазовой промышленности, коренного населения Крайнего Севера. Кроме того, 100г шоколада содержит около 200 мг ароматической альфа-амино кислоты триптофана, который способен

увеличивать содержание серотонина и снижать депрессивные расстройства.

На сегодняшний день отечественными и зарубежными учеными разрабатываются функциональные кондитерские изделия большое внимание уделяется какао и какао-продуктам, поскольку доказано, что при рациональном употреблении они улучшают работу сердечно-сосудистой системы и снижают риски развития заболевания и появления тромбов в сосудах, стимулируют умственную деятельность, укрепляют иммунитет, замедляют процессы старения и улучшают настроение [10-22].

Так, профессор Резниченко И.Ю. с соавторами разработала обогащенные конфеты, восполняющие дефицит витаминов (*A, C, E*) и минеральных веществ (*I, Fe, Ca*) [23]. Коллеги из Калининградского государственного технического университета, занимаются обогащением шоколадных конфет омега-3 и омега-6 жирными кислотами [24].

Бразильские ученые разработали конфеты с улучшенными сенсорными показателями, обогащенные фруктами и овощами в том числе, виноградом и капустой лиофильной сушки, что позволило увеличить антиоксидантные свойства, содержание пищевых волокон и минеральных веществ (железо, марганец, цинк, калий и кальций) [25].

Ученые из Новой Зеландии, Индии и Норвегии, разработали композицию для обогащения шоколада из мясного протеина, лактата кальция, животного жира и сублимированных ягод малины и ежевики. Авторы получили шоколад с повышенным содержанием белка и кальция, с новыми органолептическими свойствами и длительными сроками хранения до 6 месяцев [26].

Таким образом, все вышеперечисленное подтверждает актуальность исследований, целью которых являлась разработка рецептуры функциональных конфет-трюфелей с применением дикорастущего арктического ягодного сырья, обогащенных ω -3,6,9 полиненасыщенными жирными кислотами.

Методология. Для проведения исследования были выбраны следующие объекты:

- модельные образцы ганаша с ω -3,6,9 ПНЖК;
- облепиховое, рыжиковое, расторопши масла нерафинированные *Siberian Creep* (Россия, ООО «БэстВэлью Органик»), амарантовое нерафинированное масло Русская олива (Россия, ООО «Русская олива»), льняное нерафинированное масло холодного отжима Солнечный край (Россия, ООО «Солнечный Край»), которые использовали в различных сочетаниях для моделирования состава композиции из жирных кислот.

Для приготовления начинки-ганаш для конфет использовали следующие ингредиенты: пюре облепихи, пюре морошки, глюкозный сироп *Laped* (Италия, изготовленное «Laped S.r.l»), сорбитол *Sosa* (Испания, изготовленное «Sosa Ingredients SL»), декстроза *Sosa* (Испания, изготовленное «Sosa Ingredients SL»), белый шоколад *Callebaut* (Бельгия, «Barry Callebaut»), темный шоколад *Callebaut* (Бельгия,

«Barry Callebaut»), сливочное масло *Экомилк* (Россия, ЗАО «Озерский молочный комбинат»), какао-масло *Callebaut* (Бельгия, «Barry Callebaut») и разработанную композицию из насыщенных жиров.

Выбор шоколадных конфет в качестве объекта исследования обусловлен тем, что согласно проведенному исследованию целевой аудитории, было установлено, что респонденты приобретают шоколадные конфеты 1-2 раза в неделю (75,8% опрошенных), (50,9%) отдают предпочтения конфетам в коробках, причина покупки – побаловать себя/ близких (60,5%), в качестве быстрого перекуса и в качестве высококалорийного изделия (25,2%) и (13,1%) соответственно. При выборе отдают свои предпочтения фруктово-ягодным (48,9%) и карамельным (30,5%) начинкам, при выборе предложенных полезных компонентов в составе шоколадных изделий (70,3%) выбрали ягоды Крайнего Севера.

При обогащении ганаша полиненасыщенными жирными кислотами (омега 3, 6, 9) руководствовались методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» и МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые нормы потребления пищевых и биологически активных добавок».

При систематизации и анализе данных по химическому составу растительного сырья использовали аналитические методы, при проведении физико-химических исследований учитывали требования ГОСТ 4570-2014, микробиологические исследования проводили по ГОСТ 5904-2019, ГОСТ 32751-2014, ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 26669-85, ГОСТ 26670-91, ГОСТ Р 52816-2007, ГОСТ Р 52814-2007, ГОСТ 31747-2012, органолептическую оценку проводили балльным методом органолептического анализа по ГОСТ 5897-90, ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011, ГОСТ ISO 3972-2014. Для измерения активности воды опытного образца использовали анализатор «Pawkit» (США, Decagon Devices, точность измерения $\pm 0,02$ aw при температуре 16-18°C).

Разработанные конфеты функционального назначения, обогащенные ω -3,6,9 ПНЖК, витаминами и пищевыми волокнами растительного дикорастущего сырья. На первом этапе исследования, было изучено содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) в выбранных образцах результаты представлены на рисунке 2.

Согласно данным таблицы 1, в льняном масле наибольшее количество альфа-линоленовой и олеиновой кислоты, масло расторопши содержит в основном линолевую кислоту. Так же данные масла содержат токоферолы мг/ на 100г: рыжиковое – 113; льняное – 20; расторопши – 25; облепихи – 105. В амарантовом масле кроме токоферолов 250 мг/ на 100г также содержится сквален 6000 мг/на 100 г. Согласно

проведенным исследованиям Всероссийского научно-исследовательского института жиров, содержание токоферола и сквалена препятствуют окислению масел.

А содержание олеиновой кислоты в количестве

30-40% от суммы жирных кислот обеспечивают устойчивость к окислительным процессам [27].

На втором этапе нами были разработаны композиции из выбранных масел, для обогащения конфет, варианты рецептов представлены на рисунке 3.

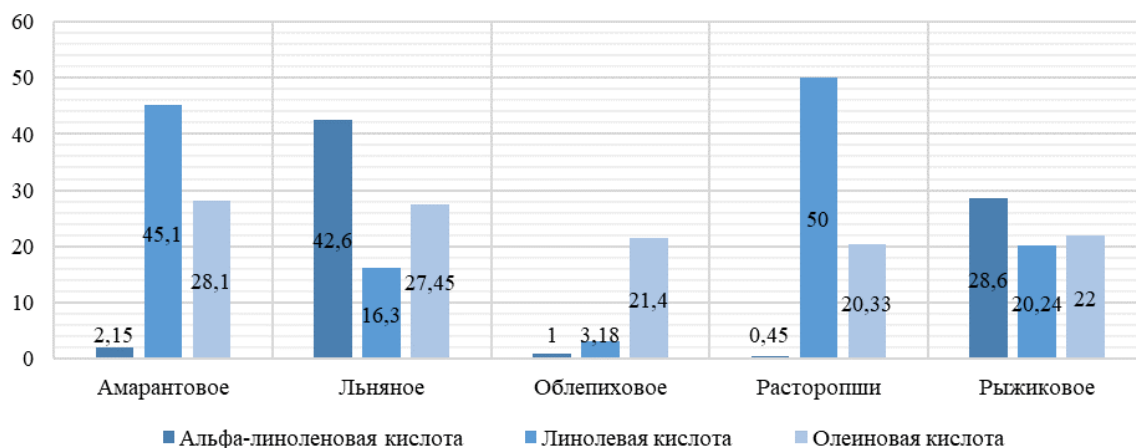


Рисунок 2 – Содержание ПНЖК в используемых маслах, г/на 100г [27]

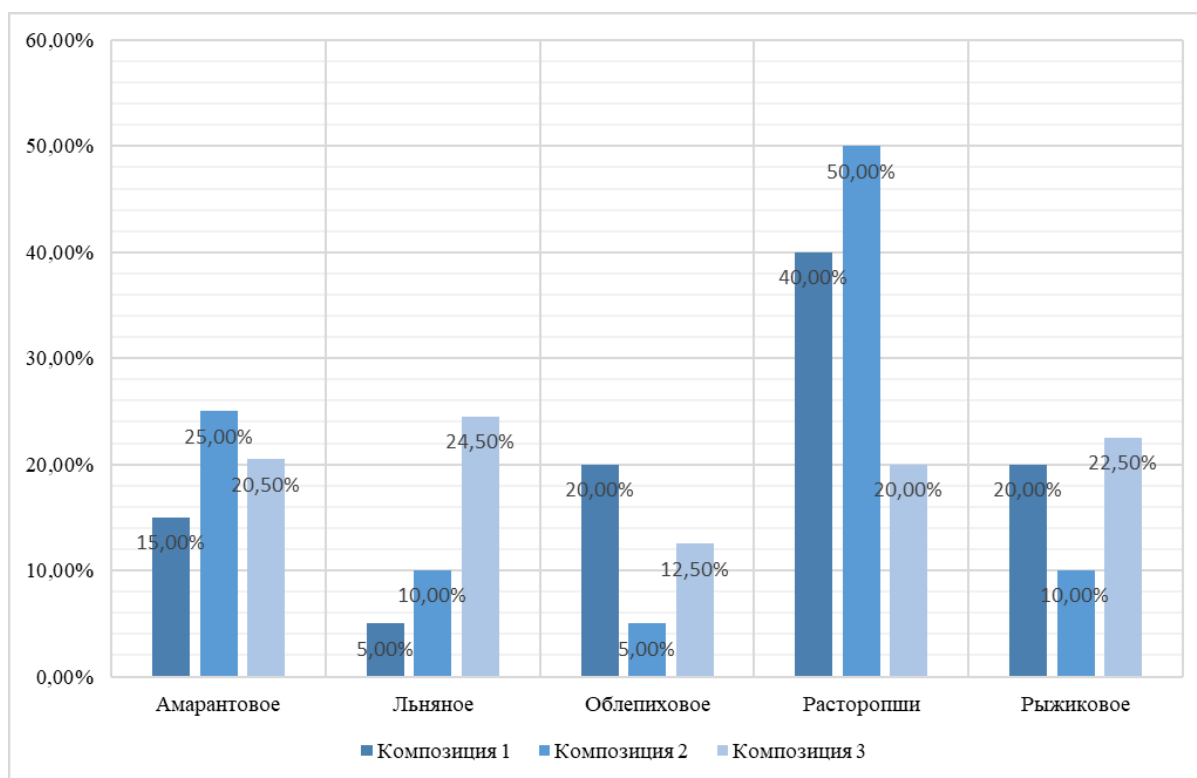


Рисунок 3 – Варианты различных композиций для обогащения конфет

При составлении композиции ПНЖК руководствовались оптимальными органолептическими показателями – органолептической совместимостью с шоколадом, максимально индифферентным вкусом и ароматом, содержанием ω -3,6,9 ПНЖК. Наилучшими показателями обладал образец композиции 2, данная рецептура была использована при дальнейшем внесении в ганаш-начинку в количестве 10г/100г ганаша.

На третьем этапе исследования готовили модельные образцы начинок ганашей следующим образом, одновременно нагревали: 1) белый шоколад с какао-маслом до 45°C; 2) пюре облепихи и морошки вместе с глюкозным сиропом, декстрозой и сорбитолом до температуры 40-45°C; далее массы соединяли и перемешивали до однородной эмульсии, вносили сливочное масло температура которого составляла 10-12°C и разработанную композицию по рецептуре

К2. После чего начинки-ганаша кристаллизовали при температуре 16-18°C в течение 12-16 часов, далее формировали трюфельные заготовки сферической формы весом 10,00±0,50 г и глазировали в темном шоколаде на глазировочной линии для трюфелей.

Шоколад для глазирования использовали темперированный в автоматической темп-машине, рабочая температура которого составляла 32±1°C. Рецепт модельной начинки-ганаша состоит из следующих ингредиентов: белый шоколад (50,7%), глюкозный сироп (3,3%), декстроза (3,3%), какао-масла (14,2%), лимонная кислота (0,2%), пюре морошки (9,8%), пюре облепихи (9,8%), сливочное масло (4,3%), сорбитол (4,3%) и разработанной жировой композиции ПНЖК2 в количестве (10%).

Далее ганаш начинку по приведенной рецептуре использовали для получения трюфельной конфеты «Солнечный Север» и дальнейших исследований.

Результаты. В соответствии с поставленными задачами, была разработана технология и проведены исследования показателей качества и безопасности

разработанных конфет, проведена органолептическая оценка и рассчитана пищевая и биологическая ценность. Результаты физико-химических исследований представлены в таблице 1.

Показатель активности воды, a_w составляет 0,64±0,02, что говорит о высокой микробиологической стабильности разработанной трюфельной конфеты [28]. Результаты микробиологических исследований представлены в таблице 2.

Полученные результаты полностью соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 и ГОСТ 4570-2014.

Органолептический анализ балльным методом с использованием 5-балльной шкалы показал, что трюфельная конфета высоко оценена дегустаторами: оценки составили – внешний вид 4,8±0,03; консистенция 4,7±0,03; запах 4,8±0,03; вкус 4,7±0,25 баллов. Далее была составлена панель дескрипторов – индивидуальных характеристик продукта и построен сенсорный профиль трюфельной конфеты «Солнечный Север», который может быть использован для целей ее идентификации (рис. 4).

Таблица 1 – Физико-химические показатели разработанных конфет

Показатель	Значение
Массовая доля влаги, %	18,5±0,10
Общее содержание сахаров, %	30,3±0,03
Массовая доля фруктового сырья, %	20,50±0,01
Показатель активности воды, a_w	0,64±0,02

Таблица 2 – Результаты микробиологических исследований разработанных конфет

№ п/п	Определяемый показатель	Требования ТР ТС 021/2011	Результаты исследований
1	КМАФАнМ	5x10 ⁴ КОЕ/г	9,1x10 ²
2	БГКП (колиформы)	В 0,1 г не допускается	В 0,1 г не обнаружено
3	Патогенные в т.ч. сальмонеллы	В 25 г не допускается	В 25 г не обнаружено
4	Плесени	Не более 100 КОЕ/г	Менее 1,0x10 ¹ КОЕ/г
5	Дрожжи	Не более 50 КОЕ/г	Менее 1,0x10 ¹ КОЕ/г

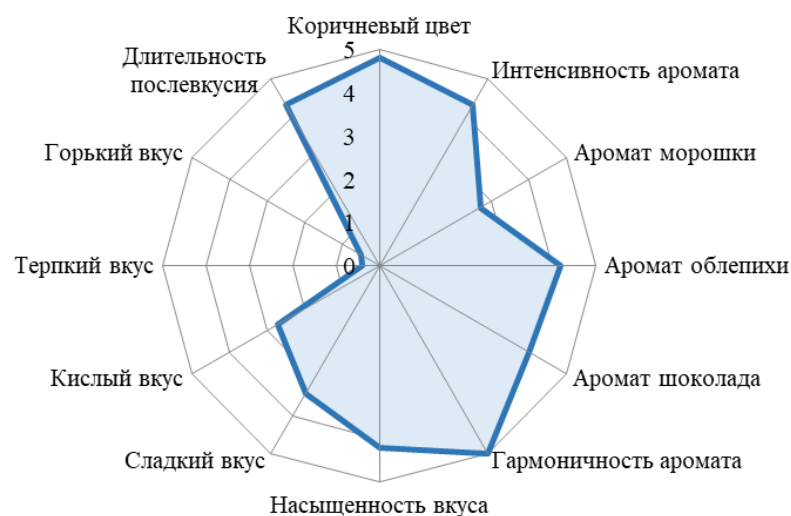


Рисунок 4 – Сенсорный профиль разработанной конфеты

Обсуждение. Составлении композиции ПНЖК является важнейшим этапом разработки состава ганаша, поскольку вносимые масла расторопши, облепихи, амаранта, рыжиковое, льняное имеют специфический флейвор и различное содержание ПНЖК. Определено, что льняное масло придает горчинку и нее может быть использовано в количестве более 15% от массы композиции; амарантовое масло имеет запах свекольной ботвы и так же должно быть лимитировано количеством до 30%; масло расторопши обладает довольно индифферентным флейвором и может составлять до 50% композиции. Именно такой состав – 25% амарантового масла, 10% льняного масла, 5% облепихового масла, 50% масла расторопши и 10% рыжикового масла позволили создать композицию с максимально индифферентным флейвором и требуемым содержанием ω -3,6,9 ПНЖК.

Разработанная технология изготовления конфет с применением растительного арктического сырья и ПНЖК позволяет получить продукт с высокой пищевой ценностью, заданными микробиологическими характеристиками и длительным сроком хранения (90 дней) за счет снижения активности воды.

Поскольку ганаш представляет из себя эмульсию на основе жирных сливок, молока, фруктово-ягодного пюре и шоколада, то используемые в технологии гидрофильные добавки такие как глюкозный сироп, инвертный сахар, сорбитол, декстроза, способствовали снижению показателя активности воды с начального 0,9-0,8 до 0,64%, что способствовало увеличению срока хранения трюфелей.

Используемое арктическое растительное сырье – пюре морошки и облепихи, является традиционным для употребления северянами, но практически не используется в массовом производстве шоколадных изделий. При этом данное сырье является не культивируемым, а дикоросами, обладающими ценными функциональными характеристиками.

Органолептический профиль облепихи является сложным для применения в кондитерской промышленности, так как обладает низкой сочетаемостью со многими сырьевыми ингредиентами, способен трансформироваться со временем. Однако, проведенное авторами, наложение сенсорного профиля облепихи на растительную ноту морошки, позволило увеличить гармоничность флейвора конфеты, а контраст ягодных нот с яркой нотой шоколада усилили ее общую гармоничность.

Трюфель «Солнечный Север» обладает высокими органолептическими характеристиками и заданным содержанием ПНЖК. Сквален, вносимый с амарантовым маслом, является сильнейшим антиоксидантом с доказанными адаптивными свойствами. При этом, масло амаранта имеет довольно специфический вкус и редко используется населением в чистом виде. Использование амарантового масла в составе ганаша в разработанном трюфеле позволило завуалировать специфическую растительную ноту амаранта ярким тоном облепихи.

Разработанные конфеты являются высококалорийными, в 100 граммах конфет содержится 498 ккал, что позволяет быстро получить значительное количество энергии, необходимое человеку при экстремально низких температурах Арктики.

Всероссийская организация здравоохранения рекомендует употреблять не более 50г шоколада и шоколадных изделий в сутки. Соответственно, на порцию 50 г (5 штук) трюфелей содержание ПНЖК составит – 12,50%, из них омега-3 5,72%, омега-6 6,78%. Соотношение омеги-3 к омеги-6 составляет 1:5, содержание омеги-9 составляет 4,20%. Содержание сквалена составляет 16,3%, а токоферола 25,41% от рекомендуемой суточной нормы, что позволяет отнести разработанное шоколадное изделие «Трюфель «Солнечный Север» к функциональным продуктам.

Выводы. В ходе проведения эксперимента были разработаны трюфели «Солнечный Север» с использованием в начинке-ганаше дикорастущего сырья Крайнего Севера (пюре из ягод облепихи и морошки), комплекса ПНЖК. Для обогащения конфет ω -3, 6, 9 полиненасыщенными жирными кислотами были использованы амарантовое, льняное, облепиховое, расторопши и рыжиковое растительные масла. Содержание олеиновой кислоты (ω -9) в количестве 35%, от суммы жирных кислот, позволяет замедлить процесс окисления конфет и увеличить срок хранения без потери потребительских свойств. Содержание сквалена составляет 16,3%, а токоферола 25,41% от рекомендуемой суточной нормы.

Разработана рецептура и технологи функциональных конфет трюфелей «Солнечный Север», проведена оценка органолептических, физико-химических показателей, безопасности разработанных шоколадных изделий.

Результаты микробиологических изделий подтверждают безопасность разработанных изделий на протяжении всего срока хранения, срок годности составляет 90 дней, при температуре не выше 16-18°C, согласно с МУК 4.2.1847-04 с учетом коэффициента запаса 1,2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мишкевич Э.Ю. Формирование и оценка потребительских свойств продуктов питания для людей, работающих в условиях низких температур: диссертация ... канд. тех. наук: 05.18.15 / Кубанский государственный технологический университет. Краснодар, 2022. – 186 с.
2. Шамилов Ш.А. Перспективы использования Арктического сырья в разработке функционального шоколада // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвященной 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга (Тюмень, 16-18 ноября 2022 г.). Сборник статей. В 3-х томах. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 426-428.
3. Бикбулатова Л.Н. Физиологические особенности состояния адаптации, фактического питания, метаболического профиля и витаминно-элементного статуса у коренного и пришлого населения Крайнего Севера (на примере ЯНАО): диссертация ... канд. мед. наук: 1.5.5 / Ханты-Мансийская государственная медицинская академия. Ханты-Мансийск, 2022. – 172 с.
4. Заворохина Н.В., Феофилактова О.В. Разработка

адаптогенных напитков для снижения холодового стресса у жителей Крайнего Севера // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 3. – С. 93-100.

5. Белина С.А. Моделирование комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья, обладающая антиоксидантным и иммунокорректирующим свойствами // Ползуновский вестник. – 2023. – № 3. – С. 41-46.

6. Тюпкина Г.И., Кисвай Н.И., Корниенко И.П., Филатова С.Н., Окунева С.В. Применение растительного сырья Арктической территории Российской Федерации для производства пряничных изделий // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 8. – С. 188-195.

7. Попов В.Г., Кадочникова Г.Д., Буракова Л.Н., Неверов В.Ю., Тригуб В.В. Разработка рецептуры комплексной пищевой физиологически функциональной системы с целью получения специализированных продуктов питания для населения Арктики // Ползуновский вестник. – 2019. – № 1. – С. 90-95.

8. Буракова Л.Н., Плотников Д.А. Анализ работ в области разработки продуктов функционального назначения, обладающих иммуномодулирующими свойствами // Ползуновский вестник. – 2021. – № 3. – С. 117-122.

9. Белоножко, Л.Н. Особенности социального здоровья населения Арктического региона // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2021. – № 3. – С. 24-44.

10. Ткешелашвили М.Е., Бобоженова Г.А., Сорокина А.В. Разработка конфет типа Ассорти повышенной пищевой ценности и сохранности // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 4. – С. 139-151.

11. Новикова И.М., Блиникова О.М., Елисеева Л.Г., Ильинский А.С. Разработка рецептуры, технологии и оценки органолептических показателей фруктово-желейных конфет, обогащенных биологически активными веществами земляники // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2023. – № 3. – С. 54-59.

12. Дементьева Н.В., Бойцова Т.М. Разработка рецептур и технологии конфет с повышенной пищевой ценностью из ламинарии японской // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7. – № 3. – С. 18-24.

13. Горлов С.М., Першакова Т.В., Семиряжко Е.С. Перспективы рынка производства шоколадных изделий, обогащенных функциональными ингредиентами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 2. – С. 102-107.

14. Ткешелашвили М.Е., Бобоженова Г.А., Сорокина А.В. Сахаристые кондитерские изделия функционального назначения // Пищевая промышленность. – 2019. – № 2. – С. 10-14.

15. Samanta S, Sarkar T, Chakraborty R, Rebezov M, Shariati MA, Thiruvengadam M, Rengasamy KRR. Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches // Curr Res Food Sci. – 2022. – P. 1916-1943.

16. Halib H., Ismail A., Mohd Yusof BN., Osakabe N., Mat Daud ZA. Effects of Cocoa Polyphenols and Dark Chocolate on Obese Adults: A Scoping Review // Nutrients. – 2020. – P. 3695.

17. Ditchfield C., Kushida M.M., Mazalli M.R., Sobral PJA. Can Chocolate Be Classified as an Ultra-Processed Food? A Short Review on Processing and Health Aspects to Help Answer This Question // Foods. – 2023. – №12(16). – P. 3070.

18. Faccinotto-Beltrán P., Gómez-Fernández A.R., Orozco-Sánchez N.E. Physicochemical Properties and Sensory Acceptability of a Next-Generation Functional Chocolate Added with Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Probiotics // Foods. – 2021. – №10 (2). – P. 333.

19. Caponio G.R., Lorusso M.P., Sorrenti G.T. Chemical Characterization, Gastrointestinal Motility and Sensory Evaluation of Dark Chocolate: A Nutraceutical Boosting Consumers' Health // Nutrients. – 2020. – № 12(4). – P. 939.

20. Sasaki A., Kawai E., Watanabe K. Cacao Polyphenol-Rich Dark Chocolate Intake Contributes to Efficient Brain Activity during Cognitive Tasks: A Randomized, Single-Blinded, Crossover, and Dose-Comparison fMRI Study // Nutrients. – 2023. 16(1). – P. 41.

21. González-Barrio R., Nuñez-Gomez V., Cienfuegos-Jove-

llanos E., García-Alonso F.J., Periago-Castón M.J. Improvement of the Flavanol Profile and the Antioxidant Capacity of Chocolate Using a Phenolic Rich Cocoa Powder // Foods. – 2020. – №9(2). – P.189.

22. Jing Z. Functional Chocolate Innovations and Food Technology: A Bibliography // Journal of Food Processing & Technology. – 2023. – P. 8-14.

23. Резниченко И.Ю., Гурьянов Ю.Г., Лобач Е.Ю. Разработка рецептур, технологии производства, оценка качества функциональных кондитерских изделий // Новые технологии. – 2011. – №1. – С. 27-30.

24. Строшкова А.В., Титова И.М. Разработка рецептур конфет повышенной функциональности // Вестник молодежной науки. – 2019. – №4. – С. 9.

25. Carvalho J., Romoff P., Lannes S. Improvement of nutritional and physicochemical properties of milk chocolates enriched with kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and grape (*Vitis vinifera*) // Food Sci. Technol. – 2018. – P. 551-560.

26. Kaur M., Kumar S., Bhat Z-F., El-Din A., Bhatti M-A. Development of composite meat chocolate fortified with calcium and plant extracts // Food Bioscience. – 2021. – P. 42-51.

27. Бибасова А.В. Теоритическое и экспериментальное обоснование рецептур купажированных масел функционального назначения: диссертация ... канд. техн. наук: 05.18.06 / Кубанский государственный технологический университет. Краснодар, 2016. – 168 с.

28. Заворохина Н.В., Шамилов Ш.А., Чугунова О.В., Тарасов А.В. Увеличение хранимоспособности шоколадных конфет за счет снижения активности воды в начинках-ганахах // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 6. – С. 188-197.

Статья поступила в редакцию 04.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 664.642.2

EDN: GEWQQX

**ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ ХЛЕБНЫХ ЗАКВАСОК ПУТЕМ
ВВЕДЕНИЯ РАССОЛА КВАШЕНОЙ КАПУСТЫ С МОЛОЧНОКИСЛЫМИ БАКТЕРИЯМИ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 8296-3616

AuthorID: 680375

ORCID: 0000-0001-6135-1507

БУРАКОВА Людмила Николаевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Общая и физическая химия»

Тюменский индустриальный университет

(625000, Россия, Тюмень, улица Володарского, 38, e-mail: burakovaln@tyuiu.ru)

SPIN: 6902-3918

AuthorID: 1114262

ORCID: 0000-0002-4061-9436

ПЛОТНИКОВ Даниил Александрович, ассистент кафедры «Общая и физическая химия»

Тюменский индустриальный университет

(625000, Россия, Тюмень, улица Володарского, 38, e-mail: plotnikovda@tyuiu.ru)

Аннотация. Хлеб и хлебобулочные изделия остаются одной из самых потребляемых в рационе категорий продукции питания, что обосновывает актуальность развития и расширения ассортимента обогащенных и функциональных пищевых продуктов. В статье приведены результаты экспериментального исследования по изучению возможности применения рассола квашеной капусты для ускорения процессов брожения хлебных заквасок. В качестве ферментированного продукта были использованы два образца квашеной капусты, в технологический процесс приготовления одного из которых внесены молочнокислые бактерии. Это благоприятно повлияло на процесс брожения хлебной закваски, так как в растительных продуктах при ферментации наблюдается молочнокислое брожение и развитие молочной кислоты, которые способствуют активации жизнедеятельности микроорганизмов в заквасочных культурах. Для подтверждения данной гипотезы были подготовлены контрольные образцы пшеничной и ржаной хлебной закваски, а также два образца квашеной капусты. Предварительно, авторами были проведены лабораторные испытания образцов капусты и определены пиковые значения молочной кислоты. Данные лабораторные исследования определили пиковые значения молочнокислых бактерий с применением заквасочных культур (9-й день) и без них (11-й день), на основании которых были произведены отборы образцов для приготовления хлебных заквасок. Для разработки технологического процесса были лабораторно установлены оптимальные соотношения ингредиентов, применяемых при подготовке опытных образцов заквасок. Технологический процесс приготовления хлебных заквасок включал в себя использование компонентов в следующих соотношениях – закваска (1) : мука (1) : вода (0,7;0,4;0,1) : рассол (0,3;0,6;0,9) и сравнении подъемной силы с контрольными образцами, не содержащими рассол. Установлено, что внесение рассола квашеной капусты ускоряет процессы подъемной силы хлебных заквасок. Результаты показали, что подъем у исследуемых образцов наблюдался уже через 3 часа; у контрольного - через 5 часов. Показатель подъемной силы образцов хлебных заквасок с наибольшим содержанием рассола обладает лучшим результатом в сравнении с контрольным образцом, что может говорить о высокой активности дрожжей. При этом, показатель конечной кислотности изменялся в соответствии с количеством вносимых компонентов и составил: для пшеничных заквасок (рассол с микроорганизмами) – 10,8;11,2;11,6; рассол без микроорганизмов – 10,7;10,7;10,8; контроль – 10,8. Для ржаных заквасок данный показатель составил соответственно – 11,6;11,7;12,1 и 11,3;11,3;11,5 при показателе контрольного образца – 11,3.

Ключевые слова: ферментация, растительное сырье, пшеничные и ржаные закваски, молочнокислые бактерии, заквасочная культура.

**INCREASING THE RATE OF FERMENTATION OF BREAD LEAVENS BY INTRODUCING
SAUERKRAUT BRINE WITH LACTIC ACID BACTERIA**

© The Author(s) 2024

BURAKOVA Lyudmila Nikolaevna, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department "General and Physical Chemistry"

Industrial University of Tyumen

(625000, Russia, Tyumen, Voldarsky street, 38, e-mail: burakovaln@tyuiu.ru)

PLOTNIKOV Daniil Aleksandrovich, assistant of the Department "General and Physical Chemistry"

Industrial University of Tyumen

(625000, Russia, Tyumen, Voldarsky street, 38, e-mail: plotnikovda@tyuiu.ru)

Abstract. Bread and bakery products remain one of the most consumed categories of food products in the diet, which justifies the relevance of developing and expanding the range of fortified and functional foods. The article presents

the results of an experimental study on the possibility of using sauerkraut brine to accelerate the fermentation processes of bread starters. Two samples of sauerkraut were used as a fermented product; lactic acid bacteria were introduced into the technological process of preparing one of the samples. This choice is justified by the fact that fermentation occurs during the formation of bread starter. Lactic acid fermentation and the development of lactic acid that occur in plant products during fermentation make it possible to accelerate the processes of activation of the vital activity of microorganisms in starter cultures. To confirm this hypothesis, control samples of wheat and rye bread starter, as well as two samples of sauerkraut, were prepared. Previously, the authors conducted laboratory tests of cabbage samples and determined the peak values of lactic acid. These laboratory studies determined the peak values of lactic acid bacteria with the use of starter cultures (day 9) and without them (day 11), based on which samples were selected for the preparation of bread sourdoughs. To develop the technological process, the optimal ratios of the ingredients used in the preparation of experimental samples of sourdoughs were established in the laboratory. The technological process for preparing bread sourdoughs included the use of the following components in the following ratios - sourdough (1): flour (1): water (0.7; 0.4; 0.1): brine (0.3; 0.6; 0.9) and a comparison of the lifting force with the control samples that did not contain brine. It was found that the introduction of sauerkraut brine accelerates the processes of the lifting force of bread sourdoughs. The results showed that the rise in the studied samples was observed after 3 hours; in the control - after 5 hours. The lifting power index of semi-finished products in samples with the highest brine content has a better result in comparison with the control samples, which may indicate high yeast activity. At the same time, the final acidity index changed in accordance with the amount of introduced components and was: for wheat sourdoughs (brine with microorganisms) - 10.8; 11.2; 11.6; brine without microorganisms - 10.7; 10.7; 10.8; control - 10.8. For rye sourdoughs, this index was respectively - 11.6; 11.7; 12.1 and 11.3; 11.3; 11.5 with the index of the control sample being 11.3.

Keywords: fermentation, vegetable raw materials, wheat and rye starter cultures, lactic acid bacteria, starter culture.

Для цитирования: Буракова Л.Н. Повышение скорости процесса брожения хлебных заквасок путем введения рассола квашеной капусты с молочнокислыми бактериями / Л.Н. Буракова, Д.А. Плотников // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 88-95. – EDN: GEWQOX.

Введение. Расширение ассортимента продукции функционального и специализированного назначения является перспективным направлением в улучшении здоровья и питания населения. На сегодняшний день применяются различные способы обогащения пищевых продуктов, среди которых стоит отметить использование результатов жизнедеятельности микроорганизмов. Ферментированные продукты растительного происхождения обладают высокой пищевой ценностью, особым вкусом, высоким содержанием пищевых волокон и увеличенным сроком хранения. Пробиотические функции делают данную категорию востребованной у потребителя [1, 2].

Ферментация пищевого сырья является одним из древних биотехнологических процессов, применяемых для продления срока годности сельскохозяйственной и животноводческой продукции в результате жизнедеятельности микроорганизмов [3].

Процесс брожения при помощи микроорганизмов может протекать как в аэробных, так и в анаэробных условиях и сопровождается расщеплением органических соединений [4]. Рассматривая данные процессы в хлебных и растительных продуктах, стоит отметить важное значение молочнокислых бактерий. Их относят к грамположительным, неспорообразующим аэротерпимым микроорганизмам, которые являются представителями таких семейств как *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Leuconostocaceae* и *Streptococcaceae* [5].

Самопроизвольные ферментативные процессы, происходящие в белокочанной капусте (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*), приводят к образованию конечных продуктов квашеной капусты и рассол (вто-

ричный продукт), среди которых особую роль играют молочная и уксусная кислоты, этанол и маннит [6, 7].

Стоит отметить также особое влияние молочной кислоты на качество хлебобулочных изделий, которое заключается в повышении противомикробных свойств, изменении органолептических показателей, а также улучшении качества мякиша. Помимо этого, взаимодействие молочной кислоты с заквасочными культурами в подготовительных процессах приготовления хлеба позволяет ускорить процессы активации закваски. Данная гипотеза была выдвинута авторами на основании проведенного патентно-информационного поиска. Результаты экспериментального исследования, представленные в статье, направлены на её подтверждение.

Особую роль в хлебопекарной промышленности играют закваски и заквасочные культуры, используемые в производственном процессе, что связано с положительным влиянием на физико-химические и органолептические показатели и устойчивость к микробной порче [8]. Важной составляющей микробиома заквасок спонтанного брожения являются дикие дрожжи, молочнокислые и уксуснокислые бактерии. В ходе жизнедеятельности перечисленных компонентов образуется углекислый газ, ряд органических кислот и ферменты, которые позволяют сформировать конечные характеристики пищевого продукта (органолептические и физико-химические свойства), при этом особое значение при формировании качества продукции играет взаимодействие молочнокислых бактерий (*Lactobacillales*) и дрожжей (*Sacchromycetales*).

При производстве хлебобулочных изделий важным этапом является выбор муки. Часто используе-

мой в процессе приготовления является мука из злаков (*Poaceae*), например, мука из мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) и/или твердой пшеницы (*Triticum aestivum L. u Triticum durum Desf.*) [3].

Образование метаболитов брожения (органических кислот) происходит за счет потребления молочнокислыми бактериями и дикими дрожжами растворимых углеводов. При этом происходит изменение муки по химическому составу крахмала, пищевых волокон и липидов [9, 10, 11].

Среди основных параметров, которые оказывают влияние при процессах формирования микробиоты закваски, микробных превращений, катализируемых ферментами биохимических реакций – продолжительность протекания ферментативных процессов, температура, количество закваски и воды [11-15].

Помимо этого, молочнокислые бактерии усиливают процессы протеолиза и гидролизуют биополимеры муки, к которым относятся глютен и крахмал, что в свою очередь улучшает текстуру и увеличивает срок хранения хлебобулочного изделия [16]. Стоит также отметить положительное влияние цельнозерновой муки на биотехнологические свойства заквасок.

Положительное влияние повышенного потребления цельного зерна на организм доказано многочисленными исследованиями. Среди положительных эффектов наблюдается снижение заболеваемости сахарным диабетом 2 типа, хроническими и сердечно-сосудистыми заболеваниями, и заболеваниями кишечника [17-20].

В предыдущих исследованиях авторами были проведены экспериментальные работы по изучению влияния молочнокислых бактерий на качество ферментированного продукта, результаты которого позволили сделать выводы, что внесение молочнокислых бактерий в технологический процесс производства квашеной продукции ускоряет процессы молочнокислого брожения и увеличивает содержание исследуемых показателей. Данный фактор был доказан ежедневными лабораторными измерениями и различиями пиковых показателей образцов капусты.

Органолептическая оценка показывала высокие характеристики исследуемого продукта. Полученный результат позволил выстроить дальнейшую методологию исследования, которая заключается в применении рассола квашеной капусты при приготовлении заквасок [21].

Полученные результаты анализа позволили выдвинуть гипотезу, основная идея которой заключается в применении рассола квашеной капусты, содержащего молочнокислые микроорганизмы, как благоприятной среды для процессов, происходящих при формировании хлебных заквасок. На основании этого была поставлена цель – изучить особенности влияния рассола квашеной капусты на процесс брожения хлебных заквасок и разработать технологию его введения.

Задачи исследования: определить максимальные значения молочнокислых бактерий в двух образцах квашеной капусты; провести оценку качества муки,

применяемой в технологии приготовления заквасок; подготовить образцы ржаных и пшеничных заквасок; определить максимальный пик подъема хлебных заквасок и их качественные характеристики; на основе полученных качественных показателей разработать технологию введения рассола в хлебные закваски.

Методология. Среди сырья, которое применялось в технологическом процессе приготовления квашеной капусты, использовалась капуста белокочанная (сорт «Зенон F1») и морковь (сорт «Вита Лонга»), качество которого соответствовало ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В качестве вспомогательных ингредиентов для квашения использована соль пищевая «Илецкая» высший сорт. В технологию приготовления второго образца входила закваска для овощей бактериальная ST 22.22 L (изготовитель ООО «Зелёные линии»), содержащая в своем составе грамположительные анаэробные неспорообразующие молочнокислые бактерии (*Lactobacillus plantarum*). Количество сырья для приготовления квашеной капусты, представлено в таблице 1 [21].

Процесс приготовления образцов квашенной капусты представлен на рисунке 1 [21].

В технологическом процессе приготовления пшеничной и ржаной закваски спонтанного брожения использовались два вида муки – пшеничная цельнозерновая высшего сорта и ржаная обдирная, качество которых определялась на соответствие ГОСТ 26574-2017 и ГОСТ 7045-2017.

Органолептические показатели – вкус, запах, цвет, наличие минеральной примеси, металломагнитная примесь (мг в 1 кг муки). Физико-химические показатели включали влажность, зольность и кислотность.

Влажность муки определялась способом высушивания двух навесок в сушильном шкафу по ГОСТ 9404-88, показатель кислотности определяли по ГОСТ 27493-87 методом титрования.

Зольность по ГОСТ 27494-2016 при помощи муфельной печи ПМ-1.0-7, которая была предварительно разогрета до 500°C с последующим увеличением температуры озоления до 750°C и полного исчезновения черных частиц и достижения постоянной массы навесок. Наличие металломагнитной примеси по ГОСТ 20239-74 «Мука, крупа и отруби».

Метод определения металломагнитной примеси методом выделения вручную с помощью подковообразного магнита из предварительно подготовленной навески муки.

Наличие вредителей в муке определяли на основе ГОСТ 27559-87 с использованием сита лабораторного №056 и ГОСТ 34165-2017. Также дополнительно была проведена проверка загрязненности образцов муки при помощи микроскопа.

Для более четкого понимания этапов экспериментального исследования была разработана методологическая схема, представленная на рисунке 2.

Таблица 1 – Расход сырья для приготовления образцов квашеной капусты, кг (нетто)

Образец	Капуста белокочанная	Морковь	Соль	Заквасочная культура
Стандартный образец	1,00	0,10	0,07	-
Образец с использованием заквасочных культур	1,00	0,10	0,07	0,01

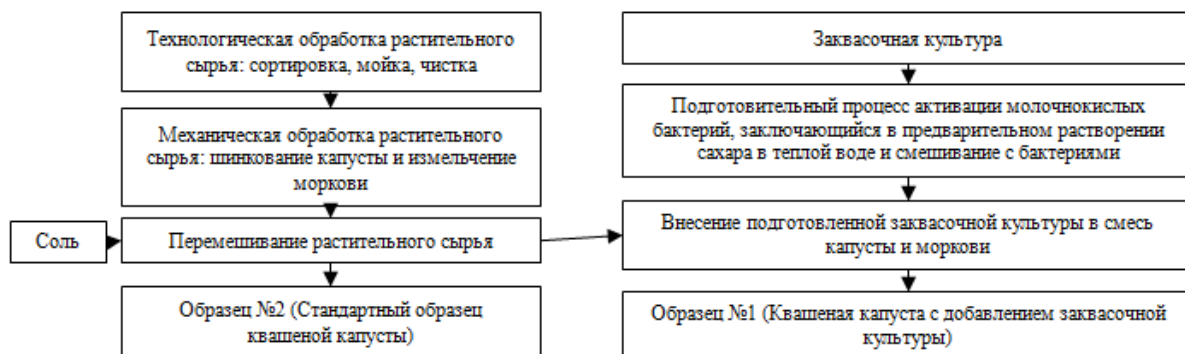


Рисунок 1 – Технологический процесс приготовления квашеной капусты

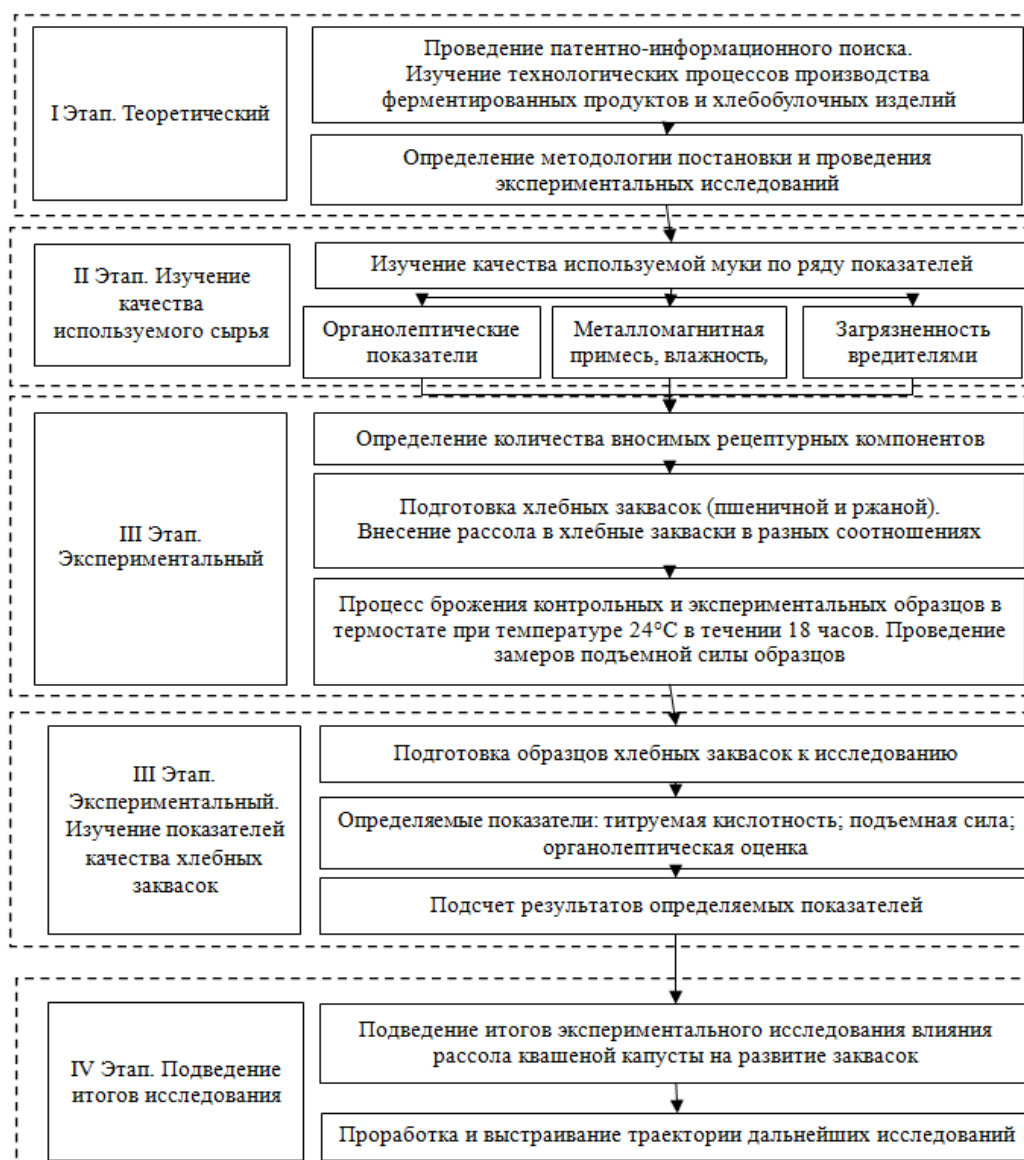


Рисунок 2 – Методологическая схема проведения эксперимента

Методологическая схема проведения исследования включала в себя 4 основных этапа:

1) Теоретический, заключающийся в проведении патентно-информационного поиска работ по схожей тематике и выявлении основных данных, необходимых для дальнейшего исследования.

2) Изучение качества используемой муки по ряду показателей. На основании полученных результатов принятие решение о продолжении исследования.

3) Экспериментальный этап. Данный этап заключается в определении пропорций вносимых компонентов в хлебные закваски (пшеничная и ржаная) и внесении рассола квашеной капусты в разных соотношениях. Процесс брожения контрольных и экспериментальных образцов проводили в термостате при температуре 24°C в течении 18 часов. Основная цель данного этапа заключалась в проведении замеров

подъемной силы испытываемых образцов.

4) Данный этап заключался в подведении итогов проведения экспериментального исследования влияния рассола квашеной капусты на развитие заквасок на основании результатов предыдущих этапов работы.

Выстраивание схемы проведения эксперимента дает четкое представление о каждом этапе и позволяет определить критические точки, при которых стоит скорректировать экспериментальное исследование.

Результаты проведенной оценки качества используемой муки представлены в таблице 2.

Проведенная оценка не показала отклонений от показателей, что говорит о высоком качестве используемой муки. В таблице 3 представлено количество сырья, используемое в технологическом процессе приготовления образцов заквасок спонтанного брожения.

Таблица 2 – Результаты оценки качества пшеничной и ржаной муки

Показатель	Пшеничная мука	Ржаная мука
Вкус	Отсутствие постороннего привкуса	Отсутствие постороннего привкуса
Запах	Отсутствие постороннего запаха	Отсутствие постороннего запаха
Минеральная примесь	Отсутствовал хруст	Отсутствовал хруст
Металломагнитная примесь, мг в 1 кг муки	Менее 0,1	Менее 0,1
Цвет	Белый с кремовым оттенком	Серовато-белый
Зольность, %	0,44	0,51
Влажность, %	12	13
Загрязненность вредителями	Не обнаружена	Не обнаружена

Таблица 3 – Расход сырья для приготовления образцов хлебных заквасок

Образец	Мука, г	Вода, мл
Пшеничная закваска	40	40
Ржаная закваска	30	40

Методика определения титруемой кислотности состояла в предварительном отборе 5 г. образца, с последующим разведением в дистиллированной воде, взятой в объеме 50 см³, после чего проводили титрование в присутствии индикатора 0,1 Н гидроксида натрия [22].

В подготовленных полуфабрикатах определялась подъемная сила при помощи метода «шарика». В химические стаканы, предварительно наполненные дистиллированной водой (250 см³), поместили подготовленные образцы и выдерживали в термостате ТС-1/80 при следующих параметрах температуры – для ржаной закваски 32°C, пшеничной 25°C. Данный процесс протекал до момента всплытия шарика на поверхность воды с учетом времени поднятия при помощи секундомера.

За конечный результат – брали среднеарифметическое двух параллельных определений. Полученный показатель определялся как среднее значение двух параллельных испытаний.

Органолептическую оценку проводили по таким показателям, как вкус, аромат, внешний вид и консистенция [22].

Результаты. Для проведения эксперимента из

подготовленных образцов квашеной капусты [21] были отобраны образцы рассола в дни, когда наблюдались пиковые значения молочной кислоты.

Хлебные закваски подготавливались в соотношениях, представленных в таблице 4.

Из предварительно подготовленной закваски производился отбор опытного образца в объеме 10 г, который смешивался с образцом рассола квашеной капусты и воды в пропорциях, указанных в таблице 4. Подготовленные образцы заквасок выдерживали в термостате марки ТС-1/80 при температуре 24°C в течении 18 часов. Данная температура является оптимальной для жизнедеятельности микроорганизмов в процессе формирования хлебных заквасок.

Среди основных показателей, влияющих на проведение эксперимента, авторы учитывали скорость увеличения объема каждой хлебной закваски, замеры которых производились через равные промежутки времени. На данный показатель влияют такие факторы, как температура окружающей среды, кислотность, уровень ферментативной активности муки, что в совокупности оказывает воздействие на степень дрожжевой активности.

Наблюдения показали, что добавление рассола с заквасочной культурой в большей концентрации (образцы пшеничной и ржаной закваски под номерами 3 и 4) ускоряют подъемную силу хлебных заквасок по сравнению с контрольными. Подъем закваски у рассматриваемых образцов наблюдался через 3 часа по сравнению с контрольным, рост которой наблюдался через 5 часов.

Внешний вид заквасок представлен на рисунке 3.

Подъемную силу подготовленных полуфабрикатов определяли методом «шарика» для определения характеристики активности микрофлоры. Данный параметр непосредственно влияет на продолжительность брожения и расстойки тестовых заготовок.

Рецептура, по которой подготавливались тестовые шарики, представлена в таблице 5.

На рисунке 4 и 5 представлены результаты проведенного испытания.

Полученные данные позволили сделать вывод, что применение рассола с заквасочной культурой в рецептуре хлебных заквасок, улучшает подъемную силу тестовых заготовок хлебобулочных изделий за счет активности дрожжей.

В ходе исследования до и после брожения изучаемых полуфабрикатов определялась титруемая кислотность. Значение кислотности муки имеет прямую зависимость от содержания в своем химическом составе белков и карбоксильных групп. Помимо этого, показатель кислотности пищевого продукта формируется от содержания липаз, фосфорной и органических кислот, действие которых высвобождает жирные кислоты [22].

Проведенный анализ позволил сделать вывод о влиянии аскорбиновой и молочной кислот, сформированных в процессе ферментации квашеной капусты, на конечную кислотность заквасок.

Результаты представлены в таблице 6 и 7.

Показатель кислотности в разных заквасках характеризуется составом сырья, вносимого в процессе проведения экспериментального исследования. В заквасках, в технологическом процессе которых используется рассол квашеной капусты, наблюдается увеличение показателя титруемой кислотности

Результаты проведенной органолептической оценки исследуемых образцов хлебных заквасок представлены в таблице 8 и 9.

Таблица 4 – Соотношение сырья в подготовленных образцах

№ Образца	Хлебная закваска	Мука	Вода	Рассол
1	2	3	4	5
Пшеничная закваска / рассол с заквасочной культурой				
Контроль	1	1	1	-
2	1	1	0,7	0,3
3	1	1	0,4	0,6
4	1	1	0,1	0,9
Пшеничная закваска / рассол без заквасочной культуры				
5	1	1	0,7	0,3
6	1	1	0,4	0,6
7	1	1	0,1	0,9
Ржаная закваска / рассол с заквасочной культурой				
Контроль	1	1	1	-
2	1	1	0,7	0,3
3	1	1	0,4	0,6
4	1	1	0,1	0,9
Ржаная закваска / рассол без заквасочной культуры				
5	1	1	0,7	0,3
6	1	1	0,4	0,6
7	1	1	0,1	0,9



Рисунок 3 – Внешний вид хлебных заквасок: а) пшеничные закваски; б) ржаные закваски

Таблица 5 – Рецепт для тестовых шариков

Состав теста	Пшеничная закваска	Ржаная закваска
Полуфабрикат, г	16	18
Мука, г	6	4

Таблица 6 – Результаты определения кислотности в пшеничных заквасках

Образец	Контроль	2	3	4	5	6	7
Начальная кислотность, град. кисл.	0,7	0,8	1,0	1,3	0,7	0,8	0,7
Конечная кислотность, град. кисл.	10,8	10,8	11,2	11,6	10,7	10,7	10,8
Разница кислотности, град. кисл.	+10,1	+10,0	+10,2	+10,3	+10,0	+9,9	+10,1

Таблица 7 – Результаты определения кислотности в ржаных заквасках

Образец	Контроль	2	3	4	5	6	7
Начальная кислотность, град. кисл.	0,9	1,3	1,5	1,9	0,9	1,2	1,3
Конечная кислотность, град. кисл.	11,3	11,6	11,7	12,1	11,3	11,3	11,5
Разница кислотности, град. кисл.	+10,4	+10,3	+10,2	+10,2	+10,4	+10,1	+10,2

Таблица 8 – Результаты органолептической оценки пшеничных хлебных заквасок

Образец	Контроль	2	3	4	5	6	7
Аромат	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый
Вкус	Слабокислый	Слабокислый	Слабокислый	Кислый	Слабокислый	Слабокислый	Слабокислый
Внешний вид	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками	Поверхность покрыта пузырьками
Консистенция	Жидкая	Жидкая	Жидкая	Жидкая	Жидкая	Жидкая	Жидкая

Таблица 9 – Результаты органолептической оценки ржаных хлебных заквасок

Образец	Контроль	2	3	4	5	6	7
Аромат	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый
Вкус	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый	Кислый
Внешний вид	Пористая	Пористая	Пористая	Пористая	Пористая	Пористая	Пористая
Консистенция	Густая	Густая	Густая	Густая	Густая	Густая	Густая

Анализируя данные таблицы 7 и 8, стоит отметить, что введение в закваски рассола не оказывает существенного влияния на качество органолептических показателей рассматриваемых образцов полуфабрикатов, что позволяет использовать их в процессе приготовления хлебобулочных изделий.

Выводы. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование в технологическом процессе производства хлебных заквасок рассола квашеной капусты имеет положительные стороны. Внесение молочнокислых бактерий при приготовлении квашеной капусты позволяет ускорить процесс формирования качества и органолептических показателей продукции.

Предыдущие исследования авторов показали, что за счет жизнедеятельности микроорганизмов происходит увеличение содержания молочной кислоты. Данный фактор оказал непосредственное

влияние на качество исследуемых полуфабрикатов.

Необходимо отметить, что важным этапом любого исследования является правильный выбор используемого пищевого сырья, для чего необходимо включать в методологию проведения эксперимента анализ качества на соответствие параметрам нормативной документации.

Использование рассола квашеной капусты с заквасочной культурой способно ускорять процессы брожения, происходящие при формировании пшеничных и ржаных заквасок без существенного изменения качества полуфабрикатов, подъем которых наблюдался уже на третьем часу эксперимента, по сравнению с контрольными образцами, процесс которых фиксировался на пятом часу. Помимо этого, с увеличением рассматриваемого рассола в составе заквасок было установлено увеличение бродильной активности полуфабрикатов в экспериментальных образцах, что может говорить об ускорении процессов приготовления хлебобулочных изделий.

Показатель конечной кислотности изменялся в соответствии с количеством вносимых компонентов и составил: для пшеничных заквасок (рассол с микроорганизмами) – 10,8; 11,2; 11,6; рассол без микроорганизмов – 10,7; 10,7; 10,8; контроль – 10,8. Для ржаных заквасок данный показатель составил соответственно – 11,6; 11,7; 12,1 и 11,3; 11,3; 11,5 при показателе контрольного образца – 11,3.

Органолептическая оценка исследуемых образцов не показала значительных отклонений от контрольных образцов, что позволит использовать их в дальнейших исследованиях при приготовлении функциональных хлебобулочных изделий с возможностью расширения ассортимента за счет изменения количества витаминов и пищевых волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Chatterjee C., Gleddie S., Xiao C.-W. Soybean Bioactive Peptides and Their Functional Properties // *Nutrients*. 2018. 10(9):1211. DOI:10.3390/nu10091211.
2. Demir H., Simsek M., Yildirim, G. (2021). Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of Yoghurt // *LWT*. 2021. 135:110271. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110271.
3. De Vuyst, L., Comasio, A., & Kerrebroeck, S.V. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>.
4. Свистунов, А.И. Классификация способов ферментации и ферментеров // *Вестник НГИЭИ*. – 2013. – № 10(29). – С. 109–114.
5. Типы брожения. Качественные реакции спиртового, молочнокислого, маслянокислого брожения: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Микробиология», «Фармакология, биохимия, микробиология» и «Биотехнология» для студентов ИПР, ИФВТ дневной формы обучения / сост. А.П. Асташкина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 18 с.
6. Янченко Е.В., Волкова Г.С., Куксова Е.В., Вирченко И.И., Янченко А.В., Серба Е.М., Иванова М.И. Химический состав и микробиологические показатели квашеной капусты, приготовленной из разных гибридов // *Техника и технология пищевых производств*. – 2023. – Т. 53. – № 1. – С. 131–139. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2420>.
7. Шишлова Е.С., Посокина Н.Е., Ляпина О.Ю. Основы ферментирования белокочанной капусты // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2018;80(2):242–248. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-242-248.
8. Савкина О.А., Локачук М.Н., Кузнецова Л.И., Павловская Е.Н., Парахина О.И., Мартиросян В.В., Костюченко М.Н. Классификация заквасок, применяемых в отечественном и зарубежном хлебопечении // *Хлебопечение России*. – 2022;(5):22–28. DOI: 10.37443/2073-3569-2022-1-5-22-28.
9. Sun X, Wu S, Li W, Koksel F, Du Y, et al. (2023). The effects of cooperative fermentation by yeast and lactic acid bacteria on the dough rheology, retention and stabilization of gas cells in a whole wheat flour dough system – a review // *Food Hydrocoll*. 135:108212. DOI:10.1016/j.foodhyd.2022.108212.
10. Minervini, F., De Angelis, M., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2014). Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International journal of food microbiology*, 171, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.021>.
11. De Bondt Y., Verdonck C., Brandt M.J., De Vuyst, L., Gänzle M.G., Gobbetti M., Zannini E., & Courtin C.M. (2024). Wheat Sourdough Breadmaking: A Scoping Review. *Annual review of food science and technology*, 15(1), 265–282. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-110923-034834>.
12. Arendt, E.K., Ryan, L.A., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology*, 24(2). – С. 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>.
13. Calvert, M.D., Madden, A.A., Nichols, L.M., Haddad, N.M., Lahne, J., Dunn, R.R., & McKenney, E.A. (2021). A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ*, 9, e11389. <https://doi.org/10.7717/peerj.11389>.
14. Devos F. 2018.. Traditional versus modern leavening systems. *Cereal Foods World* 63::63–66.
15. Scherf, K.A., Wieser, H., & Koehler, P. (2018). Novel approaches for enzymatic gluten degradation to create high-quality gluten-free products. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 110. – С. 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.021>.
16. Arezoo Fekri, Solmaz Abedinzadeh, Mohammadali Torbati, Sodeif Azadmard-Damirchi, Geoffrey P. Savage, Considering sourdough from a biochemical, organoleptic, and nutritional perspective, *Journal of Food Composition and Analysis*, Volume 125, 2024, 105853, ISSN 0889-1575, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105853>.
17. Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B., & Wang, X. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges-A review. *Food chemistry*, 360, 130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>.
18. Adams, J., Hofman, K., Moubarac, J.C., & Thow, A.M. (2020). Public health response to ultra-processed food and drinks. *BMJ (Clinical research ed.)*, 369, m2391. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2391>.
19. Hu, Y., Ding, M., Sampson, L., Willett, W.C., Manson, J.E., Wang, M., Rosner, B., Hu, F.B., & Sun, Q. (2020). Intake of whole grain foods and risk of type 2 diabetes: results from three prospective cohort studies. *BMJ (Clinical research ed.)*, 370, m2206. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2206>.
20. Reynolds, A.N., Akerman, A.P., & Mann, J. (2020). Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses. *PLoS medicine*, 17(3), e1003053. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003053>.
21. Буракова Л.Н., Исмагилова А.В., Плотников Д.А. Влияние молочнокислых бактерий на качество ферментированного продукта // *Проблемы развития АПК региона*. – 2024. – № 2(58). – С. 181–188. – DOI 10.52671/20790996_2024_2_181.
22. Гурьев С.С., Попов В.С. Изучение свойств заквасок, приготовленных на основе нетрадиционных видов муки // *Техника и технология пищевых производств*. – 2021. – Т. 51, № 3. – С. 470–479. – DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-470-479.

Статья поступила в редакцию 01.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 372:331.424.4(571.17)

EDN: BSWYTO

ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ШКОЛЬНЫХ СТОЛОВЫХ Г. КЕМЕРОВО

© Авторы 2024

SPIN: 1741-9576

AuthorID: 353426

ORCID: 0000-0001-8917-7299

ResearcherID: AAZ-3976-2021

ScopusID: 57216442162

КОСТИНА Наталья Геннадьевна, кандидат технических наук,
доцент кафедры технологии и организации общественного питания

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: oliegh.kostin@inbox.ru)

SPIN: 7743-5130

AuthorID: 361443

ORCID: 0000-0002-2170-1821

ResearcherID: G-6229-2018

ScopusID: 57214139422

КУРАКИН Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии и организации общественного питания

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: kurakin1979@mail.ru)

SPIN: 5352-7112

AuthorID: 710027

ORCID: 0000-0001-5978-2850

ResearcherID: AAZ-5746-2021

ScopusID: 57220038026

ГРИГОРЬЕВА Роза Завдятовна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры технологии и организации общественного питания

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: roza-grigoreva@yandex.ru)

Аннотация. Изучение затрат рабочего времени персонала предприятий позволяет решить комплекс вопросов, связанных с организацией и нормированием их труда. Цель исследования проанализировать структуру расчетных и фактических значений затрат рабочего времени и рассчитать численный и должностной состав сотрудников школьных столовых г. Кемерово. Пищевые блоки школьных столовых образовательных учреждений были выбраны с учетом количества обучающихся в них школьников. Численность работников производства определяли расчетным методом по нормам времени на изготовление единицы изделия (коэффициенту трудоемкости блюд). Фактическое наблюдение затрат рабочего времени проводили стандартизированным методом фиксирования хронометража разных видов деятельности непосредственно на рабочих местах в школьных столовых. Численность работников для столовой школы № 31 рекомендовано оставить без изменений. В штатное расписание других исследуемых столовых рекомендовано добавить штатные единицы должностей и пересмотреть соотношение их численности, что позволит сократить нагрузку на других сотрудников и в свою очередь уменьшить продолжительность рабочего дня, повысить качество выполняемых работ. Для анализа эффективности работы пищеблока школьной столовой при данной численности штатов, применяемом оборудовании и организации питания был рассчитан условный показатель «выработки на 1 сотрудника».

Ключевые слова: рабочее время, трудовые обязанности, должность, численность работников, фактические затраты, норма времени, столовая, образовательные учреждения, основное и вспомогательное время, коэффициент трудоемкости, работа по совмещению, перерыв, хронометраж.

STUDYING THE ISSUE OF RATIONAL USE OF STAFF IN SCHOOL CATERING OF KEMEROVO

© The Authors 2024

KOSTINA Natalia Gennadievna, candidate of technical sciences,
associate professor of Technology and Organization of Public Catering Department

Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6, e-mail: oliegh.kostin@inbox.ru)

KURAKIN Mikhail Sergeevich, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of Technology and Organization of Public Catering Department

Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6, e-mail: kurakin1979@mail.ru)

GRIGORIEVA Roza Zavdyatovna, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of Technology and Organization of Public Catering Department
Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6, e-mail: roza-grigoreva@yandex.ru)

Abstract. The study of the cost of working time of the personnel of enterprises allows us to solve a complex of issues related to the organization and rationing of their work. The purpose of the study is to analyze the structure of calculated and actual values of working time costs and to calculate the numerical and official composition of employees of school canteens in Kemerovo. The food units of school canteens of educational institutions were selected taking into account the number of schoolchildren studying there. The number of production workers was determined by the calculation method according to the time standards for producing a unit of product (the labor intensity coefficient of dishes). Actual observation of working time was carried out using a standardized method of recording the timing of various types of activities directly at workplaces in school canteens. It is recommended to leave the number of employees for the canteen of school № 31 unchanged. It is recommended to add staff positions to the staffing table of other canteens under study and revise the ratio of their numbers, which will reduce the load on other employees and, in turn, reduce the length of the working day and improve the quality of work performed. To analyze the efficiency of the food department of a school canteen for a given number of staff, the equipment used and the organization of catering, a conditional indicator of «output per 1 employee» was calculated.

Keywords: working hours, work responsibilities, position, number of employees, actual costs, standard time, canteen, educational institutions, main and auxiliary time, labor intensity factor, part-time work, break, timing.

Для цитирования: Костина Н.Г. Изучение вопроса рационального использования персонала школьных столовых г. Кемерово / Н.Г. Костина, М.С. Куракин, Р.З. Григорьева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 96-103. – EDN: BSWYTO.

Введение. В современных условиях ключевой задачей любого предприятия индустрии питания является обеспечение качественного обслуживания посетителей и высокой эффективности собственной деятельности. В условиях ограниченности экономических ресурсов особое значение приобретает рациональное использование, в первую очередь, трудовых ресурсов [1-3]. Производство кулинарной продукции и предоставление услуг по обслуживанию потребителей с наименьшими ресурсными затратами, является актуальным в любое время, особенно в нынешних условиях, когда наблюдается недостаток квалифицированных специалистов. Выявить проблемные места, в т. ч. потери рабочего времени, установить их причины, наметить мероприятия по совершенствованию труда и производства поможет изучение затрат рабочего времени [4-8]. Сегодня существуют различные подходы в области изучения затрат рабочего времени [9-14]. Исследование трудовых процессов и затрат рабочего времени имеет важное значение для решения задач, связанных с организацией эффективного производства, повышением производительности и качества труда, рациональным использованием трудовых ресурсов, совершенствованием деятельности предприятия в целом [15-19].

В течение длительного времени на предприятиях общественного питания (особенно в социальном сегменте) при расчете численности производственных работников применяют типовые нормы труда, не учитывающие особенности предприятия (мощность и тип предприятия), модернизацию производства, улучшение организации труда, использование полуфабрикатов высокой степени готовности. Измерение фактических затрат рабочего времени позволит руко-

водству выявить недостаток или избыток работников той или иной специальности и квалификации. Необходимо сравнить расчетные и фактические значения затрат рабочего времени для работников. Приведенные выше доводы обусловили цель настоящего исследования: проанализировать структуру расчетных и фактических значений затрат рабочего времени и рассчитать численный и должностной состав сотрудников школьных столовых г. Кемерово.

Методология. В рамках исследования были выбраны пищеблоки школьных столовых г. Кемерово образовательных учреждений: № 31 (801 питающийся), 60 (196 питающихся), 69 (426 питающихся) и 89 (1303 питающихся), отличающихся количеством обучающихся, работающие на сырье и полуфабрикатах. В качестве объектов исследования рассматривали рабочее время работников (зав. производством, повар, кухонный работник, мойщик столовой посуды, официант, буфетчик, дозировщик) пищеблоков школьных столовых, меню образовательных учреждений и количество реализованных блюд за март 2023 г.

Расчетным методом определяли численность работников производства по нормам времени на изготовление единицы изделия (коэффициенту трудоемкости блюд) [20]. Условный показатель выработки на 1 сотрудника рассчитывали путем пересчета фактической продолжительности рабочего дня и фактического количества реализованных блюд (комплексы + буфет) на 8-часовой рабочий день, что позволяет проводить корректные сравнения показателя выработки для исследуемых школ.

Фактическое наблюдение затрат рабочего времени проводили стандартизированным методом фиксирования хронометража разных видов деятельно-

сти непосредственно на рабочих местах в школьных столовых («фотография рабочего процесса»). При использовании метода фиксирования хронометража (фактическое определение) руководствовались следующей классификацией затрат рабочего времени (рис. 1).

В исследуемых столовых зафиксированы работы

по совмещению обязанностей дозировщика (Тсд), буфетчика (Тсб), мойщика столовой посуды (Тсм), повара (Тсп), официанта (Тсо), зав. производством (Тсз), кухонного работника (Тск).

Выполняемые трудовые обязанности для каждой должности и их структура по видам затрат рабочего времени представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Трудовые обязанности работников по видам затрат рабочего времени

Виды затрат рабочего времени	Перечень трудовых обязанностей
<i>Зав. производством</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Отправка информации в отдел кадров о наличии сотрудников, выдача денег для размена буфетчику, прием отчета от дозировщика о количестве проданных порций, прием отчета и денежных средств от буфетчика, подготовка к инкассации, передача служебной записки бухгалтеру, передача отчета о количестве питающихся, завершение рабочего дня (проверка выключения оборудования, вентиляции, закрытие окон, чистота производственных помещений, сдача под охрану), мытье и обработка рук, переодевание
Основное время (То)	Контроль за приготовлением блюд: закладкой продуктов и соблюдение технологии (согласно ТТК), контроль за работой официантов (персонала), бракераж готовых блюд (завтрак), бракераж готовых блюд (ланч), бракераж готовых блюд (обед), заполнение журнала бракеража готовой продукции, заполнение журнала бракеража скоропортящейся продукции, заполнение журнала "Выдача СИЗ", заполнение "Гигиенический журнал", заполнение журнала "Термометрия", заполнение журналов учета работы бактерицидных ламп, заполнение журнала температуры холодильного оборудования, заполнение журнала температуры и влажности складских помещений, журнала критических ситуаций, контроль за выходом блюд, температуры подачи блюд, контроль за наличием суточных проб, выдача товаров со склада буфетчику, проверка заполнения журнала кассира, передача заявки бухгалтеру на следующую неделю, передача заявки на ШБС (школьная базовая столовая), передача остатков в отдел снабжения, составление и передача заявок на буфетную продукцию, составление и передача заявок на моющие и дезинфицирующие средства, прием продуктов от поставщиков, прием продуктов от ШБС, работа с программами: Меркурий и УДО, выдача продуктов поварам на следующий день, контроль уборки пищеблока в конце дня, нахождение в обеденном зале во время приема пищи, заполнение заявки на ШБС
Вспомогательное время (Тв)	Корректировка заявки для ШБС, работа с чатами (фото сервировки, корректировки, зав. производством и т.д.), работа с родительским комитетом, школьниками, работа с педагогическим коллективом
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	-
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Повар</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, включение теплового оборудования, проверка паровой рубашки в электрическом котле, подготовка рабочего места (протираание всех рабочих поверхностей), доставка продуктов в горячий цех, подготовка сырья и продуктов на следующий день, мытье и обработка рук после смены вида деятельности и после посещения туалета (не менее 6 раз по 2-3 мин.)
Основное время (То)	Мытье круп, нарезка лука, измельчение сыра, пассерование, нарезка для салатов, измельчение на протирочной машине, мытье сухофруктов, шиповника, кураги, приготовление сладких блюд, охлаждение сладких блюд, нарезка масла, приготовление салатов, холодных закусок, порционирование салатов, холодных закусок, нарезка лука для фарша, мытье сырья для рубленых изделий, измельчение на мясорубке, перемешивание ингредиентов, формовка изделий, панирование в муке или сухарях, выкладывание сверху начинки, обработка яиц, нарезка филе рыбы на порции, посыпка рыбы солью, панирование в муке или сухарях, приготовление блюда в пароконвектомате, порционирование блюд в тарелки, в термоконтейнер, мытье сырья для супов, приготовление бульона (варка мяса, птицы), нарезка мяса для супа, закладка продуктов для супа и варка, порционирование супа
Вспомогательное время (Тв)	Наливание воды в котлы, вскрытие упаковок, пакетов, взвешивание продуктов, перекладывание продуктов в гастроемкости, доставка сырья в цех для изготовления рубленых изделий, смазывание гастроемкости маслом, взвешивание полуфабрикатов, укладка полуфабрикатов в гастроемкости, перемещение в холодильное оборудование, доставка сырья в цех для изготовления рыбных полуфабрикатов, взвешивание полуфабрикатов, смазывание гастроемкости, укладка полуфабрикатов в гастроемкость, перемещение в холодильное оборудование, перемещение в горячий цех, отбор суточных проб перед порционированием
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	Сборка мясорубки, уборка рабочего места (мытьё, дезинфекция), обработка термоконтейнеров
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Кухонный работник</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, подготовка рабочего места, проверка наличия моющих и дезинфицирующих средств, выгрузка продуктов из тары поставщика, мытье и обработка рук после смены вида деятельности и после посещения туалета (не менее 6 раз по 2-3 мин.)
Основное время (То)	Мытье фруктов и овощей, мытье термоконтейнеров, консервированной продукции и т.д., мытье пола всех производственных помещений, мытье холодильного оборудования, мытье стен, стеллажей, мытье склада сыпучих продуктов, мытье туалета, мытье сантехнического оборудования, выключателей, мытье кухонной посуды, мытье гастроемкостей, мытье деревянного инвентаря, мытье металлического инвентаря, мытье мясорубки, мытье привода универсального, мытье кухонных ножей, чистка овощей, вынос мусора и пищевых отходов

Продолжение таблицы 1

Виды затрат рабочего времени	Перечень трудовых обязанностей
Вспомогательное время (Тв)	Санитарная обработка уборочного инвентаря
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	Уборка производственных помещений с дезинфицирующим средством в конце дня, отбраковка деревянного инвентаря, обработка емкостей для мусора и пищевых отходов, обработка и дезинфекция ветоши
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Официант</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, подготовка рабочего места, проверка наличия моющих и дезинфицирующих средств, мытье и обработка рук
Основное время (То)	Нарезка хлеба, раскладывание столовых приборов на обеденные столы, раскладывание салфеток с салфетками, сервировка обеденных столов, порционирование холодных закусок, напитков, салатов, наполнение термоконтейнеров, доставка термоконтейнеров в обеденный зал, выдача горячих блюд школьникам, уборка грязной посуды со столов, освобождение посуды от остатков пищи, уборка обеденных столов, дезинфекция обеденных столов, мытье пола в обеденном зале, мытье и дезинфекция термоконтейнеров, контроль внешнего вида наглядной агитации в зале и на столах: подложки, указатели для классов
Вспомогательное время (Тв)	Прогревание термоконтейнеров, корректировка количества питающихся детей по классам, включение бактерицидных облучателей, проветривание обеденного зала, уборка подоконников, мытье окон, зеркал, выключение бактерицидных облучателей
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	-
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Дозировщик</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, подготовка рабочего места (протирание), отчет по количеству проданных блюд зав. производством, формирование ежедневного отчета по количеству питающихся в компьютерную программу, мытье и обработка рук
Основное время (То)	Ведение учета питающихся, передача заявок поварам количества питающихся, передача официантам откорректированных заявок, расстановка контрольных порций на линию раздачи, порционирование комплексных обедов, доставка посуды на раздачу, обеспечение запаса посуды, вежливое обслуживание посетителей, контроль за наличием столовых приборов и подносов, сервировка обеденных столов (помощь), уборка обеденных столов (помощь), сдача в моечную грязной посуды
Вспомогательное время (Тв)	-
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	Подготовка линии раздачи, оформление витрины и прилавка, мытье мармита, мытье витрины для охлажденных блюд, мытье рабочих поверхностей, дезинфекция рабочих поверхностей
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Мойщик столовой посуды</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, подготовка рабочего места, проверка наличия моющих и дезинфицирующих средств, наличие ветоши, уборка рабочего места с дезинфицирующим средством в конце рабочего дня (чистка и обработка ванн для мытья посуды, стеллажей, посудомоечной машины), мытье и обработка рук после смены вида деятельности и после посещения туалета (не менее 6 раз по 2-3 мин.)
Основное время (То)	Доставка столовой посуды в горячий и холодный цех, мытье банок для суточных проб, стерилизация банок для суточных проб, зачистка тарелок и стаканов, мытье, дезинфекция тарелок, салатников, стаканов, столовых приборов, стерилизация столовых приборов, мытье гастроемкостей, мытье кассет для столовых приборов, стерилизация кассет для столовых приборов в конце дня, мытье и дезинфекция холодильника для пищевых отходов, обработка емкостей для мусора и пищевых отходов
Вспомогательное время (Тв)	Вывоз мусора и пищевых отходов
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	Обработка и дезинфекция ветоши, выбраковка столовой посуды
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе
<i>Буфетчик</i>	
Подготовительно-заключительное время (Тпз)	Переодевание в специальную одежду, подготовка рабочего места (протирание всех рабочих поверхностей), подготовка ленты для ККМ, денежных средств для сдачи, формирование ежедневного отчета по количеству питающихся в компьютерную программу, сдача сменного отчета (снятие кассы, заполнение журнала кассира), мытье и обработка рук
Основное время (То)	Приемка товара для буфета от зав. производством, оформление витрины и прилавка, печать ежедневного меню, ведение учета заявок питающихся, передача заявок поварам количества питающихся, передача официантам откорректированных заявок питающихся по переменам, классам, вежливое обслуживание посетителей
Вспомогательное время (Тв)	-
Время обслуживания рабочего места (Тобс)	Мытье витрины для охлажденных блюд, мытье рабочих поверхностей, дезинфекция рабочих поверхностей
Время работы по совмещению (Тс)	В зависимости от совмещаемой должности
Время перерывов (Тп)	Обед, посещение туалета, простои в работе

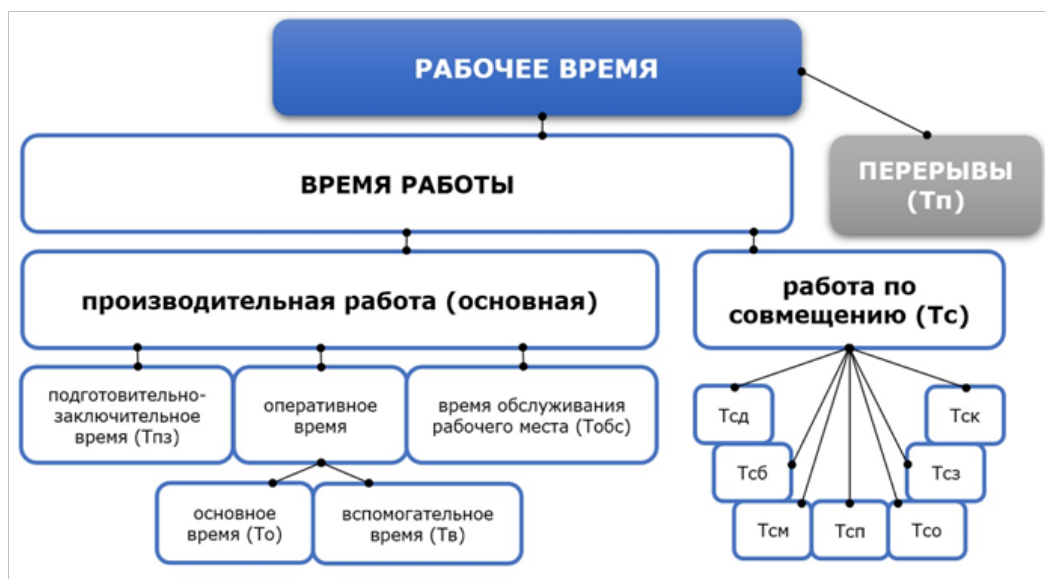


Рисунок 1 – Классификация затрат рабочего времени

Результаты. На первом этапе исследования для каждого цеха и помещения предприятия общественного питания расчетным методом определяли численность работников, выполняющих ту или иную работу, технологические операции, связанные с производством и реализацией продукции, мойкой посуды, тары и инвентаря, обслуживанием потребителей.

Таким образом, на основании расчетного метода общая численность работников столовой школы № 31 составила 8 человек, в том числе: 1 зав. производством, 3 повара, 1 мойщик столовой посуды, 1 дозировщик, 1 официант, 1 буфетчик. При этом необходимо предусмотреть обязательное совмещение трудовых обязанностей кухонного работника одним из ранее перечисленных сотрудников.

Общая численность работников столовой школы № 60 составила 4 человека, в том числе: 1 зав. производством (с обязательным совмещением трудовых обязанностей буфетчика), 1 повар, 1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязанностей кухонного работника), 1 официант (с обязательным совмещением трудовых обязанностей дозировщика).

На основании расчетного метода общая численность работников столовой школы № 69 составила 6 человек, в том числе: 1 зав. производством (с обязательным совмещением трудовых обязанностей буфетчика), 2 повара,

1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязанностей кухонного работника), 1 дозировщик, 1 официант.

Для столовой школы № 89 общая численность работников составила 12 человек, в том числе: 1 зав. производством, 5 поваров, 1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязанностей кухонного работника), 2 дозировщика, 2 официанта, 1 буфетчик.

На следующем этапе эксперимента проводили фактическое наблюдение структуры затрат рабочего времени.

Наблюдение проводили в течение 5 разных рабочих дней недели. Собранные данные о хронометраже рабочего времени дополнительно верифицировались.

В таблице 2 представлена структура хронометража рабочего времени по видам затрат. Отметим, что время начала наблюдения и время окончания наблюдения в ряде случаев не соответствовало началу и окончанию рабочего времени. Зафиксированы случаи прихода и начала трудовой деятельности раньше положенного времени, а для завершения рабочего времени характерны задержки на работе. Таким образом, отметим, что рабочий день превышает классический 8-часовой рабочий день (без учета времени на обед).

Обсуждение. Учитывая приведенные расчеты и данные фактического наблюдения за выполняемой работой сотрудниками пищеблоков исследуемых школьных столовых можно сделать следующие выводы о численном и должностном составе подразделений:

– в школе № 31 по факту организацию питания осуществляют 8 человек: зав. производством, 2 повара, 2 официанта, кухонный работник, мойщик столовой посуды и дозировщик. Расчетные значения свидетельствуют о численности штата столовой равной 8 сотрудникам: 1 зав. производством, 3 повара, 1 мойщик столовой посуды, 1 официант, 1 дозировщик, 1 буфетчик (при этом необходимо предусмотреть обязательное совмещение трудовых обязанностей кухонного работника одним из ранее перечисленных сотрудников);

– расчетные значения для школы № 60 свидетельствуют о численности штата столовой равном 4 сотрудникам: 1 зав. производством (с обязательным совмещением трудовых обязанностей

буфетчика), 1 повар, 1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязанностей кухонного работника), 1 официант (с обязательным совмещением трудовых обязанностей дозировщика). По факту организацию питания в школе осуществляют 3 человека: зав. производством, повар, официант;

– по факту организацию питания в школе № 69 осуществляют 5 человек: зав. производством, 2 повара, официант и мойщик столовой посуды. Расчетные значения свидетельствуют о численности штата столовой равной 6 сотрудникам: 1 зав. производством (с обязательным совмещением трудовых обязанностей буфетчика), 2 повара, 1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязаннос-

тей кухонного работника), 1 официант, 1 дозировщик; – расчетные значения для самой крупной из исследуемых школ № 89 свидетельствуют о численности штата столовой равной 12 сотрудникам: 1 зав. производством, 5 поваров, 1 мойщик столовой посуды (с обязательным совмещением трудовых обязанностей кухонного работника), 2 официанта, 2 дозировщика, 1 буфетчик. Фактически организацию питания в школе осуществляют 10 человек: зав. производством, 2 повара, 3 официанта, кухонный работник, 2 мойщика столовой посуды и дозировщик.

В таблице 3 приводятся средние значения показателей затрат рабочего времени за анализируемый период для исследуемых школ.

Таблица 2 – Структура хронометража рабочего времени работников по видам затрат (среднее значение)

Должность	Подготовительно-заключительное время (Тпз), мин.	Основное время (То), мин.	Вспомогательное время (Тв), мин.	Время обслуживания рабочего места (Тобс), мин.	Перерывы (Тп), мин.	Совмещение работы буфетчика (Тсб), мин.	Совмещение работы дозировщика (Тсд), мин.	Совмещение работы официанта (Тсо), мин.	Совмещение работы повара (Тсп), мин.	Совмещение работы зав. производства (Тсз), мин.	Совмещение работы мойщика ст. посуды (Тсм), мин.	Совмещение работы кухонного работника (Тск), мин.
Школа № 31												
Зав. производством	66,6	278,2	57,8	-	38,0	165,8	1,2	3,4	4,0	-	-	-
Повар 1	61,6	317,4	74,6	34,4	38,6	-	-	-	-	13,4	-	-
Повар 2	75,6	356,8	88,4	38,0	44,4	-	-	-	-	16,4	4,4	-
Официант 1	29,4	417,2	29,6	-	44,4	-	19,0	-	26,2	-	-	14,2
Официант 2	29,0	392,2	37,6	-	47,4	-	20,2	-	22,8	-	8,8	8,0
Кухонный работник	54,0	396,6	1,8	6,2	80,6	-	-	1,2	53,2	-	-	-
Мойщик столовой посуды	21,4	510,4	-	3,8	42,8	-	0,2	-	-	-	-	-
Дозировщик	24,2	400,0	-	59,4	59,0	-	-	-	-	-	5,8	-
Школа № 60												
Зав. производством	60,2	245,8	41,0	-	18,8	52,0	5,0	-	-	-	112,0	64,4
Повар	61,2	270,4	90,2	70,8	17,4	-	-	-	-	3,0	66,0	34,0
Официант	40,8	326,8	40,8	-	29,6	3,0	1,0	-	1,0	-	77,4	53,4
Школа № 69												
Зав. производством	74,3	308,1	59,0	-	37,4	120,0	6,7	8,9	-	-	-	-
Повар 1	47,0	281,6	115,6	33,8	54,2	-	1,4	-	-	0,8	6,0	70,6
Повар 2	47,0	325,2	110,6	25,2	30,2	-	0,6	-	-	2,2	-	70,0
Официант	33,6	422,0	54,6	-	29,4	-	2,2	-	-	1,6	-	1,6
Мойщик столовой посуды	74,9	373,9	12,4	7,7	33,2	-	1,3	54,0	3,0	-	-	2,2
Школа № 89												
Зав. производством	83,8	305,0	42,2	-	25,0	175,2	-	38,4	-	-	10,4	-
Повар 1	62,2	390,8	98,6	23,0	42,0	4,0	2,0	-	-	4,4	-	-
Повар 2	59,6	355,0	101,0	27,8	37,0	-	-	-	-	2,0	14,6	-
Официант 1	31,6	466,0	55,6	-	45,8	-	-	-	6,0	-	5,0	-
Официант 2	32,5	392,3	36,5	-	43,5	-	-	-	-	-	122,8	-
Официант 3	30,4	447,0	20,0	-	53,2	-	-	-	6,8	2,0	64,0	1,6
Кухонный работник	41,6	478,6	13,2	30,6	42,4	-	-	6,6	14,0	2,4	6,4	-
Мойщик столовой посуды 1	66,0	427,3	14,33	24,0	29,3	-	-	29,3	46,0	-	-	-
Мойщик столовой посуды 2	45,0	378,0	10,5	14,5	54,0	-	-	56,0	73,5	-	-	17,5
Дозировщик	39,8	394,0	-	91,0	41,0	-	-	16,6	29,2	-	2,0	2,4

Таблица 3 – Структура затрат фактического времени для анализируемых школ

Школа	Среднее значение за анализируемый период					
	продолжительности рабочего дня	времени основной работы	времени перерывов	времени совмещения	количества реализованных блюд (комплексы + буфет)	условного показателя выработки на 1 сотрудника
№ 31	581 мин.	от 45 до 87%	от 6 до 14%	от 3 до 28%	4094 ед.	512 ед. за 581 мин. или 423 ед. за 8-часовой рабочий день
№ 60	595 мин.	от 40 до 57%	не более 5%	от 16 до 40%	938 ед.	313 ед. за 595 мин. или 253 ед. за 8-часовой рабочий день
№ 69	589 мин.	от 46 до 78%	от 5 до 9%	от 1 до 22%	2371 ед.	474 ед. за 589 мин. или 386 ед. за 8-часовой рабочий день
№ 89	630 мин.	от 45 до 79%	от 4 до 8%	от 1 до 33%	7240 ед.	724 ед. за 630 мин. или 552 ед. за 8-часовой рабочий день

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что, в зависимости от должности в структуре фактических затрат рабочего времени для столовой школы № 31, преобладает время основной работы от 45 до 87%, время работы по совмещению составляет от 3 до 28%, на время перерывов приходится от 6 до 14%. Средняя продолжительность рабочего дня для зав. производством составила 10 часов и 15 минут, повара 1 - 9 часов, повара 2 - 10 часов и 24 минуты, официанта 1 - 9 часов и 40 минут, официанта 2 - 9 часов и 26 минут, кухонного работника 9 часов и 53 минуты, мойщика столовой посуды 9 часов и 42 минуты, дозировщика 9 часов и 8 минут. Штатное расписание для столовой школы № 31 рекомендовано оставить без изменений.

В структуре фактических затрат рабочего времени столовой школы № 60 преобладает время основной работы от 40 до 57% в зависимости от должности, время работы по совмещению от 16 до 40%, на время перерывов приходится не более 5%. Средняя продолжительность рабочего дня для зав. производством составила 9 часов и 59 минут, повара 10 часов и 13 минут, официанта 9 часов и 33 минуты. Рекомендуем для данной школы добавить 1 штатную единицу мойщика столовой посуды, что позволит сократить нагрузку на зав. производством, повара и официанта, что в свою очередь сократит продолжительность рабочего дня, повысит качество выполняемых работ.

Из анализа данных в структуре фактических затрат рабочего времени в зависимости от должности для столовой школы № 69 преобладает время основной работы от 46 до 78%, время работы по совмещению от 1 до 22%, на время перерывов приходится от 5 до 9%. Средняя продолжительность рабочего дня для зав. производством составила 10 часов и 14 минут, повара 1 - 10 часов и 11 минут, повара 2 - 10 часов и 11 минуты, официанта 9 часов и 5 минут, мойщика столовой посуды 9 часов и 22 минуты. Рекомендовано добавить 1 штатную единицу дозировщика, что позволит сократить нагрузку на зав. производством

и других сотрудников, что в свою очередь сократит продолжительность рабочего дня и повысит качество выполняемых работ.

Для столовой школы № 89 в зависимости от должности в структуре фактических затрат рабочего времени преобладает время основной работы от 45 до 79%, время работы по совмещению от 1 до 33%, на время перерывов приходится от 4 до 8%. Средняя продолжительность рабочего дня для зав. производством составила 11 часов и 20 минут, повара 1 - 10 часов и 27 минут, повара 2 – 9 часов и 57 минут, официанта 1 – 10 часов и 10 минут, официанта 2 – 10 часов и 27 минут, официанта 3 – 10 часов и 25 минут, кухонного работника 10 часов и 35 минут, мойщика столовой посуды 1 – 10 часов и 36 минут, мойщика столовой посуды 2 – 10 часов и 49 минут, дозировщика 10 часов и 16 минут. В штатное расписание столовой рекомендовано добавить 2-3 штатных единицы повара и штатную единицу буфетчика, пересмотреть соотношение численности официантов и мойщиков столовой посуды, что позволит сократить нагрузку на зав. производством и других сотрудников, что в свою очередь сократит продолжительность рабочего дня, повысит качество выполняемых работ.

Рассчитанный условный показатель «выработки на 1 сотрудника» (табл. 3) свидетельствует об увеличении эффективности производительности пищеблока школьной столовой при увеличении численности питающихся. Наиболее высокие значения данного показателя отмечены для школы № 89, в которой наибольшее количество питающихся и, как следствие, реализуется больше блюд (7240 ед.).

Выводы. По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- на основании расчетных и фактических данных рекомендовано штатное расписание для столовой школы № 31 оставить без изменений, для остальных подразделений пересмотреть численный и должностной состав, что позволит сократить нагрузку на других сотрудников;

- показано, что в зависимости от должности в

структуре фактических затрат рабочего времени для столовых исследуемых школ, преобладает время основной работы от 40 до 87%, время работы по совмещению составляет от 1 до 40%, на время перерывов приходится от 4 до 14%;

– установлено, что рабочий день сотрудников превышает классический 8-часовой. Средняя продолжительность рабочего дня для зав. производством составила 10 часов и 27 минут, повара – 10 часов и 3 минуты, официанта – 9 часов и 49 минут, кухонного работника 10 часов и 14 минут, мойщика столовой посуды – 10 часов и 7 минут, дозировщика 9 часов и 42 минуты;

– доказан рост производительности персонала с увеличением количества питающихся и, как следствие, увеличением объёма производства продукции (блюд) столовыми образовательных учреждений.

Таким образом, на основании проведенных расчетных и фактических наблюдений структуры затрат рабочего времени, установлено, что на численный и должностной состав подразделений (столовых) школ, оказывает большое влияние количество питающихся. На наш взгляд, необходимо более детально оценить средние удельные веса в структуре хронометража, приходящейся на разные виды затрат рабочего времени (трудовые процессы), включая выполнение работ по совмещению для разных должностей, что позволит дополнительно повысить производительность труда и рационально использовать персонал предприятий питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bogatyreva I.V., Ilyukhina L.A., Simonova M.V., Kozhukhova N.V. Estimation of the Efficiency of Working Time Usage as a Factor of Sustainable Increase of Labor Productivity // В сборнике: SHS Web of Conferences. The conference proceedings. Samara State University of economics, 2019. – P. 06002. – DOI: 10.1051/shsconf/20196206002.
2. Durana C., Cetindereb A., EmreAksuc Y.: Productivity improvement by work and time study technique for earth energy-glass manufacturing company. Procedia Economics and Finance, 2015. – 26. – P. 109-113. – DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00887-4.
3. Mupepi M. Effective talent management strategies for organizational success. Advances in Human Resources Management and Organizational Development Book Series, 2017. – P. 309-319. – DOI:10.4018/978-1-5225-1961-4.
4. Богатырева И.В., Кожухова Н.В., Железникова Е.П. Анализ современного состояния производительности труда в России // Экономика труда. – 2018. – № 3 (5). – С. 683-698. – DOI: 10.18334/et.5.3.39239.
5. Оценка персонала. Сбалансированная система показателей: практическое пособие / Хруцкий В.Е., Толмачев Р.А., Хруцкий Р.В. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 203 с. – (Профессиональная практика). – ISBN 978-5-534-16778-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/539479> (дата обращения: 19.08.2024).
6. Kuchina S., Havrys O. Labor cost rates and their characteristics // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Економічні науки, 2022. – № 2. – P. 33-37. – DOI 10.20998/2519-4461.2022.2.33. – EDN HJVKHG.
7. Lawrence S.A. Work measurement and methods improvement. – New York : Wiley-Interscience, 2000. – 299 p.
8. Sumanth David J. Total Productivity Management: a Systemic and Quantitative Approach to Compete In Quality, Price, and Time. Boca Raton, Fla.: St. Lucie Press, 1998. – 407 p.
9. Беляев В.И., Мищенко В.В., Мищенко Вал.В. Нормирование труда и исследование затрат рабочего времени: забытые категории экономической науки // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2019. – № 45. – С. 19-37. – DOI: 10.17223/19988648/45/2.
10. Данилова Л.Ю. Разработка методики для изучения затрат рабочего времени в научной библиотеке // Библиосфера. – 2020. – № 2. – С. 24-34. – DOI 10.20913/1815-3186-2020-2-24-34. – EDN KJLRNL.
11. Козлов Ю.Д., Рябова Н.В., Мошнякова Я.И. Методы наблюдения при изучении затрат рабочего времени // Информационные технологии в УИС. – 2020. – № 3. – С. 71-79.
12. Кузнецова Ж.А., Правкина Ю.Р. Затраты рабочего времени и исследование трудовых процессов // Духовная ситуация времени. Россия XXI век. – 2021. – № 1(24). – С. 19-23.
13. Нормирование труда: учебное пособие для вузов / В. Г. Былков. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 537 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15058-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/544354> (дата обращения: 21.08.2024).
14. Collewet M., Sauermann J. Working hours and productivity / Labour Economics, 2017. – 47. – P. 96-106. – DOI:10.1016/j.labeco.2017.03.00.
15. Долженко Р.А., Малышев Д.С. Цифровизация подходов к организации и нормированию труда на промышленном предприятии // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». – 2021. – № 4(19). – С. 54-66. – DOI 10.24147/1812-3988.2021.19(4).54-66. – EDN WOJYRX.
16. Омельченко И.Б. Влияние нормирования труда на рост его производительности // Социально-трудовые исследования. – 2019. – № 1. – С. 31-43.
17. Погребцова Е.А. Нормирование труда в сельском хозяйстве: исторический аспект, современное состояние и пути совершенствования // Экономика труда. – 2021. – № 12 (8). – С. 1527-1536. – DOI: 10.18334/et.8.12.113967.
18. Park S., Yaduma N., Lockwood A.J., Williams A.M. Demand fluctuations, labour flexibility and productivity. Annals of Tourism Research, 2016, 59. – P. 93-112. – DOI:10.1016/j.annals.2016.04.006.
19. PremVrat, Sardana G.D., Sahay B.S. Productivity Management: A Systems Approach. Narosa Publishing House, 1998. – 326 p.
20. Проектирование предприятий общественного питания с основами AutoCAD: Учебник/ Ястина Г.М., Несмелова С.В. Санкт-Петербург: Троицкий мост. – 2014. – 228 с.

Статья поступила в редакцию 20.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 664.66

EDN: CXZYLТ

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА, ОБОГАЩЕННОГО ПОРОШКОМ ЕЖОВИКА ГРЕБЕНЧАТОГО И СЕМЕНАМИ ТЫКВЫ И ПОДСОЛНЕЧНИКА

© Автор(ы) 2024

SPIN: 7537-3237

AuthorID: 14522827300

ORCID: 0000-0002-0470-7324

ResearcherID: JFJ-0378-2023

ScopusID: 14522827300

ЛАЗАРЕВ Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой пищевой инженерии

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45, e-mail: lazarev.eka@gmail.com)

ORCID: 0009-0001-5442-4808

ПОРОШИНА Дарья Денисовна, старший лаборант кафедры пищевой инженерии

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45, e-mail: poroshina.darya17@gmail.com)

Аннотация. В статье представлена авторская рецептура и технология хлеба из муки пшеничной первого сорта, обогащенного порошком ежовика гребенчатого, семенами тыквы и подсолнечника с целью повышения пищевой ценности. Рассмотрены полезные свойства ежовика гребенчатого и его влияние на организм человека при использовании в качестве биологически активной добавки к пище. Показано, что семена тыквы и подсолнечника являются богатым источником первичных и вторичных метаболитов, включая белки, полиненасыщенные жирные кислоты, каротиноиды и многие другие фитохимические вещества. В работе проведены исследования влияния вносимых добавок на органолептические, физико-химические показатели полуфабрикатов и готового хлеба. Разработаны рецептуры образцов с добавлением различной концентрации вносимых добавок. Испытания проводились с внесением ежовика гребенчатого в количестве 10% и семян тыквы и подсолнечника в количестве 7,5%, 10% к массе муки. В ходе исследований было определено влияние добавления порошка ежовика гребенчатого и семян тыквы и подсолнечника на качество готовых изделий, также проанализирован их микронутриентный состав. В связи с полученными данными установлено, что для улучшения органолептических свойств и увеличения пищевой ценности готового продукта следует вводить в рецептуру хлеба 10% порошка ежовика гребенчатого и 7,5% семян подсолнечника и тыквы по отношению к массе муки. Представлена модернизированная машинно-аппаратурная схема технологии хлеба, обогащенного порошком ежовика гребенчатого и семенами тыквы и подсолнечника.

Ключевые слова: хлеб, ежовик гребенчатый, пищевые продукты, биотехнология, улучшение качества, безопасность, семена тыквы и подсолнечника, пшеничная мука первого сорта, пищевая промышленность.

DEVELOPMENT OF THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF BREAD ENRICHED WITH COMBED HEDGEHOG POWDER AND PUMPKIN AND SUNFLOWER SEEDS

© The Author(s) 2024

LAZAREV Vladimir Alexandrovich, candidate of Technical Sciences, associate Professor,
head of the Department of Food Engineering

Ural State University of Economics

(620144, Russia, 620144, Yekaterinburg, 8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45, e-mail: lazarev.eka@gmail.com)

POROSHINA Darya Denisovna, senior laboratory assistant at the Department of Food Engineering

Ural State University of Economics

(620144, Russia, 620144, Yekaterinburg, 8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45, e-mail: poroshina.darya17@gmail.com)

Abstract. The article presents the author's recipe and technology of bread made from wheat flour of the first grade, enriched with combed hedgehog powder, pumpkin seeds and sunflower seeds in order to increase nutritional value. The useful properties of the crested hedgehog and its effect on the human body when used as a biologically active food additive are considered. Pumpkin and sunflower seeds have been shown to be a rich source of primary and secondary metabolites, including proteins, polyunsaturated fatty acids, carotenoids and many other phytochemicals. The work investigates the effect of additives on the organoleptic, physico-chemical parameters of semi-finished products and finished bread. Formulations of samples with the addition of various concentrations of additives have been developed. The tests were carried out with the addition of combed hedgehog in an amount of 10% and pumpkin and sunflower seeds in an amount of 7.5%, 10% by weight of flour. During the research, the effect of adding combed hedgehog powder and pumpkin and sunflower seeds on the quality of finished products was determined, and their micronutrient composition was also analyzed. In connection with the data obtained, it was found that in order to improve the organoleptic properties and increase the nutritional value of the finished product, 10% of the combed hedgehog powder and 7.5% of sunflower

and pumpkin seeds relative to the flour weight should be introduced into the bread formulation. An upgraded machine and hardware scheme of bread technology enriched with combed hedgehog powder and pumpkin and sunflower seeds is presented.

Keywords: bread, combed hedgehog, food products, biotechnology, quality improvement, safety, pumpkin and sunflower seeds, wheat flour of the first grade, food industry.

Для цитирования: Лазарев В.А. Разработка рецептуры и технологии хлеба, обогащенного порошком ежевика гребенчатого и семенами тыквы и подсолнечника / В.А. Лазарев, Д.Д. Прошина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 104-110. – EDN: CXZYL7.

Введение. На сегодняшний день пищевая промышленность – это одна из крупнейших отраслей народного хозяйства. Ее основная задача – обеспечение и удовлетворение людей в пищевых продуктах высокого качества. Наиболее развивающимся направлением в пищевой промышленности является хлебопекарная отрасль. Хлеб – это продукт ежедневного потребления миллионами людей [1].

За последние несколько лет производится примерно 8 млн. тонн хлеба, что составляет около 55 килограмм в год на человека. Такой показатель подтверждает высокий спрос на хлеб. Однако, несмотря на значительные ежегодные объемы производства хлеба, анализ динамики его потребления и производства показывает, что просматривается нисходящая траектория потребления продукта. Такая тенденция объясняется сменой предпочтений потребителя. На сегодняшний день выбор происходит в пользу здорового питания и натуральных продуктов, которые благоприятно воздействуют на организм, не способствуют накоплению избыточного веса. Но, несмотря на значительный рост интереса потребителей к диетическим, безглютеновым видам хлеба, их доля в общей структуре рынка остаётся небольшой, что может быть связано с высокой себестоимостью производства. Также потребители не всегда полностью осведомлены о преимуществах и особенностях специализированных сортов хлеба [2,3].

На сегодняшний день существует проблема недостаточности микронутриентов в питании населения. Обогащение продуктов питания массового потребления – важный шаг в решении этой проблемы. Хлеб является одним из самых доступных и распространенных продуктов питания в России. Его обогащение позволит повысить пищевую ценность рациона широкого круга населения без значительных финансовых затрат. Регулярное потребление обогащенного хлеба позволит обеспечить постоянный и непрерывный поток необходимых витаминов и минералов в организм [4].

Однако стоит понимать, что обогащение продуктов питания – это непростой процесс, требующий ответственного подхода. Он подразумевает внесение изменений в технологию и требует глубоких знаний и навыков в области пищевой биотехнологии, гигиене питания и многих смежных дисциплинах. Решая расширить свой ассортимент выпускаемой продукции за счет обогащенных продуктов, предприятиям необходимо разумно подходить к

этому вопросу, осознавая важность соответствия нормативным требованиям и обеспечению безопасности и качества конечного продукта.

Одним из наиболее эффективных путей биокоррекции химического состава хлеба является обогащение за счет использования растительного сырья. Растительное сырье богато макро- и микронутриентами, в которых нуждается каждый человек. Также использование растительного сырья придает хлебу уникальный вкус и аромат.

С целью обогащения хлеба микронутриентами, улучшения его органолептических свойств и придания других профилактических характеристик хлебу было принято решение внести в рецептуру порошок ежевика гребенчатого и семена тыквы и подсолнечника в различных концентрациях [5].

Тыквенные семечки представляют собой семена растения из семейства тыквенных. Во многих странах тыква используется в качестве лекарственного средства благодаря своим противовоспалительным, антиоксидантным, противовирусным и противодиабетическим свойствам.

В семенах тыквы установлено высокое содержание витаминов: *A* (ретинол), *E* (токоферол), *K* (филлохинон). Это жизненно важные органические соединения, которые играют роль биорегуляторов. Несмотря на то, что они необходимы в небольших количествах, организм не может синтезировать их самостоятельно или синтезирует в недостаточном объеме, поэтому они должны поступать с пищей.

Витамин *K* играет важную роль в минерализации костной ткани и укреплении костей. Витамин *E* – мощный антиоксидант, который препятствует окислительному процессу и старению клеток, укрепляет сосуды и защищает их от повреждений. Также в тыквенных семечках присутствует никотиновая кислота, она участвует в синтезе важных гормонов и ферментов [6]. Кроме того, они содержат в себе минеральные вещества: *Zn*, *Fe*, *Cu*, *Mn*, *K*, *Mg*, *P*. Это простые химические элементы, которые необходимы для построения структур живых тканей и осуществления важнейших биологических и физиологических процессов [7].

Подсолнечник – сельскохозяйственная культура, семена которой выращивают и употребляют во всем мире. Они содержат в своем составе высокопитательные компоненты: клетчатку, белок, насыщенные жиры, минеральные вещества, а также ряд других веществ: антиоксидантов, витаминов (*A*,

D, E) [8, 9].

Также было принято решение добавить в рецептуру хлеба порошок гриба *Hericium erinaceus*. Он считается лекарственным съедобным грибом, распространенным в основном в регионах Восточной Азии, с многовековой историей применения в традиционной китайской медицине [10].

Hericium erinaceus характеризуется высокой питательной ценностью. Согласно исследованию, проведенному Friedman [11], сушеный мицелий содержит около 42,5% белков, 42,9% углеводов, 6,3% жирных кислот, 3,9% воды и 4,4% золы, что обеспечивает около 398 ккал / 100 г. Кроме того, в своем составе ежевик гребенчатый содержит 19 аминокислот и 32 ароматических веществ [12]. Также богат жирорастворимыми витаминами, минералами, такими как калий (254 мг / 100 г сухого веса) и фосфор (109 мг / 100 г сухого веса), в то время как содержание магния, цинка и меди немного ниже [13].

Одно из значимых свойств гриба *Hericium erinaceus* – это накопление биоактивных соединений, которые обладают мощными антиоксидантными свойствами. К ним относят фенольные соединения, терпены, которые эффективно нейтрализуют свободные радикалы, защищая клетки от повреждений [14]. Также немаловажным является наличие в его составе биологически активных веществ – гериценонов и эринацинов. Эти соединения полезны для здоровья человека при различных физиологических заболеваниях, в том числе пищеварительной системы и иммунной системы [15, 16]. Соединение эринацин А может стимулировать рост и регенерацию нервных клеток, что привело к исследованию его воздействия на нервную систему [17].

Также можно сказать, что гриб *H. Erinaceus* обладает и другими лечебными свойствами. К примеру, было выявлено, что студентки, которые принимали препараты, содержащие экстракт гриба, наладили свой режим сна. Помимо этого, порошок гриба давали женщинам в менопаузе, и было установлено, что у них снизилась тревожность [18, 19].

Проведенный анализ демонстрирует, что наука постоянно развивается, и стремление усовершенствовать состав продуктов массового потребления с каждым годом растёт. Однако, несмотря на перспективность использования ежевика гребенчатого в качестве пищевой добавки, его применение в хлебопекарной промышленности изучено недостаточно. Согласно исследованиям [20], *Hericium erinaceus* не вызывает какие-либо генотоксические эффекты. Добавление гриба в хлебобулочные изделия является перспективным направлением для изучения, так как ежевик гребенчатый содержит в своём составе микронутриенты, которых недостаточно в хлебе. Также добавление семян в рецептуру обогатят его необходимыми жирорастворимыми витаминами [21].

Из этого следует, что целью работы является

изучение влияния добавления порошка ежевика гребенчатого и семян тыквы и подсолнечника на качество и пищевую ценность пшеничного хлеба. В ходе исследования планируется определить оптимальные дозировки вносимых добавок, которые обеспечат повышение пищевой ценности продукта без ущерба для его органолептических характеристик. Результатом работы станет разработка авторской рецептуры хлеба с обогащенным витаминно-минеральным составом.

Методология. Вносимые в рецептуру обогащающие компоненты были куплены на потребительском рынке. Порошок ежевика гребенчатого торговой марки ISaC (*Innovative Substances and Compositions*) рекомендовано принимать по 10 грамм в день. Семена тыквы и подсолнечника также приобретены на потребительском рынке в очищенном виде. В связи с рекомендуемой суточной нормой внесения добавок в качестве объектов исследований использовалась готовая продукция:

1) контрольный образец (хлеб, выпеченный по рецептуре «хлеб из пшеничной муки первого сорта» сборника рецептов на хлеб и хлебобулочные изделия) [22].

2) образец 1 – хлеб, выпеченный с внесением 10% порошка ежевика гребенчатого и 7,5% семян подсолнечника и тыквы по отношению к массе пшеничной муки 1 сорта;

3) образец 2 – хлеб, выпеченный с внесением 10% порошка ежевика гребенчатого и 10% семян подсолнечника и тыквы по отношению к массе пшеничной муки 1 сорта.

Технология обогащенного хлеба начинается с дозирования сырья. Далее производился замес теста, основная цель которого – получение однородной массы с определенными физическими свойствами.

После замеса теста были определены его влажность и кислотность в начале брожения и в конце. Влажность определялась при помощи прибора Чиговой, разогретого до 160°C. Подготовленная навеска массой 5 грамм высушивалась 5 минут. После чего охлаждалась и взвешивалась на весах для дальнейшего вычисления влажности. Кислотность теста определялась методом титрования. Навеску массой 5 грамм растирали с 50 см³ дистиллированной воды до получения однородной консистенции. После чего в присутствии 3 капель фенолфталеина производилось титрование гидроокисью натрия до устойчивого розового окрашивания.

По завершении исследования физико-химических показателей теста, производится его брожение. Благодаря брожению готовая продукция получится с хорошо развитой пористостью и характерным вкусом и ароматом. Затем следует формовка, расстойка и выпечка хлеба.

После приготовления хлеба была проведена его органолептическая и физико-химическая оценка. Органолептические показатели определяли согласно требованиям ГОСТ 5667-2022 «Изделия

хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий». Сперва оценивали внешний вид исследуемых образцов: форма, цвет, поверхность. Далее, путем разрезания образца, была визуально определена его пропеченность, промес и пористость. Также был оценен вкус и запах.

Физико-химическая оценка качества хлеба определялась по следующим показателям: кислотность (ГОСТ 5670-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности»), влажность (ГОСТ 21094-75 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности»), пористость (ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости»).

Помимо этого, для подтверждения целесообразности внесения порошка ежевика гребенчатого и семян тыквы и подсолнечника были проведены следующие исследования:

1) определение аминокислотного состава согласно СОП Определения аминокислотного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколоночной дериватизацией агентами ОРА и FMOC в пищевых продуктах;

2) определение содержания жирорастворимых витаминов по ОФС 1.2.3.0017.15 Методы количественного определения витаминов;

3) определение содержания магния [23].

Результаты. При производстве исследуемых образцов за основу была взята стандартная рецептура [22] и технология приготовления пшеничного хлеба из муки первого сорта. Для начала всё сырье дозировалось в пропорциях, согласно разработанным рецептурам, представленных в таблице 1.

После приготовления образцов хлеба были проанализированы органолептические показатели. В результате органолептической оценки было выявлено, что контрольный образец и образец №1 соответствуют требованиям ГОСТ 26987-86 «Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия» по всем показателям. Образцы имеют ровную гладкую поверхность, пропеченный пористый мякиш, вкус

и запах свойственный данному виду продукции. А образец №2 имел немного влажный на ощупь мякиш и слаборазвитую пористость. Цвет корки изменился, стал коричневым. Также тесто, на стадии замеса данного образца, прилипало к рукам, что говорит о внесении большого количества добавок.

Далее была проведена физико-химическая оценка контрольного образца и образца 1. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что контрольный и образец №1 соответствуют требованиям ГОСТ 26987-86 «Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия». Из таблицы 2 следует, что влажность мякиша повышается при внесении добавок, а пористость уменьшается, что связано с частичной заменой муки на порошок ежевика гребенчатого и семена, но показатели остаются в пределах нормы.

Помимо этого, были проведены исследования по содержанию жирорастворимых витаминов, аминокислот и магния в хлебе.

Результаты исследований представлены в таблице 3.

Исходя из данных таблицы 3, можно сделать вывод, что произошло уменьшение содержания только нескольких показателей: глутаминовой аминокислоты, аргинина, метионина. Однако общая сумма аминокислот в хлебе выросла на 492 мг/100 гр. Результаты анализа химического состава обогащенного хлеба показывают значительное увеличение содержания некоторых важных микронутриентов. Содержание магния увеличилось практически в два раза. Добавление в рецептуру семян тыквы и подсолнечника привело к увеличению содержания витаминов: кальциферола D2, кальциферола D3 и α-токоферола E. Таким образом, внедрение новых компонентов в рецептуру хлеба привело к изменениям в химическом составе, обогатив его микронутриентами и аминокислотами.

На основании вышеизложенных сведений разработана машинно-аппаратурная схема производства обогащенного хлеба, которая представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Рецептуры исследуемых образцов хлеба

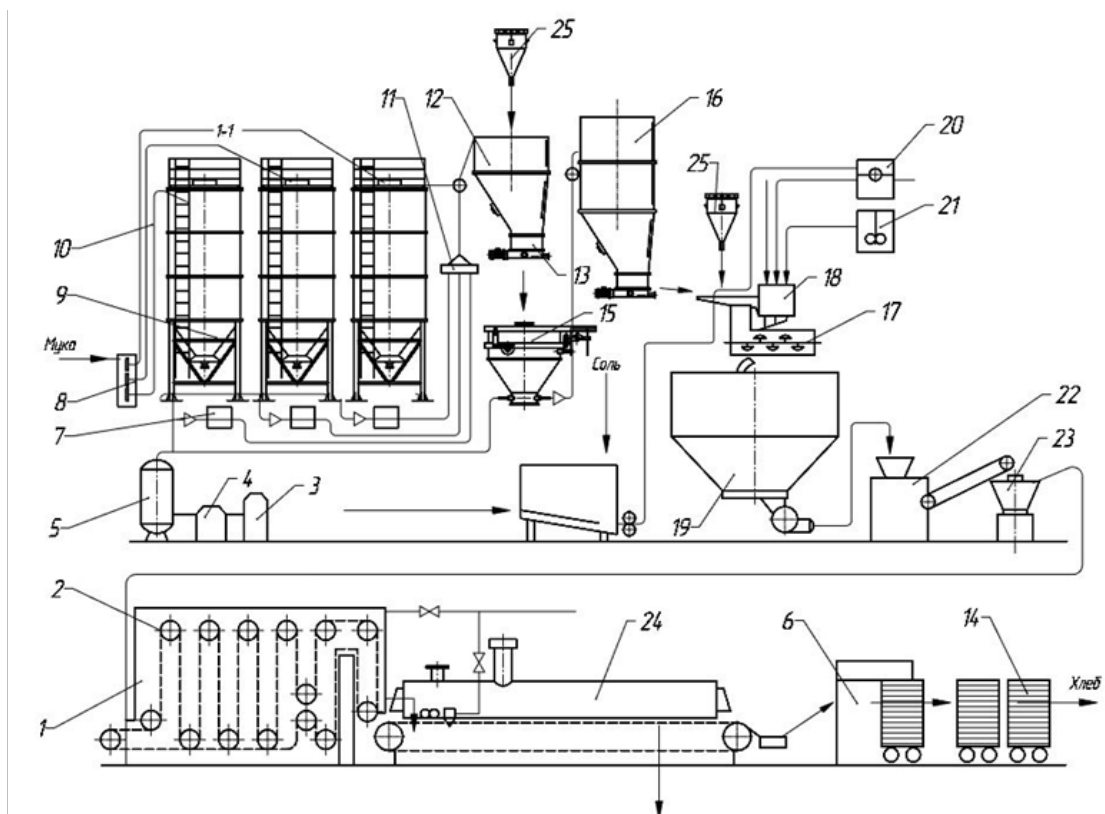
Наименование сырья	Контроль	Образец 1	Образец 2
Мука пшеничная, гр.	100	82,5	80
Дрожжи прессованные, гр.	1,5	1,5	1,5
Соль поваренная, гр.	1,3	1,3	1,3
Вода, мл.	63,3	63,3	63,3
Порошок ежевика гребенчатого, гр.	-	10	10
Семена тыквы, гр.	-	3,75	5
Семена подсолнечника, гр.	-	3,75	5

Таблица 2 – Результаты исследований физико-химических показателей хлеба

Наименование показателя	Требования ГОСТ 26987-86 «Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия»	Фактические данные	
		Контроль	Образец 1
Влажность мякиша, %	Не более 43%	38,7	39,76
Кислотность мякиша, град.	Не более 3 град.	2,8	2,8
Пористость мякиша, %	Не менее 67%	79,8	79,6

Таблица 3 – Содержание микронутриентов в образцах хлеба

Показатель	Контрольный образец	Образец №1
Жирорастворимые витамины, мкг/100 гр.		
Кальциферол D2	2	8,5
Кальциферол D3	3,35	6,8
а-токоферол Е	34,0	59,3
Аминокислоты, мг/100 гр.		
Аспарагиновая	510	641
Глутаминовая	4540	4438
Серин	632	645
Гистидин	491	496
Глицин	488	532
Треонин	471	487
Аргинин	740	653
Аланин	226	275
Тирозин	307	407
Цистин	106	118
Валин	410	457
Метионин	219	162
Фенилаланин	586	615
Изолейцин	422	448
Лейцин	968	973
Лизин	145	401
Пролин	121	125
Сумма:	11382	11874
Содержание магния, %		
	0,029	0,054



1 – шкаф расстоечный; 2 – конвейер люлечный; 3 – фильтр рукавный; 4 – компрессор пневмотранспорта; 5 – ресивер пневмотранспорта; 6 – укладчик автоматический; 7 – питатель роторный; 8 – приемный щиток; 9 – силос бестарного хранения; 10 – пневмопровод питающий; 11 – переключатель пневмотранспорта; 12 – бункер производственный; 13 – мукопросеиватель; 14 – тележка стеллажная; 15 – дозатор весовой; 16 – силос производственный; 17 – тестомесильная машина непрерывного действия; 18 – станция дозировочная; 19 – тестоприготовительный узел; 20 – емкость расходная; 21 – бункер дрожжевой разводки; 22 – тестоделитель; 23 – тестоокруглитель; 24 – печь туннельная конвейерная; 25 – бункер-дозатор

Рисунок 1 – Модернизированная машинно-аппаратурная схема производства хлеба из пшеничной муки первого сорта, обогащенных порошком ежевика гребенчатого и семенами тыквы и подсолнечника

Модернизация схемы состоит в том, что добавлены бункеры-дозаторы 25 для внесения в тесто порошка ежовика гребенчатого и семян. Порошок ежовика гребенчатого попадает в производственный бункер 12, затем, смешиваясь с мукой поступает на замес теста. А семена тыквы и подсолнечника дозируются в тестомесильную машину 17, где смешиваются вместе с остальным сырьем, формируя тесто.

Обсуждение. В ходе исследования были проведены эксперименты с тремя образцами хлеба из пшеничной муки первого сорта. По результатам исследований было установлено, что добавление в рецептуру хлеба добавок, таких как порошок ежовика гребенчатого и семена тыквы и подсолнечника, позволило повысить пищевую ценность продукта за счет витаминов и минералов, которые входят в состав вносимых обогащающих компонентов и улучшить его органолептические свойства: вкус и внешний вид.

В результате экспериментов было выявлено, что при внесении чрезмерного количества вносимых дополнительных ингредиентов (10% ежовика гребенчатого и 10% семян тыквы и подсолнечника по отношению к массе муки) нарушаются органолептические и физико-химические показатели хлеба. Влажность продукта увеличивается, что может в последующем создать благоприятную среду для развития плесени, дрожжей и других нежелательных микроорганизмов. Пористость хлеба становится неравномерной и слаборазвитой, что делает хлеб более плотным и жестким.

При обогащении продукта 10% порошка ежовика гребенчатого и 7,5% семенами тыквы и подсолнечника повысилось содержание минеральных веществ практически в два раза (0,029% в контрольном образце, 0,054% в образце 1), это свидетельствует о значительном повышении минеральной ценности продукта. Содержание жирорастворимых витаминов также повысилось (содержание кальциферола *D2* увеличилось в 4 раза, кальциферола *D3* – в 2 раза, *α*-токоферола *E* – в 1,75 раз). Также сумма аминокислот выросла на 492 мг/100 гр. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о повышении пищевой ценности хлеба, что доказывает целесообразность внесения порошка ежовика гребенчатого и семян подсолнечника и тыквы.

Внесение дополнительных ингредиентов существенно не повлияет на технологический процесс, так как все добавки вносятся в тесто на стадии его замеса, что не требует дополнительных операций или изменения последовательности производства. Также для производства хлеба, обогащенного микронутриентами, следует внести изменения в технологическое оборудование, добавив два бункера-дозатора для внесения порошка ежовика гребенчатого и семян подсолнечника и тыквы, что позволит точно дозировать добавки и обеспечит их равномерное распределение в тесте.

Выводы. Хлебопекарная промышленность остаётся востребованной и конкурентоспособной.

Несмотря на повышенный интерес потребителя к правильному питанию и здоровому образу жизни, спрос на данную продукцию будет оставаться примерно на одном и том же уровне. Хлеб является одним из основных продуктов питания в России, его потребление традиционно высокое, поэтому последние годы производители увеличивают ассортимент данной продукции и улучшают её качество. Разработка инновационных продуктов и расширение ассортимента, как правило, является неотъемлемой частью деятельности любого хлебопекарного предприятия.

Современные потребители стали более требовательными к безопасности и составу продуктов питания. Всё больше возрастает интерес покупать продукты, обладающие высокими органолептическими показателями, с наличием в своём составе витаминов, минералов, пищевых волокон.

В результате проделанной работы была модифицирована рецептура и технология производства хлеба из пшеничной муки первого сорта с целью обеспечения включения новых ингредиентов в состав и улучшения качества конечного продукта.

Согласно проведенным исследованиям, при дозировке порошка ежовика гребенчатого 10% и семян тыквы и подсолнечника 7,5% по отношению к массе муки полученный хлеб удовлетворяет требованиям ГОСТ 26987-86 «Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия» по органолептическим и физико-химическим показателям. Образец №2 не соответствует по органолептическим показателям, что означает превышение дозировки вносимых добавок и негативного их влияния на внешний вид и состояние мякиша продукта.

Полученные данные показывают, что добавление порошка ежовика гребенчатого и семян способствует увеличению микронутриентов в составе хлеба. По сравнению с контрольным образцом у образца №1 отмечено увеличение содержания магния практически в два раза, жирорастворимых витаминов (кальциферола *D2*, кальциферола *D3*, *α*-токоферола *E*) и аминокислот.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что хлеб, приготовленный по изменённой рецептуре, не только содержит больше полезных микронутриентов, но и не уступает контрольному образцу по вкусовым качествам и физико-химическим характеристикам. Из этого следует, что обогащение продукта не повлияло негативно на органолептические и физико-химические свойства, а наоборот, повысило его пищевую ценность без ущерба для потребительских качеств.

Создание новых обогащённых продуктов питания для сохранения здоровья человека является важным направлением в развитии пищевой промышленности. Поэтому применение в технологии хлеба порошка ежовика гребенчатого и семян тыквы и подсолнечника позволит расширить его

химический состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балыхин М.Г. Зерно, мука и хлеб России. Производство – хранение – переработка – рынок: монография / М.Г. Балыхин, В.А. Бутковский, О.А. Ильина. – Москва: МГУПП, 2020. – С. 238-242.
2. Лазарев В.А. Применение концентрата творожной сыворотки в хлебопекарном производстве / В.А. Лазарев, Т.А. Титова // Перспективы развития пищевой и химической промышленности в современных условиях: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 45-летию факультета прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета, Оренбург, 24-25 октября 2019 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 104-108. – EDN HGJOGG.
3. Зимняков В.М. Состояние производства хлеба и хлебобулочных изделий в России / В.М. Зимняков // Инновационная техника и технология. – 2022. – Т. 9. – № 4. – С. 87-92. – EDN FKUFKS.
4. Souza SVS, Borges N, Vieira EF. Vitamin d-fortified bread: Systematic review of fortification approaches and clinical studies. Food Chem. 2022 Mar 15; 372:131325. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131325. Epub 2021 Oct 6. PMID: 34649031.
5. Продукты питания функционального назначения: учебное пособие / составитель О.Г. Комкова. – Персиановский: Донской ГАУ, 2020. – 142 с.
6. Маслов А.В., Биктагирова А.И., Агзамова Л.И., Мингалеева З.Ш. Применение методов обобщенного приведенного градиента и дробного факторного эксперимента при оптимизации состава пищевой комплексной добавки для хлеба повышенной пищевой ценности // Индустрия питания / Food Industry. – 2021. – Т. 6. – № 3. – С. 5-14. – DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-3-1.
7. Перспективы использования семян тыквы в хлебопечении и производстве мучных кондитерских изделий / М.Б. Икрами, М.Б. Шарипова, Х.Ф. Абдуллоева, М.Ш. Самадова // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2022. – № 4-1(51). – С. 55-59. – EDN ULKRP.
8. Субботина Н.А. Повышение биологической ценности пшеничного хлеба при использовании нетрадиционного растительного сырья / Н.А. Субботина, Н.Д. Субботина // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 20 января 2022 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2022. – С. 263-268. – EDN WEAAM.
9. Rehman A, Saeed A, Kanwal R, Ahmad S, Changazi SH. Therapeutic Effect of Sunflower Seeds and Flax Seeds on Diabetes. Cureus. 2021 Aug 17;13(8): e17256. doi: 10.7759/cureus.17256. PMID: 34540481; PMCID: PMC8445494.
10. Hericium erinaceus Improves Mood and Sleep Disorders in Patients Affected by Overweight or Obesity: Could Circulating Pro-BDNF and BDNF Be Potential Biomarkers / L.M. Vigna [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2019. – Vol. 21. – P. 1-12.
11. Friedman M. Chemistry, Nutrition, and Health-Promoting Properties of Hericium erinaceus (Lion's Mane) Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia and Their Bioactive Compounds. J. Agric. Food Chem. 2015; 63:7108-7123. doi: 10.1021/acs.jafc.5b02914.
12. Szućko-Kociuba I, Trzeciak-Ryczek A, Kupnicka P, Chlubek D. Neurotrophic and Neuroprotective Effects of Hericium erinaceus. Int J Mol Sci. 2023 Nov 3;24(21):15960. doi: 10.3390/ijms242115960. PMID: 37958943; PMCID: PMC10650066.
13. Bio-Functional Components in Mushrooms, a Health Opportunity: Ergothioneine and Huitlacoche as Recent Trends / G.A. Martinez Medina [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2021. – Vol. 77. – P. 432-438.
14. Mushroom polysaccharides: A potent immune-modulator / N. Chakraborty, A. Sarkar, S. Ghosh [et al.] // Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2021. – Vol. 11. – No. 2. – P. 8915-8930. – DOI 10.33263/BRAC112.89158930. – EDN PROAWD.
15. Hetland G, Tangen JM, Mahmood F, Mirlashari MR, Nissen-Meyer LSH, Nentwich I, Therkelsen SP, Tjønnfjord GE, Johnson E. Antitumor, Anti-Inflammatory and Antiallergic Effects of Agaricus blazei Mushroom Extract and the Related Medicinal Basidiomycetes Mushrooms, Hericium erinaceus and Grifola frondosa: A Review of Preclinical and Clinical Studies. Nutrients. 2020 May 8;12(5):1339. doi: 10.3390/nu12051339. PMID: 32397163; PMCID: PMC7285126.
16. Lin CY, Chen YJ, Hsu CH, Lin YH, Chen PT, Kuo TH, Ho CT, Chen HH, Huang SJ, Chiu HC, Chen CC, Hwang E. Erinacine S from Hericium erinaceus mycelium promotes neuronal regeneration by inducing neurosteroids accumulation. J Food Drug Anal. 2023 Mar 15;31(1):32-54. doi: 10.38212/2224-6614.3446. PMID: 37224554; PMCID: PMC10208670.
17. Li L.-C., Chang H.-H., Lin C.-H., Chen W.-P., Lu T.-H., Lee L.-Y., Chen Y.-W., Chen Y.-P., Chen C.-C., Lin D.P.-C. Prevention of early Alzheimer's disease by erinacine A-enriched hericium erinaceus mycelia pilot double-blind placebo-controlled study. Front. Aging Neurosci. – 2020; 12:155. doi: 10.3389/fnagi.2020.00155.
18. Айкешев Б.М. Лекарственные свойства Hericium erinaceus / Б.М. Айкешев, А. Арыстанбай, 2021. – С. 3-5.
19. Okamura H., Anno N., Tsuda A., Inokuchi T., Uchimura N., Inanaga K. The effects of Hericium erinaceus (Amyloban® 3399) on sleep quality and subjective well-being among female undergraduate students: a pilot study. Personalized Medicine Universe. – 2015. – № 4. – pp.76-78.
20. Chen SN, Chang CS, Yang MF, Chen S, Soni M, Mahadevan B. Subchronic toxicity and genotoxicity studies of Hericium erinaceus β -glucan extract preparation. Curr Res Toxicol. 2022 Mar 11; 3:100068. – doi: 10.1016/j.crttox.2022.
21. Krzyczkowski W., Malinowska E., Herold F. Erinacine A biosynthesis in submerged cultivation of Hericium erinaceum: quantification and improved cultivation. Engineering in Life Sciences 2010. – 10: I: 5: 446-457.
22. Ершов П.С. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия, 2010. – 43 с.
23. Косолапов В.М., Чуйков В.А., Худякова Х.К., Косолапова В.Г. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография. – Москва: ООО «Угрешская типография», 2019. Фотометрический метод определения магния. – С. 200-202; пробоподготовка. – С. 165-166.

Статья поступила в редакцию 07.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 664.959.5:504.064.45

EDN: CEFNGT

**ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ-ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИПИДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 8234-9552

AuthorID: 730572

ORCID: 0000-0002-2254-1452

ResearcherID: ACZ-4992-2022

ScopusID: 57226783594

ВАСИЛЬЕВА Жанна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Экология и техносферная безопасность»*Мурманский арктический университет*

(183038, Россия, Мурманск, улица Капитана Егорова, 15, e-mail: kuchugura@mail.ru)

SPIN: 6683-3335

AuthorID: 784082

ORCID: 0000-0002-9222-8437

ResearcherID: HTP-8131-2023

ScopusID: 57218917591

ПЕТРОВ Борис Федорович, кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры «Технологии пищевых производств»*Мурманский арктический университет*

(183038, Россия, Мурманск, улица Капитана Егорова, 15, e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru)

SPIN: 4349-9732

AuthorID: 1256436

ORCID: 0009-0009-7886-6625

ResearcherID: KYR-7287-2024

ПЕТРОВА Виктория Николаевна, аспирант*Мурманский арктический университет*

(183038, Россия, Мурманск, улица Капитана Егорова, 15, e-mail: vkurkotilo@yandex.ru)

Аннотация. Рациональное использование липидсодержащих отходов, образующихся при разделке водных биоресурсов, является актуальной задачей рыбной отрасли. Указанные отходы могут быть использованы для получения жира богатого полиненасыщенными жирными кислотами, жирорастворимыми витаминами и другими биологически активными веществами. В зависимости от содержания продуктов окислительной и гидролитической порчи выделенный жир может быть использован для пищевых, кормовых или технических целей. Существуют различные способы выделения жира из липидсодержащего сырья. Наиболее перспективным считается ферментативный способ, который позволяет максимально сохранить качество выделяемого жира. Однако данный способ обеспечивает только 75-76 % выхода жира. Для повышения эффективности извлечения жира предлагается подвергать сырье предварительной обработке электромагнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ-обработка). Целью работы являлось совершенствования ферментативной технологии переработки липидсодержащих отходов рыбной промышленности путем применения предварительной СВЧ-обработки сырья. В работе использовались органолептические, физические, химические и математические методы исследования. Установлено, что предварительная СВЧ-обработка способствует разрушению белковых молекул и обеспечивает более эффективное высвобождение жира во время ферментативного гидролиза сырья. Выделенный жир по органолептическим, физическим и химическим показателям является пищевым рыбным жиром. Содержание полиненасыщенных жирных кислот группы Омега-3 в рыбном жире составляет 38,26 %, в т.ч. незаменимых жирных кислот (линолевая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая) – 29,81 %. Наличие СВЧ-обработки сырья не оказывает негативного влияния на качество выделяемого жира. Выход жира составляет 89 %. Таким образом, предварительная СВЧ-обработка сырья позволяет повысить выход жира на 13-14 % при сохранении его качества. Оптимальный режим СВЧ-обработки: мощность 300 Вт, продолжительность 60 с. Кроме того, СВЧ-обработка сырья снижает минимальную дозу ферментного препарата, необходимую для эффективного гидролиза белков субстрата, с 0,2 до 0,15 г/кг сырья при сохранении продолжительности процесса 60 мин. По результатам исследования рекомендовано использовать предварительную СВЧ-обработку липидсодержащего сырья для повышения эффективности ферментативного способа выделения рыбного жира.

Ключевые слова: рыбные отходы, СВЧ-обработка, ферментативный гидролиз, рыбный жир, показатели качества, полиненасыщенные жирные кислоты.

APPLICATION OF MICROWAVE TREATMENT OF RAW MATERIALS FOR IMPROVEMENT OF PROCESSING TECHNOLOGY OF LIPID-CONTAINING WASTES OF FISH INDUSTRY

© The Author(s) 2024

VASILEVA Zhanna Vyacheslavovna, candidate of technical sciences, associate professor,
head of the Department "Ecology and Techno-sphere Safety"

Murmansk Arctic University

(183038, Russia, Murmansk, street Kapitana Egorova 15, e-mail: kuchugura@mail.ru)

PETROV Boris Fedorovich, candidate of technical sciences, associate professor,
professor of the Department "Food production technologies"

Murmansk Arctic University

(183038, Russia, Murmansk, street Kapitana Egorova 15, e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru)

PETROVA Victoria Nikolaevna, post-graduate student

Murmansk Arctic University

(183038, Russia, Murmansk, street Kapitana Egorova 15, e-mail: vkurkotilo@yandex.ru)

Abstract. The rational use of lipid-containing waste generated during the cutting of aquatic biological resources is an urgent task of the fishing industry. Said wastes can be used to obtain fat rich in polyunsaturated fatty acids, fat-soluble vitamins and other biologically active substances. Depending on the content of products of oxidative and hydrolytic spoilage, the isolated fat can be used for food, feed or technical purposes. There are various methods for recovering fat from a lipid-containing feedstock. The most promising is the enzymatic method, which allows you to maximize the quality of the released fat. However, this method provides only 75-76 % fat yield. To increase efficiency of fat extraction, it is proposed to subject raw materials to preliminary treatment with an ultrahigh frequency electromagnetic field (microwave treatment). The aim of the work was to improve the enzymatic technology for processing lipid-containing waste from the fishing industry by using microwave pretreatment of raw materials. Organoleptic, physical, chemical and mathematical research methods were used in the work. It was found that preliminary microwave treatment promotes the destruction of protein molecules and provides more efficient fat release during enzymatic hydrolysis of the raw material. Isolated fat is food fish oil in organoleptic, physical and chemical indicators. The content of polyunsaturated fatty acids of the Omega-3 group in fish oil is 38.26 %, including essential fatty acids (linoleic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic) – 29.81 %. The presence of microwave processing of raw materials does not negatively affect the quality of the released fat. The fat yield is 89 %. Thus, preliminary microwave treatment of raw materials allows to increase fat yield by 13-14 % while maintaining its quality. Optimal mode of microwave treatment: power 300 W, duration 60 s. Besides, microwave treatment of raw materials reduces the minimum dose of the enzyme preparation required for effective hydrolysis of substrate proteins from 0.2 to 0.15 g/kg of raw materials while maintaining the duration of the process 60 minutes. According to the results of the study, it is recommended to use preliminary microwave treatment of lipid-containing raw materials to increase the efficiency of the enzymatic method of fish oil extraction.

Keywords: fish waste, microwave treatment, enzymic hydrolysis, fish oil, quality characteristics, polyunsaturated fatty acids

Для цитирования: Васильева Ж.В. Применение СВЧ-обработки сырья для совершенствования технологии переработки липидсодержащих отходов рыбной промышленности / Ж.В. Васильева, Б.Ф. Петров, В.Н. Петрова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 111-116. – EDN: CEFNGT.

Введение. Внедрение безотходных технологий переработки гидробионтов является важной задачей рыбной отрасли. Принятая в Российской Федерации Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса до 2030 года ставит перед рыбопромышленниками задачу снижения количества неперерабатываемых отходов производства. Актуальным является разработка технологий, которые предусматривали бы комплексную переработку сырья, в т.ч. рациональное использование образующихся отходов [1].

В частности, отходы от разделки гидробионтов могут быть использованы для извлечения жира, поскольку могут содержать значительное количество липидов [2,3]. Известно, что рыбные жиры являются уникальным источником ряда биологически активных веществ. В первую очередь, это полиненасыщенные жирные кислоты, в т.ч. Омега-3 жирные

кислоты. Данные кислоты отсутствуют в жирах растительного происхождения и наземных животных [4,5]. Рыбные жиры находят применение в различных направлениях. Высокая биологическая ценность позволяет использовать их в пищевых целях. Например, в виде капсулированного пищевого концентрата полиненасыщенных жирных кислот или биологически активной добавки к пищевому продукту [6-8]. Рыбные жиры также могут быть использованы в сельском хозяйстве в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Это позволяет повысить питательную ценность кормов и нормализует обменные процессы у животных. Низкосортные рыбные жиры могут быть использованы в различных технических направлениях. Например, благодаря наличию в своем составе полиненасыщенных жирных кислот такие жиры способны быть

основой для получения уникальных поверхностно-активных и пленкообразующих веществ. Указанные вещества находят применение в строительной, горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, лакокрасочной и других отраслях промышленности. Также есть исследования, подтверждающие возможность использования рыбных жиров и их производных в качестве биодизельного топлива и альтернативы мазуту в котельных [9-16]. Направления использования рыбного жира зависят от содержания в нём продуктов окислительной и гидролитической порчи, а также степени очистки от сопутствующих примесей.

Проведенные ранее исследования позволили предложить перспективную технологию извлечения рыбного жира, основанную на ферментативном гидролизе липидсодержащих отходов рыбной промышленности с последующим отделением жировой фракции от водно-белковой [17]. Под воздействием протеолитических препаратов происходит разрушение протеиновой структуры, что способствует более эффективному выделению жира из тканей сырья. По сравнению с тепловым способом предложенная технология позволяет не только повысить выход целевого продукта, но способствует получению рыбного жира более высокого качества. Твёрдую фракцию после отделения жира предлагается использовать на кормовые цели, а водно-белковую фракцию – рассматривать в качестве белкового гидролизата.

Целесообразно рассмотреть возможность совершенствования указанной технологии с целью повышения эффективности извлечения жира при сохранении его качественных показателей и биологической ценности. Известно, что любое пищевое сырьё с электрофизической точки зрения можно рассматривать как неидеальный диэлектрик, поскольку оно содержит белки, жиры, углеводы и воду. Поэтому в пищевой промышленности для интенсификации процесса выделения жира используется способ, предусматривающий воздействие на сырьё электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ-энергии) [18, 19]. СВЧ-энергия способствует поляризации дипольных молекул воды. В результате происходит преобразование электромагнитных колебаний в тепловую энергию и объёмный нагрев материала [20]. Также наблюдаются механические колебания структурных капилляров, что приводит к нарушению целостности мембран клеток обрабатываемого объекта [21]. В результате происходит разрушение клеточной структуры биоматериала и выделение целевого компонента – жира [22]. Отмечено, что после СВЧ-обработки ферментализация белковых молекул протекает более интенсивно. По-видимому, это связано с разрушением вторичной и третичной структур белка и повышением доступности для ферментов пептидных связей [23]. Благодаря кратковременности СВЧ-обработки удаётся сохранить большую часть полиненасыщенных жирных кислот. Также при этом не наблюдается

усиление окислительных процессов в жире [24].

Целью работы являлось совершенствование ферментативной технологии переработки липидсодержащих отходов рыбной промышленности путем применения предварительной СВЧ-обработки сырья.

Методология. Рыбный жир получали путем обработки отходов от разделки сельди атлантической. Перед обработкой отходы подвергали измельчению.

Процесс извлечения жира предусматривал предварительную СВЧ обработку измельченного сырья, затем ферментативный гидролиз его белковой структуры с помощью протеолитического препарата Протосубтилин ГЗх по ГОСТ 23636-90, кратковременный нагрев для инактивации фермента и центрифугирование с целью отделения жировой фракции от водно-белковой. По результатам эксперимента оценивали выход жира, его качественные показатели и жирнокислотный состав. Параллельно осуществляли извлечение жира без предварительной СВЧ-обработки сырья по ранее разработанной технологии [17] и сравнивали полученные результаты.

Химический состав сырья и качественные показатели жира определяли стандартными методами по ГОСТ 7636-85 и ГОСТ 7631-2008; жирнокислотный состав липидов устанавливали методом газовой хроматографии по ГОСТ 31663-2012.

Определение оптимальных параметров процесса выделения жира осуществляли с помощью центрального композиционного планирования эксперимента [25,26]. В качестве влияющих факторов рассматривали продолжительность процесса ферментализации (x_1) и дозу ферментного препарата (x_2). Частными откликами процесса являлись: кислотное число (гидролитические изменения), перекисное число (окислительные процессы) и выход жира. Перечисленные отклики позволяли оценить качественную характеристику целевого продукта и эффективность процесса извлечения жира. Значения частных откликов пересчитывались в безразмерный обобщенный показатель, который выступал в роли параметра оптимизации (Y) математической модели [17, 27].

Для СВЧ-обработки сырья использовалась микроволновая печь *Samsung ME81KRW-3* с биокерамическим внутренним покрытием, внутренним объемом камеры – 23 л, мощностью излучателя – 800 Вт, количеством ступеней мощности – 7.

Результаты. Анализ химического состава исследуемых отходов показал, что они в среднем содержат: (66,9±0,2) % воды, (15,7±0,1) % липидов, (14,7±0,3) % белка, (2,7±0,3) % минеральных веществ. Значительное содержание липидов (порядка 15...16 %) свидетельствует о целесообразности использования данного сырья для извлечения жира [17].

Режим СВЧ-обработки сырья варьировали в пределах значения мощности от 100 до 500 Вт, продолжительность обработки – от 30 до 90 с.

С учетом ранее полученных результатов [17] были определены условия проведения про-

цесса ферментативного гидролиза сырья. Дозу протеолитического препарата принимали 0,2 г/кг сырья. Продолжительность процесса варьировали от 30 до 90 мин. Для обеспечения активности протеолитического препарата температуру реакционной смеси поддерживали в пределах $(45 \pm 1)^\circ\text{C}$, pH среды была нейтральная.

После заданного времени останавливали процесс гидролиза путем инактивации катализатора. Для этого смесь нагревали до 90°C и выдерживали при данной температуре в течение 5 мин.

По окончании гидролиза сырья требовалось отделить жир от белково-водной фракции. С этой целью производили центрифугирование реакционной смеси. Режим центрифугирования устанавливали с учетом эффективности разделения фаз разной плотности: 4000 об/мин в течение 30 мин.

При поиске наилучших условий выделения жира стремились обеспечить максимальный выход целевого компонента из липидсодержащего сырья при сохранении его качественных показателей.

Оптимальным признан режим СВЧ-обработки сырья: мощность 300 Вт, продолжительность обработки 60 с. При данном режиме удалось получить максимальный выход жира – 88,8 %. Выделенный жир по содержанию продуктов гидролиза и окисления

соответствовал пищевому рыбному жиру. Кислотное число жира составило 2,6 мгКОН/г, перекисное число – 1,2 моль активного кислорода / кг. Это не превышает допустимые значения согласно ТР ТС 021/2011.

С целью уточнения режимов гидролиза сырья, подвергнутого СВЧ-обработке, исследовали влияние продолжительности процесса (x_1) и дозы протеолитического препарата (x_2) на обобщенный параметр оптимизации (Y). Продолжительность процесса варьировали от 30 до 90 мин, дозу протеолитического препарата – от 0,10 до 0,2 г/кг сырья. Температуру реакционной смеси поддерживали в пределах $(45 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Режим СВЧ-обработки сырья во всех опытах составлял: мощность 300 Вт, продолжительность 60 с.

Обработка результатов эксперимента позволила получить математическую модель (1), адекватно описывающую процесс ферментативного гидролиза липидсодержащего сырья с предварительной СВЧ-обработкой:

$$y = 3,49 - 0,563x_1 - 17,4667x_2 + 0,0003x_1^2 + 0,1033x_1x_2 + 32x_2^2. \quad (1)$$

На рисунке 1 представлена графическая визуализация математической модели исследованного процесса.

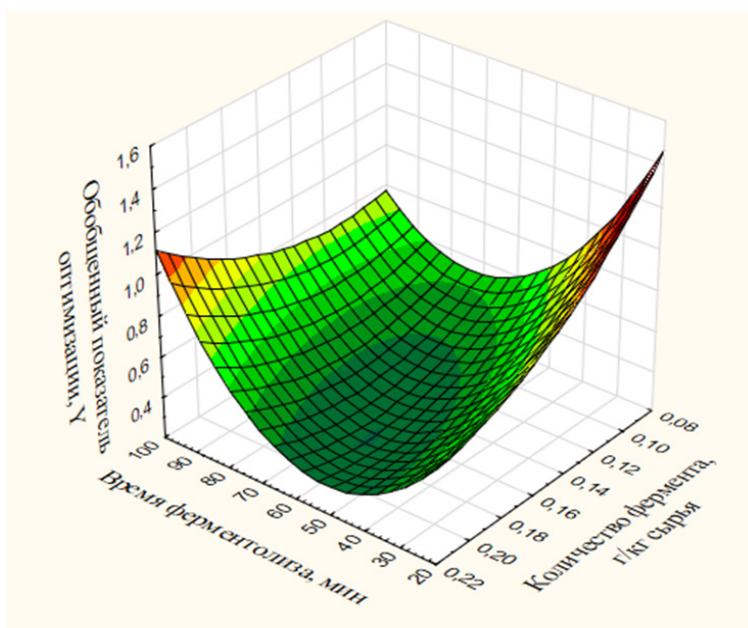


Рисунок 1 – Графическая визуализация математической модели ферментации липидсодержащего сырья с предварительной СВЧ-обработкой

Анализ математической модели позволил выявить оптимальные условия процесса гидролиза сырья, подвергнутого СВЧ-обработке. Оптимальная продолжительность процесса составляет 60 мин, оптимальная доза протеолитического препарата – 0,15 г/кг сырья. Выход жира при указанных условиях составляет 89,4 %.

С целью оценки влияния СВЧ-обработки на выход жира параллельно проводили процесс

гидролиза без предварительной СВЧ-обработки сырья. Оптимальные режимы процесса принимали в соответствии с ранее полученными результатами [17]. Продолжительность процесса гидролиза составляла 60 мин, доза протеолитического препарата – 0,2 г/кг сырья. Выход жира при указанных условиях составил 75,8 %.

Полученные после гидролиза и разделения фракций рыбные жиры из сырья с предварительной СВЧ-обработкой и без СВЧ-обработки исследовали на

органолептические, физико-химические и химические показатели. Результаты представлены в таблице 1. Сравнение полученных результатов позволило оценить влияние СВЧ-обработки на качество и биологическую ценность выделяемых жиров.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что предварительная СВЧ-обработка сырья не оказывает существенного воздействия на качество выделяемого жира и его жирнокислотный состав.

Таблица 1 – Показатели качества и жирнокислотный состав образцов рыбного жира

Наименование показателя	Жир, выделенный с использованием СВЧ-обработки сырья (опытный образец)	Жир, выделенный без использования СВЧ-обработки сырья (контрольный образец)
Запах	Свойственный рыбному жиру	Свойственный рыбному жиру
Цвет	Светло-желтый	Светло-желтый
Прозрачность	Прозрачный	Прозрачный
Кислотное число, мгКОН/г	2,3	2,2
Перекисное число, моль активного кислорода/кг	0,7	0,6
Йодное число, г/100г	169	168
Альдегидное число, мг % коричневого альдегида	8,9	8,8
Число омыления, мг КОН/г	185	185
Массовая доля неомыляемых веществ, %	1,8	1,9
Массовая доля примесей нежирового характера, %	0,18	0,19
Массовая доля жирных кислот, %:		
насыщенных	24,80	25,78
мононенасыщенных	35,63	36,14
полиненасыщенных	39,57	38,07
Массовая доля полиненасыщенных жирных кислот		
Омега-3, %	38,26	36,72
в т.ч. сумма незаменимых жирных кислот (линолевая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая), %	29,81	28,31

Обсуждение. Изучение влияния предварительной СВЧ-обработки липидсодержащих рыбных отходов на выход жира при их ферментализации показало, что данная обработка способствует увеличению выхода жира на 13,6% при сохранении его качества.

По органолептическим показателям (запах, цвет, прозрачность), содержанию неомыляемых веществ и примесей нежирового характера выделенный жир соответствует требованиям к пищевому рыбному жиру по ГОСТ 8714-2014.

По показателям «кислотное число» и «перекисное число» извлекаемый жир соответствует требованиям ТР ТС 021/2011.

Благодаря кратковременности воздействия СВЧ-обработка сырья не оказывает влияния на жирнокислотный состав выделяемого жира. По содержанию полиненасыщенных жирных кислот полученный жир сопоставим с жиром, выделенным из сырья без предварительной СВЧ-обработки.

Также следует отметить, что гидролиз протеиновой структуры сырья, подвергнутого СВЧ-обработке, протекает более эффективно, что позволяет сократить дозу ферментного препарата без увеличения продолжительности процесса.

Полученные результаты подтверждают ранее сделанные рядом исследователей выводы о влиянии СВЧ-обработки на пищевое сырье: объемный нагрев [20] и акустической деформации мембран клеток [21] под воздействием СВЧ-поля приводят к разрушению белковой структуры [22], белковые молекулы становятся более биодоступными для

протеолитических ферментов [23], что способствует более полному выделению жира при ферментализации сырья; СВЧ-обработка благодаря кратковременности воздействия сохраняет Омега-3 жирные кислоты и не приводит к увеличению содержания в жире продуктов окисления [24].

Выводы. Проведенные исследования позволяют рекомендовать предварительную СВЧ-обработку липидсодержащих рыбных отходов перед ферментализацией с целью более полного извлечения жира. Оптимальный режим СВЧ-обработки сырья: мощность 300 Вт, продолжительность 60 с. Выход жира составляет 89,4 % от его содержания в сырье.

Выделенный жир по исследованным показателям может быть отнесен к пищевому рыбному жиру. При этом содержание в продукте Омега-3 жирных кислот составляет 38,26%, в т.ч. незаменимых жирных кислот (линолевая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая) – 29,81%.

СВЧ-обработка сырья за счет изменения его протеиновой структуры позволяет снизить эффективную дозу протеолитического препарата с 0,2 до 0,15 г/кг сырья при сохранении оптимальной продолжительности процесса 60 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ридигер А.В. Освоение водных биоресурсов в Арктических условиях и рациональная переработка отходов – в хозяйственной деятельности КМНС // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2021. – № 3 (7). – С. 38-43.
2. Петрова И.Б., Клименко А.И. Комплексная переработка отходов рыбоперерабатывающих производств: обзор //

Молодой ученый. – 2012. – № 9 (44). – С. 61-63.

3. Hossain Kh.Z. Oil quality of by-products of marine fish during processing methods // Journal of Aquaculture and Marine Biology. – 2022. – Vol. 11. – Iss. 3. – Pp. 135-137.

4. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность. – 1976. – 470 с.

5. Hu Zh., Chin Ya., Liu J., Zhou J., Li G., Hu L., Hu Ya. Optimization of fish oil extraction from lophius litulon liver and fatty acid composition analysis // Fisheries and Aquatic Sciences. – 2022. – Vol. 25. – Iss. 2. – P. 76-89.

6. Боева Н.П., Петрова М.С., Артёмов А.Г., Баскакова Ю.А. Новые подходы к технологии пищевого рыбного жира из голов лососевых рыб рода *Oncorhynchus* // Труды ВНИРО. – 2015. – № 158. – С. 162-166.

7. Carlos Solomando Ju., Vázquez F., Antequera T., Folgado C., Perez-Palacios T. Addition of fish oil microcapsules to meat products – implications for omega-3 enrichment and salt reduction // Journal of Functional Foods. – 2023. – Vol. 105. – P. 105575.

8. Maharani D., Anggo A.D., Suharto S., Arifin M.H., Amalia U. Characteristics and omega-3 content of Tilapia sausage substituted with mackerel fish (*Rastrelliger kanagurta*) oil // Journal of Advances in Food Science & Technology. – 2023. – Vol. 10. – Iss. 3. – P. 34-42.

9. Hadadi M., Alamouti A.A., Mohammadi-Sangcheshmeh A., Alizadeh A. A two-step feeding of calcium salts of fish oil improves reproductive performance in holstein cows // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2021. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. e0607.

10. Мотылева Т.А., Петров Б.Ф., Деркач С.Р., Берестова Г.И. [и др.]. Использование рыбного жира в качестве поверхностно-активных веществ в технологических процессах // Вестник МГТУ. 2012. – Т. 15. – № 1. – С. 54-57.

11. Штым К.А., Лесных А.В., Цой К.А. Опыт применения в котельных установках рыбьего жира в качестве альтернативного жидкого топлива // Энергетик. – 2015. – № 2. – С. 22-23.

12. Василевич В.В., Силин М.А., Губанов В.Б., Мухин М.М. Эмульгаторы на основе рыбных жиров для повышения нефтеотдачи пласта // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2018. – № 2(291). – С. 107-117.

13. Nguyen T.N., Khoa N.X., Tuan L.A. The correlation of biodiesel blends with the common rail diesel engine's performance and emission characteristics // Energies. – 2021. – Vol. 14. – Iss. 11. – Article number: 2986.

14. Valentini M.H.K., Duarte V.H., Nadaleti W.C., Vieira B.M. Fish oil mixed to castor oil for biodiesel production: anti-oxidant effects and renewable energy generation // International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022. – Vol. 13. – Iss. 1. – P. 57-65.

15. Zhila N.O., Sapozhnikova K.Yu., Kiselev E.G., Shishatskaya E.I., Volova T.G. Synthesis and properties of polyhydroxyalkanoates on waste fish oil from the production of canned sprats // Processes. – 2023. – Vol. 11. – Iss. 7. – P. 2113.

16. Tayib Ya.M., Al-Sheikh F., Shakor Z.M., Anderson W.A. Biodiesel production from fish oil: a review // Biofuels. – 2024. – Vol. 15. – Iss. 1. – P. 115-128.

17. Куркотило В.Н., Васильева Ж.В. Ресурсосберегающая технология переработки липидосодержащих отходов рыбной промышленности // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 3. – С. 609-618.

18. Вечтомова Е.А., Козлова О.В., Орлова М.М. Оценка методов получения топлёных животных жиров // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 4. – С. 797-806.

19. Poruchikov D., Samarin G., Vasilyev A., Ershova I., Normova T., Aleksandrova G.A., et al. UHF device introduction for animal raw material processing // Helix – The Scientific Explorer. – 2020. – Vol. 10, Iss. 3. – Pp. 64-68.

20. Воробьев В.В. Научно-практические основы создания эффективных технологий производства высококачественных продуктов из гидробионтов с использованием электромагнитного поля СВЧ: автореф. дис. ...д-ра техн. наук. М., 2005. – 54 с.

21. Тигранян Р.Э. Вопросы электромагнитобиологии: монография. М.: Физматлит, 2009. – 347 с.

22. Жданкин Г.В., Самodelкин А.Г. Новикова Г.В., Белова М.В., Горбунов Б.И. Микроволновая технология извлечения жира из жиродержащего сырья: пат. 2636155

Рос. Федерация. Заявл. 20.12.2016; опубл. 21.11.2017, Бюл. № 33. – 11 с.

23. Deng X, Huang H, Huang S, Yang M, Wu J, Ci Z, He Y, Wu Z, Han L and Zhang D Insight into the incredible effects of microwave heating: Driving changes in the structure, properties and functions of macromolecular nutrients in novel food: review article //Frontiers in Nutrition. Sec. Nutrition and Food Science Technology. – 2022. – Vol. 9:941527. doi: 10.3389/fnut.2022.941527.

24. Domiszewski Z., Bienkiewicz G., Plust D. Effects of different heat treatments on lipid quality of striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*) // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. – 2011. – Vol. 10, Iss. 3. – P. 359-373.

25. Адлер Ю.П., Маркова Е.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – С. 32-47.

26. Толмачева И.И. Планирование эксперимента типа 2к и проведение регрессионного анализа // Наукосфера. – 2024. – № 1(2). – С. 207-214.

27. Шафрай А.В., Вечтомова Е.А., Косинов В.С. Моделирование биокаталитического извлечения липидов методами машинного обучения // Все о мясе. – 2024. – № 2. – С. 57-64.

Статья публикуется в рамках НИОКР ФГОАУ ВО «МАУ» № 124041100087-0 «Мониторинг антропогенного воздействия на экосистемы и разработка подходов, технологий и материалов восстановления и сохранения природных сред в условиях Арктического региона»

Статья поступила в редакцию 20.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 614.841

EDN: QVXKWS

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ
АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 5637-8461

AuthorID: 18265

ORCID: 0000-0001-7234-1339

ResearcherID: U-2907-2019

ScopusID: 7003537835

ПУЗАЧ Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой инженерной теплофизики и гидравлики
Академия государственной противопожарной службы МЧС России
(129366, Россия, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

SPIN: 4219-4764

AuthorID: 1196768

ORCID: 0009-0002-4402-3696

ВИТОВЩИК Евгений Владимирович, инженер пожарной безопасности, соискатель

Академия государственной противопожарной службы МЧС России
(129366, Россия, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: info@fireroom.ru)

ORCID: 0009-0002-8219-8745

ВОРОБЬЕВ Николай Сергеевич, заместитель начальника службы пожаротушения ФПС ГПС

Главное управление МЧС России по Калужской области
(248000, Россия, Калуга, ул. Кирова, д. 9а; e-mail: nicolas.inbox@mail.ru)

Аннотация. Выполнен анализ степени разработки устройств для тушения пожара с помощью акустических волн. Показано, что воздействие звукового поля оказывает существенное влияние на процесс горения и требует дальнейшего изучения. Разработан экспериментальный стенд, включающий генератор акустических волн и различные виды модельных источников пламени с малой тепловой мощностью, таких как, парафиновая свеча и газовая конфорка с рассекателем и без него. Получены опытные данные по частотам звуковых волн, при которых прекращается горение, а также начинаются колебания пламени. Использованы два способа подачи частотных акустических колебаний на установившееся пламя: постепенное каскадное увеличение частоты и подача звукового сигнала заданной частоты. Проведен анализ экспериментальных данных по влиянию расстояния между акустическим волноводом и пламенем на частоту звуковых волн, при которых прекращается горение. Обнаружено, что тушение пламени при рассмотренных способах подачи звуковых волн происходит в практически одинаковом диапазоне частот 29÷37 Гц при различных расстояниях между акустически волноводом и пламенем. Анализ экспериментальных данных показал, что существенное влияние на прекращение горения модельных маломощных источников пламени оказывают частотные характеристики и способы подачи звукового сигнала, расстояние между генератором акустических волн и пламенем, а также угол между осью акустического волновода и направлением на источник пламени.

Ключевые слова: горение; тушение пожара; звуковая волна; генератор частотных сигналов; акустический волновод; частота звука.

**EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF A FIRE EXTINGUISHING METHOD
USING ACOUSTIC VIBRATIONS**

© Author(s) 2024

PUZACH Sergey Viktorovich, doctor of technical sciences, professor,
head of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics
Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
(129366, Russia, Moscow, Boris Galushkin str., 4, e-mail: puzachsv@mail.ru)

VITOVSHCHIK Evgeny Vladimirovich, fire safety engineer, applicant
Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
(129366, Russia, Moscow, Boris Galushkin str., 4, e-mail: info@fireroom.ru)

VOROBYOV Nikolay Sergeevich, deputy head of the fire extinguishing service FPS GPS
The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the Kaluga Region
(248000, Russia, Kaluga, Kirova str., 9a, e-mail: nicolas.inbox@mail.ru)

Abstract. The analysis of the degree of development of fire extinguishing devices using acoustic waves is carried out. It is shown that the effect of the sound field has a significant influence on the combustion process and requires further study. An experimental stand has been developed, including an acoustic wave generator and various types of model fla-

me sources with low thermal power, such as a paraffin candle and a gas burner with and without a divider. Experimental data have been obtained on the frequencies of sound waves at which burning stops and flame fluctuations begin. Two methods of applying frequency acoustic vibrations to a steady flame are used: a gradual cascading increase in frequency and the supply of an audio signal of a given frequency. The analysis of experimental data on the effect of the distance between the acoustic waveguide and the flame on the frequency of sound waves at which burning stops is carried out. It was found that flame extinguishing with the considered methods of supplying sound waves occurs in an almost identical frequency range of 29-37 Hz at different distances between the acoustically waveguide and the flame. The analysis of experimental data showed that frequency characteristics and methods of sound signal delivery, the distance between the acoustic wave generator and the flame, as well as the angle between the axis of the acoustic waveguide and the direction to the flame source have a significant effect on the termination of combustion of model low-power flame sources.

Keywords: combustion; fire extinguishing; sound wave; frequency signal generator; acoustic waveguide; sound frequency.

Для цитирования: Пузач С.В. Экспериментальное обоснование способа тушения пожара с помощью акустических колебаний / С.В. Пузач, Е.В. Витовщик, Н.С. Воробьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 117-126. – EDN: QVXKWS.

Введение. Традиционные методы пожаротушения основаны на исключении (изолировании) подачи кислорода в зону горения. К наиболее распространенным на сегодня относятся: вода, порошок, пена, аэрозоль, углекислота. Несмотря на свою доказанную эффективность в борьбе с огнем, после применения они зачастую представляют серьезные повреждения объектам, не тронутым пламенем и расположенным в непосредственной близости с зоной пожара.

Большинство из перечисленных здесь огнетушащих веществ имеют негативное влияние на окружающую среду с экологической точки зрения. Вместе с тем, нормативными документами по пожарной безопасности установлено, что запуск автоматических установок пожаротушения должен осуществляться после того, как люди покинут защищаемое помещение. Таким образом, время свободного развития пожара увеличивается на время задержки запуска автоматических систем пожаротушения, необходимого для завершения процесса эвакуации людей.

Кроме этого, некоторые современные огнетушащие вещества не могут применяться для защищаемых помещений с массовым пребыванием людей, или в помещениях, которые не могут быть покинуты людьми до начала работы установок, поскольку являются опасными для здоровья при вдыхании, например, углекислоты, аэрозолей и порошков.

В свою очередь, порошки, аэрозоли и тонко-распылённая вода могут формировать на путях эвакуации туман, способный снижать потерю видимости и затруднять движение людей. По этим причинам, сегодня, пожарные специалисты находятся в поиске новых методов и способов тушения. Изучение влияния внешних факторов на процесс горения и, как следствие, целенаправленное воздействие этими факторами на пламя или зону горения, управление режимами горения составляют основополагающую техническую задачу пожарного дела, способствующую развитию технологий обнаружения и тушения пожаров. При этом особое

внимание уделяется минимизации ущерба от воздействия огнетушащих веществ.

Современные исследования показали, что тушение огня возможно осуществить при помощи акустических волн [1]. Воздействие акустических колебаний на развитие пламени в настоящее время является одним из малоизученных направлений при обеспечении пожарной безопасности.

Принцип работы устройств для тушения пожара с помощью акустических волн заключается в дестабилизации химической реакции горения. Газовая турбулентность в результате переменных акустических давлений нарушает непрерывность пламенного горения и приводит к его угасанию [2, 3].

Исследование воздействия акустических волн на пламя в закрытых и полукрытых трубах – волноводах, заполненных газообразными смесями представлено в работе [4]. Рассмотрено влияние на динамику горения собственного акустического поля, создаваемого пламенем. Определена эволюция площади поверхности фронта пламени в каналах различной длины, заполненных водородно-кислородной смесью. Отмечено снижение средней скорости распространения пламени на 30% в присутствии внешнего ультразвукового поля.

Принцип работы волновода заключается в усилении акустических волн в результате акустического резонанса. Этот резонанс возникает при отражении акустической волны внутри волновода. На определенной частоте, называемой резонансной частотой, возникает стоячая волна, порождаемая в результате интерференции двух одинаковых волн.

Минимальные длины волн для резонансного явления различны и зависят от вида волновода. Они составляют:

$$\lambda_1 = w/4v, \quad (1)$$

$$\lambda_2 = w/2v, \quad (2)$$

где: λ_1 – длина волны в волноводе с закрытым концом, м; λ_2 – длина волны в случае открытого волновода, м; w – скорость звука в воздухе, м/с; v – частота звуковой волны, Гц.

Следует отметить, что длина волны для

возникновения резонансного явления в два раза меньше в волноводе с закрытым концом [5, 6].

Это особенно важно из практических соображений – для низких частот требуется значительная длина волновода. Например, для генерации звуковой волны с частотой 20 Гц, при температуре в 20 °C, $\lambda_1=4,28$ м, тогда как длина $\lambda_2=8,57$ м.

По этой причине предыдущие попытки тушения пожара с акустическими волнами были проведены с закрытым концевым волноводом. Однако эти испытания проводились только с использованием маломощных и малодальнобойных источников акустических колебаний [7, 8]. Такие устройства имели небольшую дальность для подавления пламенного горения и включали небольшую рабочую зону – по этой причине, возникает вопрос о том, что необходимо построить инновационную мощную установку с большим диапазоном, чтобы получить потенциальные возможности рассматриваемого метода пожаротушения [9-13].

Исследование [14] показало существенную зависимость концентрации оксидов азота при диффузионном горении метана от частоты и уровня звукового давления воздействующих акустических колебаний. Отмечено раздвоение факела в частотном диапазоне от 2,5 кГц до 3,5 кГц. Наибольший эффект воздействия на факел показало звуковое поле частотой около 3 кГц. При звуковом давлении 90 дБ на этой частоте концентрация оксидов азота снижалась на 26%, а при 110 дБ уже приблизительно на 48%, соответственно эффективность сгорания топлива повышалась.

В работе [15] продемонстрировано воздействие звука от низкочастотного громкоговорителя с модульным коллиматором, направленного на пламя метановой горелки. Исследование проводилось в частотном диапазоне от 35 до 150 Гц и звуковым давлением от 0,2 Па до 112 Па. Эксперименты показали, что наибольший эффект прекращения горения достигается при частоте 60 Гц. При этом авторы утверждают, что повышение скорости акустических колебаний до определенного порога оказывает более значимое влияние на процесс горения, чем акустическая частота и звуковое давление. Отмечается сложность подавления огня одним громкоговорителем при увеличении площади зоны горения в связи со значительным снижением скорости звуковых колебаний частиц от коллиматора. Увеличение мощности, подаваемой на динамик, приводит к искажению звуковых волн и не приводит к ожидаемому эффекту. По мнению авторов работы [15], для решения этой проблемы требуется задействование нескольких источников звукового сигнала при условии перекрытия акустических полей в зоне горения.

В результате проведения экспериментов с другими горючими отмечено, что акустическое давление для прекращения горения больше зависит от характеристик горючего, чем от площади горения.

В исследовании [16] рассмотрена работа акустического волновода аналогичной конструкции с представленным в [15], но частотный звуковой диапазон выбран от 14 до 90 Гц. Расстояние от коллиматора установки до очага возгорания в эксперименте составило от 0,5 м до 1,3 м, при этом наибольшая эффективность ликвидации пламени отмечена при частоте звуковых колебаний 85 Гц.

Как показывают исследования, успешные испытания по тушению огня проводились с использованием низкочастотных акустических волн [17-20]. Это связано с тем, что эффективность процесса тушения зависит от амплитуды колебания воздуха. Другим параметром, определяющим эффективность пожаротушения, является акустическая мощность.

Таким образом, можно сделать вывод, что воздействие звукового поля однозначно оказывает влияние на процесс горения и требует дальнейшего изучения. Перспектива использования звуковых волн в плане процесса пожаротушения обусловлена:

- отсутствием необходимости создания запаса огнетушащих веществ в привычном понимании;
- отсутствием необходимости введения задержек в сработке систем автоматического пожаротушения, с целью обеспечения возможности безопасной эвакуации людей из горящего помещения;
- отсутствием поступления огнетушащих веществ в помещение очага пожара, на пути эвакуации и в окружающую среду (экологичностью);
- простотой в применении.

Методология. Целью работы является экспериментальное подтверждение возможности тушения пожара с помощью звуковых волн низкой частоты на примере подавления пламенного горения с малой тепловой мощностью.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработан экспериментальный стенд, включающий акустическую установку и источник пламени;
- получены опытные данные по частотам звуковых волн, при которых прекращается горение модельных источников пламени;
- проведен анализ экспериментальных данных по влиянию расстояния между генератором акустических волн и пламенем на частоту звуковых волн, при которых прекращается горение модельных маломощных источников пламени;
- проведен анализ влияния метода подачи частотных акустических колебаний на установившееся пламя от модельного источника горения с увеличением частоты колебаний от 0 Гц с шагом 1 Гц двумя различными способами:

- способ № 1 (постепенное каскадное увеличение частоты): задержка на каждой частоте продолжительностью 2 с;

- способ № 2 (постоянная частота): подача в течение 2 с звукового сигнала заданной частоты с последующей 10 с паузой.

Рассматриваются три модельных очага пламени в

закрытом помещении размерами 2,4×3,5×2,9 м:

- парафиновая свеча диаметром 40 мм (очаг № 1);
- газовая конфорка диаметром 51 мм бытовой газовой плиты «Карпаты-17» модель Е 426 с рассекателем пламени (очаг № 2);
- газовая конфорка диаметром 33 мм бытовой газовой плиты «Карпаты-17» модель Е 426 без

рассекателя пламени (очаг № 3).

Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1, фотографии модельных очагов приведены на рисунке 2.

Обозначения на рисунке 1: r – расстояние между центром источника пламени и акустическим волноводом.

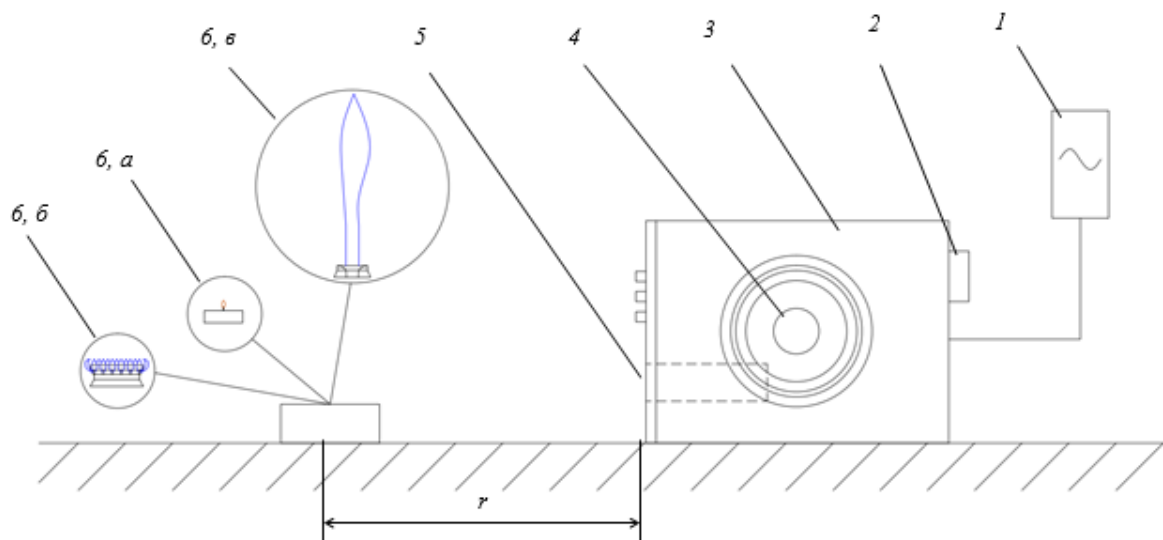


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда:

1 – генератор частотных сигналов; 2 – усилитель сигнала; 3 – акустический сабвуфер;
4 – громкоговоритель; 5 – акустический волновод; 6 – источник пламени
(а – очаг № 1; б – очаг № 2; в – очаг № 3)

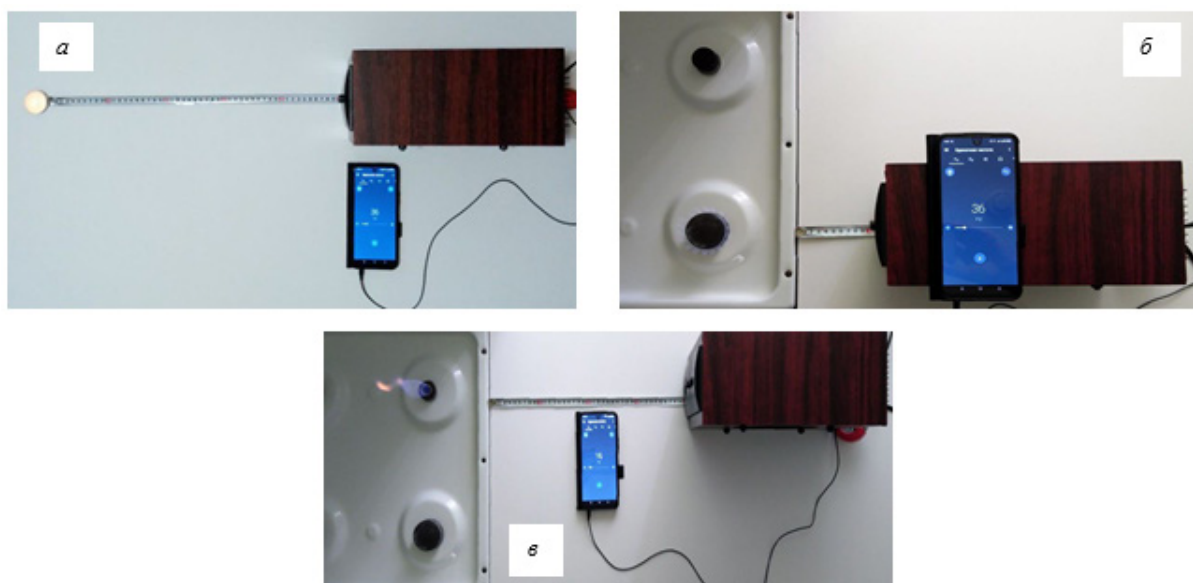


Рисунок 2 – Фотографии экспериментального стенда: а – очаг № 1; б – № 2; в – № 3

Мощность усилителя частотных сигналов равна 15 Вт.

Эксперимент проводится в следующей последовательности.

Создается модельный очаг горения (обозначение (6) на рисунке 1). На заданном расстоянии от очага пламени устанавливается акустический сабвуфер с

усилителем частотных сигналов (3) и направлением акустического волновода (5) на вертикальную ось симметрии пламени (6).

Включается генератор частотных сигналов (1). Задается начальная частота 1 Гц. Включается видеочамера, фиксирующая визуально источник пламени.

С интервалом времени 2 с (при каскадном увеличении частоты) и 10 с (при подаче постоянной частоты) частота звуковых волн увеличивается с шагом 1 Гц. При этом проводится визуальное наблюдение источника пламени. При начале колебаний и затухании пламени фиксируется частота, которая является искомой величиной.

Результаты. Подача частотных акустических колебаний на установившееся пламя от модельного источника горения с увеличением частоты колебаний от 0 Гц с шагом 1 Гц двумя различными способами:

- способ № 1 (постепенное каскадное увеличение частоты): задержка на каждой частоте продолжительностью 2 с;
- способ № 2 (постоянная частота): подача звукового сигнала в течение 2 с заданной частоты с последующей 10 с паузой.

Модельный очаг № 1 – парафиновая свеча. Проведены 2 эксперимента, отличающиеся максимальной величиной расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом, а также значением частоты звуковых колебаний и способом их подачи: при постоянном значении и каскадном наращивании. Максимальное расстояние r , принятое в экспериментах, составляет 3 м.

При способе № 1 расстояние изменяется с шагом 0,1 м. В случае способа № 2 частота звуковых волн увеличивается с шагом 1 Гц.

Экспериментальные зависимости частоты (ν , Гц), при которой начинаются колебания пламени (ν_1 , Гц),

и частоты, при которой происходит прекращение горения (ν_2 , Гц), от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что в случае способа № 1 при расстоянии свыше 0,4 м происходит резкое увеличение частоты, при которой осуществляется прекращение горения: с $\nu_2=15$ Гц до $\nu_2=29\div37$ Гц. После этого до $r=1,6$ м частота колеблется в диапазоне $\nu_2=29\div37$ Гц. При $r>1,6$ м прекращение горения не наблюдалось.

В случае подачи звукового сигнала постоянной частоты на установившийся факел пламени с расстояния 0,5 м (способ № 2), наблюдалось резкое увеличение частоты, при которой осуществлялось прекращение горения с $\nu_2=15$ Гц до $\nu_2=35\div29$ Гц.

Очевидно, что для рассматриваемого модельного очага пламени, метод каскадного наращивания частоты (способ № 1) по сравнению с подачей звуковой волны постоянного значения (способ № 2) является эффективным при решении задачи по тушению. Несмотря на это, оба метода показали единую картину начала колебаний пламени свечи на всем рассмотренном для эксперимента расстоянии в 3 м (кривые 1 и 3, рис. 3).

На рисунке 4 приведена фотография пламени свечи, расположенной на расстоянии $r=0,8$ м при частоте акустических колебаний $\nu=35$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени на данном расстоянии с использованием способа № 1.

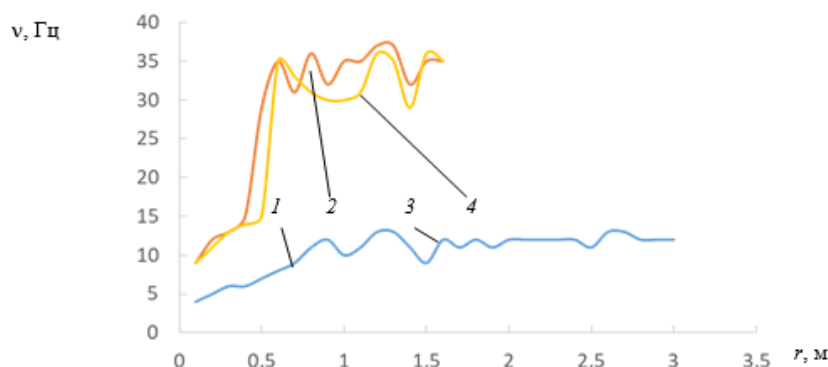


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости характерных частот от расстояния между центром источника пламени (очаг № 1) и акустическим волноводом: способ № 1: 1 – ν_1 ; 2 – ν_2 ; способ № 2: 3 – ν_1 ; 4 – ν_2



Рисунок 4 – Фотография пламени свечи, расположенной на расстоянии $r=0,8$ м от акустического волновода, генерирующего частоту колебаний $\nu=35$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени на данном расстоянии с использованием способа № 1

Из рисунка 4 видно, что срыва пламени из-за движения воздуха, вызванного акустическими колебаниями, не происходит. Поэтому механизм тушения пламени свечи связан с резонансными явлениями, происходящими в пламени.

Модельный очаг № 2 – газовая конфорка с рассекателем пламени. Проведены 2 эксперимента, отличающиеся максимальной величиной расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом, а также значением частоты звуковых колебаний и способом их подачи: при каскадном наращивании (способ № 1) и постоянном значении (способ № 2).

Максимальное расстояние r , принятое в экспериментах, составляет 1,6 м. На каждом расстоянии в 0,1 м, с интервалом времени 2 с (способ № 1) и 10 с (способ № 2) частота звуковых волн увеличивается с шагом 1 Гц.

Экспериментальные зависимости частот, при которых начинаются колебания пламени, и частот, при которых происходит прекращение горения, от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом, представлены на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что при каскадной подаче акустического сигнала на расстояния $r > 0,4$ м тушение пламени не происходит. В случае способа № 2 при подаче на источник пламени постоянных колебаний расстояние, при котором еще происходит тушение, составило 0,6 м. Можно предположить, что такая разница в расстояниях двух проведенных экспериментов зависит не только от методов туше-

ния (каскадное наращивание и постоянная подача частот), но и от сложной структуры модельного очага. Наличие в конфорке рассекателя разделяет пламя на несколько автономных конусов, горение и угасание которых, при их отдельном рассмотрении, не зависит друг от друга.

На рисунке 6 приведена фотография пламени газовой конфорки с рассекателем, расположенной на расстоянии $r=0,3$ м при частоте колебаний $\nu=33$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени на данном расстоянии.

Из рисунка 6 видно, что срыва пламени из-за воздействия акустических колебаний, не происходит. Поэтому механизм тушения пламени газовой конфорки связан с резонансными явлениями, происходящими в пламени.

Вместе с тем, начало колебаний пламени газовой конфорки наблюдалось на всем рассмотренном для эксперимента расстоянии в 1,6 м.

Зависимости времени экспозиции (воздействия) (τ , с) акустических колебаний, в течение которого происходит тушение пламени при частоте тушения в случае способа № 2, от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом и частоты, при которой происходит прекращение горения, представлены в таблице 1.

Зависимость вышеуказанного времени экспозиции от расстояния приведена на рисунке 7.

Из таблицы 1 и рисунка 7 видно, что существует максимум времени экспозиции, что требует проведения дальнейших исследований.

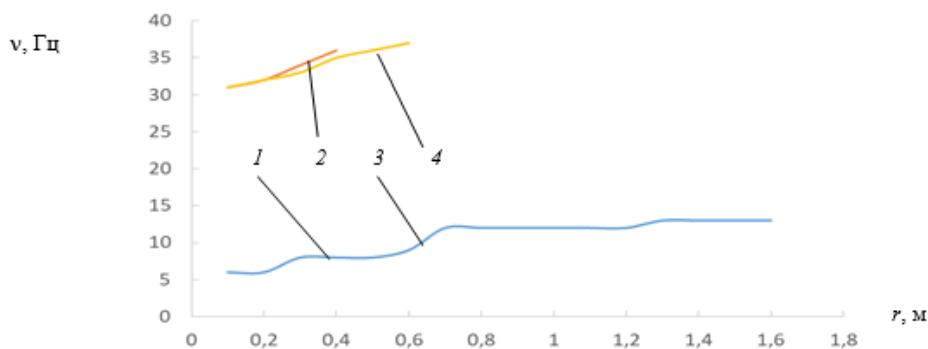


Рисунок 5 – Экспериментальные зависимости характерных частот от расстояния между центром источника пламени (очаг № 2) и акустическим волноводом: способ № 1: 1 – ν_1 ; 2 – ν_2 ; способ № 2: 3 – ν_1 ; 4 – ν_2



Рисунок 6 – Фотография пламени газовой конфорки с рассекателем, расположенной на расстоянии $r=0,3$ м от акустического волновода, генерирующего частоту колебаний $\nu=33$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени (способ № 1) на данном расстоянии

Таблица 1 – Зависимости времени экспозиции акустических колебаний, в течение которого происходит тушение пламени в случае способа № 2, от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом и частоты, при которой происходит прекращение горения

Расстояние, r , м	Частота начала колебания пламени, n	Частота тушения, n	Время экспозиции тушения, t
0,1	6	31	1
0,2	6	32	14
0,3	8	33	17
0,4	8	35	7
0,5	8	36	7
0,6	9	37	5
0,7	12	—	—
0,8	12	—	—
0,9	12	—	—
1	12	—	—
1,1	12	—	—
1,2	12	—	—
1,3	13	—	—
1,4	13	—	—
1,5	13	—	—
1,6	13	—	—

Примечание: — — тушение не происходит

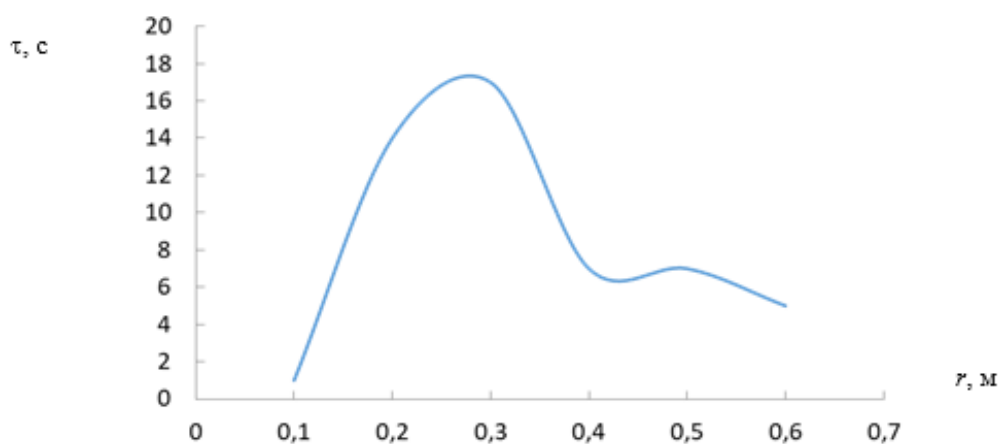


Рисунок 7 – Зависимость экспозиции (воздействия) акустических колебаний, в течение которого происходит тушение пламени при частоте тушения в случае способа № 2, от расстояния между центром источника пламени

Модельный очаг № 3 – газовая конфорка без рассекающего пламени. Проведены 2 эксперимента, отличающиеся максимальной величиной расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом, а также значением частоты звуковых колебаний и способом их подачи.

Максимальное расстояние r ; принятое в экспериментах, составляет 1,8 м. На каждом расстоянии в 0,1 м, с интервалом времени 2 с (способ № 1) и 10 с (способ № 2) частота звуковых волн увеличивается с шагом 1 Гц.

Экспериментальные зависимости частоты, при которой начинаются колебания пламени, и частоты, при которой происходит прекращение горения, от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом представлены на рисунке 8.

Из рисунка 8 видно, что при способе № 1 с расстояния 0,5 м происходит резкое увеличение частоты, при которой прекращается горение, с $\nu_1=15$ Гц до $\nu_2=32\div36$ Гц. В случае способа № 2 при

подаче на источник пламени постоянных колебаний значительных изменений по сравнению с способом № 1 не наблюдается, что подтверждают кривые 2 и 4.

На рисунке 9 приведена фотография пламени газовой конфорки без рассекающего, расположенной на расстоянии $r=0,4$ м при частоте колебаний $\nu=11$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени на данном расстоянии.

Из рисунка 9 видно, что срыва пламени из-за воздействия акустических колебаний не происходит. Поэтому механизм тушения пламени газовой конфорки связан с резонансными явлениями, происходящими в пламени.

При $r>1,0$ м прекращение горения не наблюдалось. Вместе с тем, начало колебаний пламени газовой конфорки зафиксировано на всем принятом для эксперимента расстоянии в 1,8 м.

Влияние угла между осью акустического волновода и направлением на источник пламени. Фотография взаимного расположения оси акустического вол-

новода и направлением на источник пламени приведена на рисунке 10, где α – угол отклонения от оси волновода.

Фотографии пламени газовой конфорки без

рассекателя, расположенной на расстоянии $r=0,5$ м от акустического волновода, генерирующего частоту колебаний $\nu=12$ Гц, при различных углах отклонения от оси представлены на рисунке 11.

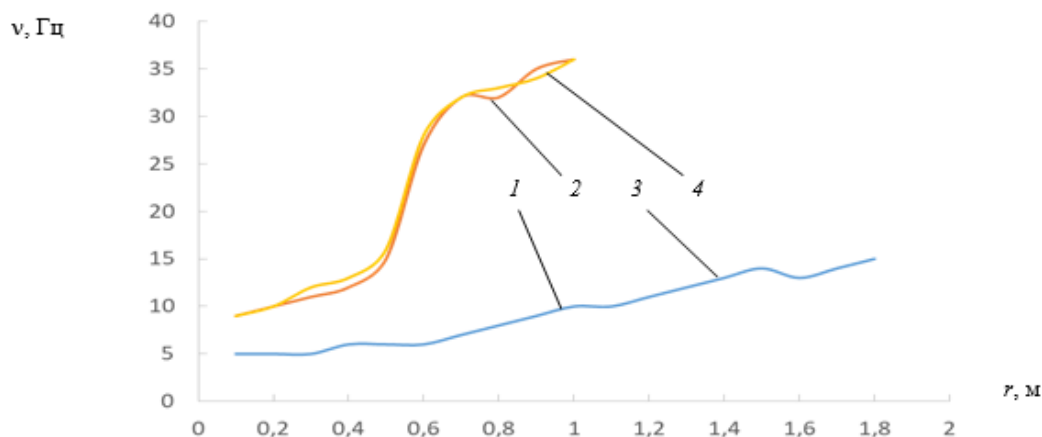


Рисунок 8 – Экспериментальные зависимости характерных частот от расстояния между центром источника пламени (очаг № 3) и акустическим волноводом: способ № 1: 1 – ν_1 ; 2 – ν_2 ; способ № 2: 3 – ν_1 ; 4 – ν_2



Рисунок 9 – Фотография пламени газовой конфорки без рассекателя, расположенной на расстоянии $r=0,4$ м от акустического волновода, генерирующего частоту колебаний $\nu=11$ Гц, меньшей на 1 Гц частоты, при которой происходит тушение пламени на данном расстоянии

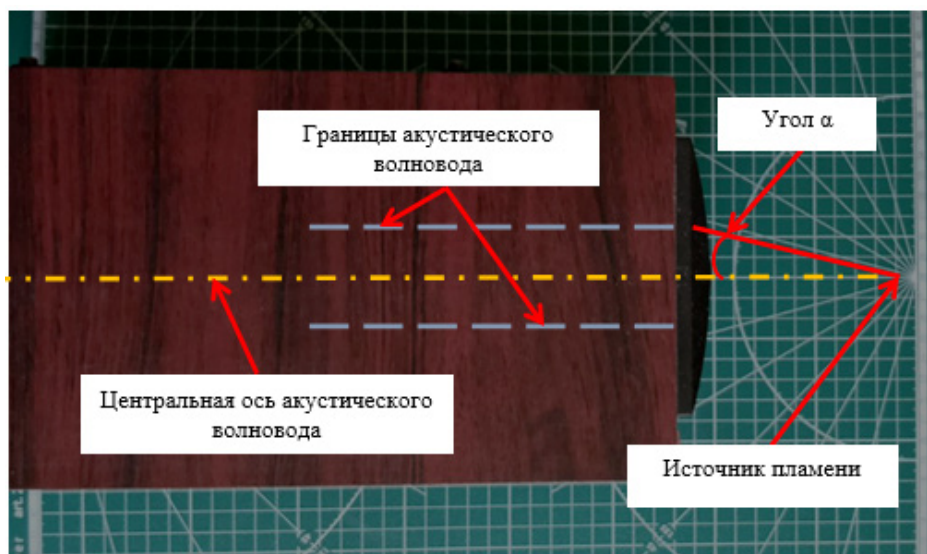


Рисунок 10 – Фотография взаимного расположения оси акустического волновода с направлением на источник пламени



Рисунок 11 – Фотография пламени газовой конфорки без рассекателя, расположенной на расстоянии $r=0,5$ м от акустического волновода, генерирующего частоту колебаний $\nu=12$ Гц при различных углах отклонения от оси:
а – $\alpha=0$ град; б – $\alpha=5$ град; в – $\alpha=15$ град

Из рисунка 11 видно, что угол отклонения от оси волновода существенно влияет на поведение пламени. При $\alpha > 15$ град пламя практически не изменяет свою форму и размеры по сравнению со свободным горением при отсутствии акустического воздействия.

Обсуждение. Обобщим полученные результаты по всем очагам горения и способам подачи звуковых волн при постоянной акустической мощности.

Зависимости характерных частот от расстояния между центром источника пламени (очаги №№ 1-3) и акустическим волноводом при $\alpha=0$ град и способах тушения № 1 и № 2 представлены на рисунке 12.

Из рисунка 12 видно, что тушение пламени при рассмотренных способах подачи звуковых волн происходит в практически одинаковом диапазоне частот $\nu_2=29\div37$ Гц при расстоянии между акустически волноводом и пламенем:

- очаг № 1: $r \geq 0,6$ м;
- очаг № 2: $r \geq 0,1$ м;

– очаг № 3: $r \geq 0,7$ м.

Минимальные длины волн в соответствии с формулами (1) и (2) при диапазоне частот $\nu_2=29\div37$ Гц в случае скорости звука в воздухе $w=343$ м/с и температуре в помещении 20°C находятся в диапазоне $\lambda_1=2,32\div2,96$ м для волновода с закрытым концом и $\lambda_2=4,64\div5,91$ м для волновода с открытым концом.

Результаты экспериментов, полученные в настоящей работе, в отличие от опубликованных работ [1-20], получены в случае экспериментов по тушению пламени источников горения малой мощности, характерных для жилых помещений, в которых происходит наибольшее количество пожаров [21].

Например, по данным работы [15] наибольший эффект прекращения горения достигается при существенно более высокой частоте 60 Гц при воздействии звука от низкочастотного громкоговорителя с модульным коллиматором, направленного на пламя метановой горелки.

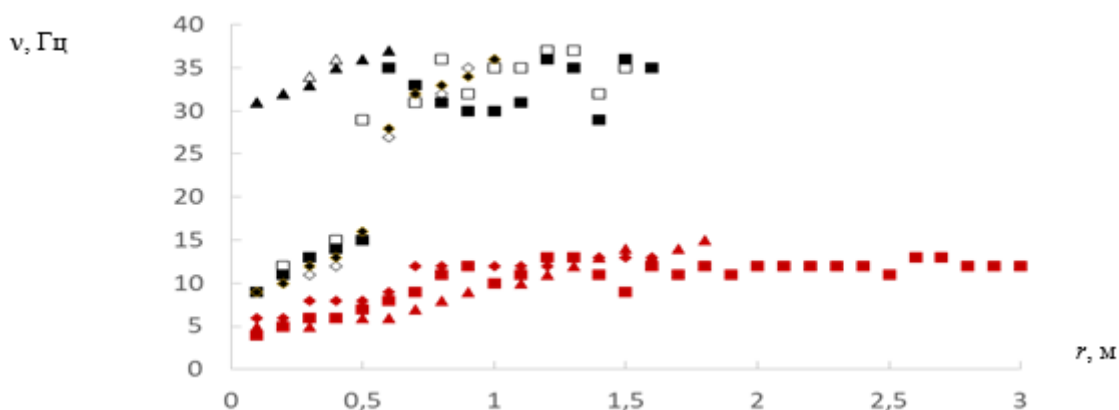


Рисунок 12 – Экспериментальные зависимости характерных частот от расстояния между центром источника пламени и акустическим волноводом:

очаг № 1: ν_1 : $\square$ – способ № 1; $\blacksquare$ – способ № 2; ν_2 : $\blacksquare$ – способы № 1 и № 2;
очаг № 2: ν_1 : $\triangle$ – способ № 1; $\blacktriangle$ – способ № 2; ν_2 : $\blacktriangle$ – способы № 1 и № 2;
очаг № 3: ν_1 : $\diamond$ – способ № 1; $\blacklozenge$ – способ № 2; ν_2 : $\blacklozenge$ – способы № 1 и № 2

В исследовании [16] при близком к данным нашей работы расстоянии от коллиматора установки до очага возгорания от 0,5 м до 1,3 м тушение пламени происходит при частоте звуковых колебаний 85 Гц, в 2,3 раза большей полученной величины в настоящей

статье.

Поэтому необходима разработка математической модели, отражающей механизм тушения пламени. Это позволит обосновать характеристики генератора акустических волн, необходимые для успешного

тушения различных источников горения.

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили возможность тушения пламени с помощью звуковых волн низкой частоты на примере подавления пламенного горения с малой тепловой мощностью.

Разработанный экспериментальный стенд, включающий акустическую установку и различные виды модельных источников пламени с малой тепловой мощностью, позволил получить опытные данные по частотам звуковых волн, при которых прекращается горение.

Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что существенное влияние на прекращение горения модельных маломощных источников пламени при постоянной акустической мощности оказывают:

- частотные характеристики и способы подачи;
- расстояние между акустическим волноводом и пламенем;
- угол между осью акустического волновода и направлением на источник пламени.

Для обоснования эффективного способа тушения пламени акустическими волнами необходимо проведение дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Голуб, В.В. Воздействие акустического поля на развитие пламени и переход в детонацию / В.В. Голуб, Д.И. Бакланов, С.В. Головастов, К.В. Иванов, М.Ф. Иванов, А.Д. Киверин, В.В. Володин // ТБТ, 2010. – Т. 48. – № 6. – С. 901-907.
2. Кривокорытов, М.С. Влияние акустических колебаний на диффузионное горение метана / М.С. Кривокорытов, В.В. Голуб, В.В. Володин // Письма в ЖТФ, 2012. – Т. 38, вып. 10. – С. 57-63.
3. DARPA: Instant flame suppression. – Harvard University, 2008. – P. 1-23.
4. Maila R. Angeles1, Jonrey V. Rañada, Dennis C. Lopez, Jose Ross Antonio R. Apilado, Ma. Sharmaine L. Carlos, Francis John P. David, Hanna Joy R. Escario, Andrea Isabel P. Rolloda, Irish Claire L. Villanueva: Development of Variable Acoustic Soundwave for Fire Prevention // Computational Science and Technology. – 2019. – P. 331-339.
5. P. Niegodajew, K. Gruszka, R. Gnatowska, M. Šofer. Application of acoustic oscillations in flame extinction in a presence of obstacle. XXIII Fluid Mechanics Conference (KKMP 2018), IOP Conf. Series Journal of Physics (Conf. Series 1101/2018). DOI: 10.1088/1742-6596/1101/1/012023.
6. T. Węsierski, S. Wilczkowski, H. Radomiak. Wygaszanie procesu spalania przy pomocy fal akustycznych. (Extinguishing the combustion process by means of acoustic waves, PL), Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. – V. 30 (2). – P. 59-64 (2013).
7. H. Radomiak, M. Mazur, M. Zajemska, D. Musiał. Gaszenie płomienia dyfuzyjnego przy pomocy fal akustycznych. (Extinguishing a diffusion flame by means of acoustic waves, PL), Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza– V. 40 (4). – P. 29-38, (2015).
8. A. Jędrusyna, A. Noga. Wykorzystanie generatora fal infradźwiękowych dużej mocy do oczyszczania z osadów powierzchni grzewczych kotłów energetycznych. (Use of a high power infrasound wave generator to clean the heating surfaces of power boilers from sediments, PL), Piece Przemysłowe&Koty. V. 11-12. – P.30-37 (2012).
9. F. Hausdorf. Podręcznik budowy zestawów głośnikowych. (Guide to loudspeaker system design, PL), VISATON, Poznań (1996).
10. A.S. Sharan, S. Akanksh, R.K. Mohan Ram, H.R. Uttunga. Development of portable fire extinguisher using acoustic waves. project No. 39 BE_1977.
11. K. Bong-Young, B. Myung-Jin, B. Seong-Geon. A study on Suitability of Sound Fire Extinguisher in Duct Environment. International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562. – V. 12 (24). – P. 15796-15800 (2017).
12. S. Ivanov, S. Stankov, J. Wilk-Jakubowski, P. Stawczyk. The using of Deep Neural Networks and acoustic waves modulated by triangular waveform for extinguishing fires. International Workshop on New Approaches for Multidimensional Signal Processing NAMSP 2020, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, July 09-11, 2020.
13. J. Wilk-Jakubowski, P. Stawczyk, S. Ivanov, S. Stankov. Control of acoustic extinguisher with Deep Neural Networks for fire detection. Elektronika ir Elektrotechnika. ISSN 1392-1215. – V. 28. – N. 1. – P. 52-59 (2022).
14. J. Wilk-Jakubowski, P. Stawczyk, S. Ivanov, S. Stankov. High power acoustic fire extinguisher with artificial intelligence platform. International Journal of Computational Vision and Robotics. 3(12). – P. 236-249 (2022).
15. J. Wilk-Jakubowski, P. Stawczyk, S. Ivanov, S. Stankov. The using of Deep Neural Networks and natural mechanisms of acoustic waves propagation for extinguishing flames. International Journal of Computational Vision and Robotics. – V. 12. – No. 2. – P. 101-119 (2022).
16. J. Wilk-Jakubowski. Analysis of Flame Suppression Capabilities Using Low-Frequency Acoustic Waves and Frequency Sweeping Techniques. Symmetry 13 (7), 1299 (2021).
17. Bachev N.L., Shilova A.A., Matyunin O.O., Bulbovich R.V. Organizatsiya nizkotemperaturnogo bednogo gorenija utiliziruyemogo gaza [Computational and Experimental Studies into Concentration Limits of Associated Petroleum Gas Combustion]. Problemele energeticii regionale. – 2020. – N. 3 (47). – P. 56-68.
18. Манило И.И., Воинков В.П., Чистяков В.П. и др. Тушение источников открытого пламени звуковыми колебаниями низкой частоты // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – С. 336-341.
19. Stawczyk, Paweł and Wilk-Jakubowski, Jacek. Non-invasive attempts to extinguish flames with the use of high-power acoustic extinguisher. Open Engineering. – V. 11. – N. 1. – 2021. – P. 349-355. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0037>.
20. Levterov, A.A. Acoustic research method for burning flammable substances. Acoustical Physics, 2019, 65(4), 444-449.
21. ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.- аналитич. сб. П 46 Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 80 с.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 66.081: 547-304.4: 553.611.6

EDN: VINGBE

**АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД ОРГАНИЧЕСКИХ
КРАСИТЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ САФРАНИНА Т) БЕНТОНИТОВЫМИ СОРБЕНТАМИ**

© Авторы 2024

SPIN: 5784-9118

AuthorID: 763271

ORCID: 0000-0002-3220-031X

ResearcherID: ABF-3360-2020

ScopusID: 10041650500

АТАМАНОВА Ольга Викторовна, доктор технических наук,
профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность»*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*
(440054, Россия, Саратов, улица Политехническая, 77, e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru)

SPIN: 7673-8480

AuthorID: 182520

ORCID: 0000-0001-6030-7344

ResearcherID: V-2374-2019

ScopusID: 7006674945

ТИХОМИРОВА Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Экология и техносферная безопасность»*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*
(440054, Россия, Саратов, улица Политехническая, 77, e-mail: tichomirova_ei@mail.ru)

SPIN: 1514-7670

AuthorID: 1091384

ORCID: 0000-1234-5678-9101

ScopusID: 57441140800

АБРАМОВА Александра Сергеевна, аспирант*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*
(440054, Россия, Саратов, улица Политехническая, 77, e-mail: aleksagl20@gmail.com)

SPIN: 6255-9509

AuthorID: 893206

ORCID: 0000-0002-1623-734X

ScopusID: 57210982869

КОШЕЛЕВ Алексей Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологий»
(111024, г. Москва, ш. Энтузиастов, 23, e-mail: koshelevsaratov@gmail.com)

Аннотация. При производстве многих видов продукции, включая текстильные изделия, используются органические красители. Одним из таких красителей является сафранин Т, очистка производственных сточных вод от которого представляет особый интерес. Целью исследований являлось изучение механизмов динамической адсорбции и определение сорбционной способности модифицированных бентонитов по отношению к органическому красителю сафранину Т. Объекты исследования представляли собой модельные растворы сафранина Т в концентрациях от 10 мг/дм³ до 120 мг/м³. В качестве изучаемых сорбентов были выбраны: 1) бентонит с добавкой многостенных углеродных нанотрубок (БМУНТ), сформованный и отожженный при t=550°C; 2) бентонит сформованный, отожженный при t=550°C и гидрофобизированный (БГ) кремнийорганическим соединением. Лабораторными исследованиями на модельных растворах в динамических условиях установлены следующие характеристики адсорбции сафранина Т сорбентом БМУНТ: динамическая обменная емкость – 3,68 мг/г, коэффициент межфазного распределения – 0,51 дм³/мг, степень адсорбционного извлечения – 87,9%. Характеристики динамической адсорбции сафранина Т сорбентом БГ имели несколько худшие значения: динамическая обменная емкость – 1,43 мг/г, коэффициент межфазного распределения – 0,15 дм³/мг, степень адсорбционного извлечения – 74,5%. Изученные механизмы адсорбции в динамических условиях сафранина Т сорбентом БМУНТ, показали небольшое преимущество описания процесса адсорбции в рамках модели Ленгмюра (R²=0,99), а адсорбция данного красителя сорбентом БГ лучшим образом описывается моделью Фрейндлиха (R²=0,93). При разработке для производственных предприятий станций водоочистки стоков с использованием адсорбционных фильтров, обеспечивающих очистку воды от органических красителей, следует учитывать результаты исследований, приведенных в данной статье.

Ключевые слова: сточные воды предприятий, краситель, водоочистка, адсорбция, адсорбент, бентонит, углеродные нанотрубки, гидрофобизация, сафранин Т, динамическая обменная емкость, коэффициент межфазного распределения, степень адсорбционного извлечения.

ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS OF ORGANIC DYES (ON THE EXAMPLE OF SAFRANIN T) BY BENTONITE SORBENTS

© Authors 2024

ATAMANOVA Olga Viktorovna, doctor of technical sciences,

professor of "Ecology and Technosphere Safety"

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(Politekhnicheskaya st., 77, Saratov, 410054, Russia, e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru)

TIKHOMIROVA Elena Ivanovna, doctor of biological sciences, professor,

head of "Ecology and Technosphere Safety" department

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(Politekhnicheskaya st., 77, Saratov, 410054, Russia, e-mail: tichomirova_ei@mail.ru)

ABRAMOVA Alexandra Sergeevna, graduate student

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(440054, Russia, Saratov, Politekhnicheskaya street, 77, e-mail: aleksagl20@gmail.com)

KOSHELEV Alexey Vasilievich, candidate of technical sciences, senior researcher state

Research Institute of Organic Chemistry and Technology

(111024, Moscow, Entuziastov highway, 23, e-mail: koshelevsaratov@gmail.com)

Abstract. Organic dyes are used in the production of many types of products, including textiles. One of these dyes is safranin T. The purification of industrial wastewater from safranin T is of particular interest. The purpose of the research was to study the mechanisms of dynamic adsorption and determine the sorption capacity of modified bentonites in relation to the organic dye safranin T. The objects of the study were model solutions of safranin T with concentrations from 10 mg/dm³ to 120 mg/m³. Sorption materials: 1) bentonite modified with carbon nanotubes (CNT), granulated and fired at a temperature of 550°C; 2) bentonite, granulated, calcined at a temperature of 550°C and hydrophobized. Laboratory studies on model solutions under dynamic conditions established the following characteristics of the adsorption of safranin T by bentonite modified with carbon nanotubes, granulated and calcined at a temperature of 550°C: dynamic exchange capacity – 3.68 mg/g, interphase distribution coefficient – 0.51 dm³/mg, the degree of adsorption recovery is 87.9%. The characteristics of the dynamic adsorption of safranin T by granular bentonite, calcined at a temperature of 550°C and hydrophobized, had slightly worse values: dynamic exchange capacity – 1.43 mg/g, interfacial distribution coefficient – 0.15 dm³/mg, degree of adsorption extraction – 74.5%. The studied mechanisms of adsorption under dynamic conditions of safranin T by bentonite modified with CNTs showed a slight advantage of describing the adsorption process within the framework of the Langmuir model ($R^2=0.99$), and the adsorption of this dye by hydrophobized bentonite is best described by the Freundlich model ($R^2=0.93$). When developing wastewater treatment plants for industrial enterprises using adsorption filters that provide water purification from organic dyes, the results of the studies presented in this article should be taken into account.

Key words: industrial wastewater, dye, water treatment, adsorption, adsorbent, bentonite, carbon nanotubes, hydrophobization, safranin T, dynamic exchange capacity, interphase distribution coefficient, degree of adsorption extraction.

Для цитирования: Атаманова О.В. Адсорбционное извлечение из водных сред органических красителей (на примере сафранина Т) бентонитовыми сорбентами / О.В. Атаманова, Е.И. Тихомирова, А.С. Абрамова, А.В. Кошелев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 127-132. – EDN: VIHGBE.

Введение. В настоящее время, когда в Российской Федерации взят курс на импортозамещение, большинство промышленных предприятий внедряют и осваивают новые высокоэффективные технологии [1, 2]. Такие виды индустрий, как фармацевтическая, химическая, микробиологическая, легкая, включая текстильную и швейную промышленности, производство строительных материалов и др. интенсивно используют в технологических процессах органические красители [3]. Сточные воды предприятий перечисленных видов промышленности содержат значительное количество красящих веществ разных концентраций и состава.

Одним из лидеров загрязнения сточных вод органическими красителями является текстильная промышленность. Процесс крашения нитей и тканей

способствует поступлению в производственные сточные воды высококонцентрированных органических пигментов [4, 5]. Наиболее часто используемым при окрашивании тканей в красный и коричневый цвета является сафранин Т (3,6-диамино-2,7-диметил-10-фенилфеназинхлоридат), который имеет химическую формулу ($C_{20}H_{19}ClN_4$). Сафранин Т – это основной диазиновый краситель, относящийся к классу сафранинов. Структурная формула сафранина Т приведена на рисунке 1.

Извлечение из растворов сафранина Т, как и других органических поллютантов, является трудоемким и недостаточно изученным процессом [6]. Ученые разных стран исследовали различные способы очистки водных сред от органических соединений [7]. Было установлено, что одним из наиболее эффективных

при извлечении органических загрязняющих веществ из водных растворов является метод адсорбции [8], при чем особый интерес представляет использование в качестве сорбционных материалов бентонитов, модифицированных разными способами.

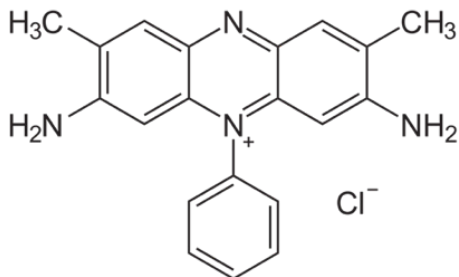


Рисунок 1 – Структурная формула органического красителя сафранина Т

Цель исследований — изучение механизмов динамической адсорбции и определение сорбционной способности модифицированных бентонитов по отношению к органическому красителю сафранину Т.

Методология. Основными объектами исследования являлись модельные растворы красителя сафранина Т в концентрациях 10÷120 мг/м³.

Бентонит для изготовления сорбентов привезен из Тавушской области Республики Армения, где располагается месторождение в районе села Саригюх. Химический состав бентонитовых глин данного месторождения включает: 68÷70% SiO₂, более 10% Al₂O₃, около 8% Fe₂O₃ и другие химические соединения в количестве менее 1%.

При проведении исследований использовались два вида бентонитовых сорбентов, полученных следующими способами:

- бентонит с добавкой многостенных углеродных нанотрубок (БМУНТ), сформованный и отожженный при $t=550^{\circ}\text{C}$;
- бентонит сформованный, отожженный при $t=550^{\circ}\text{C}$ и гидрофобизированный (БГ).

Формование и отжиг бентонитовых сорбентов осуществляли сотрудники Научно-производственного предприятия «ЛИССКОН» (Россия, г. Саратов).

Гидрофобизирование бентонитовых сорбентов выполнялось в лабораторно-исследовательском центре «ЭкоОС» в Саратовском государственном

техническом университете имени Гагарина Ю.А. при помощи гидрофобизирующей пропитки, изготавливаемой Научно-производственным предприятием «Рогнеда» (Россия, г. Ст. Купавна)

Для изучения динамики процесса адсорбции сафранина Т из модельных растворов изучаемыми сорбционными материалами растворы исходных концентраций красителя пропускали через фильтрующие колонки с определенным количеством (весом 10 г) сорбента при фиксированной скорости. Далее осуществляли отбор проб из раствора-фильтрата и определяли его концентрацию на спектрофотометре ПЭ-6100УФ (производство Китай, г. Шанхай) с обработкой результатов.

Установление эффективности адсорбции выполнялось путем определения таких характеристик, как динамическая обменная емкость DEC (мг/г), коэффициент межфазного распределения K_d (дм³/мг), степень адсорбционного извлечения S (%) адсорбата из раствора. Расчет DEC проводился с использованием зависимости [8]:

$$DEC = \frac{\sum_{C_{\text{вых}}=0}^{C_{\text{вых}}=0,05C_0} [(C_0 - C_{\text{вых}}) \cdot V]}{m}, \quad (1)$$

где m – вес исследуемой навески адсорбента, г; C_0 – принятая исходная концентрация красителя в модельном растворе, мг/дм³, $C_{\text{вых}}$ – концентрация красителя в фильтрате, мг/дм³, V – объем фильтрата с концентрацией адсорбтива $C_{\text{вых}}$, дм³.

Для расчета коэффициента межфазного распределения K_d использовалась формула:

$$K_d = \frac{DEC}{C_p}. \quad (2)$$

Установление степени адсорбционного извлечения S (%) сафранина Т из модельного раствора выполняли с помощью зависимости:

$$S = \frac{C_0 - C_{\text{вых}}}{C_0} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Механизмы адсорбции сафранина Т бентонитовыми сорбентами обеих изучаемых модификаций проводилось в динамических условиях путем поиска соответствия построенных графических зависимостей моделям сорбции Ленгмюра, Фрейндлиха и БЭТ [9-12].

Результаты. Зависимости выходной концентрации модельных растворов, содержащих сафранин Т в водной фазе раствора, от величины адсорбции показаны на рисунке 2.

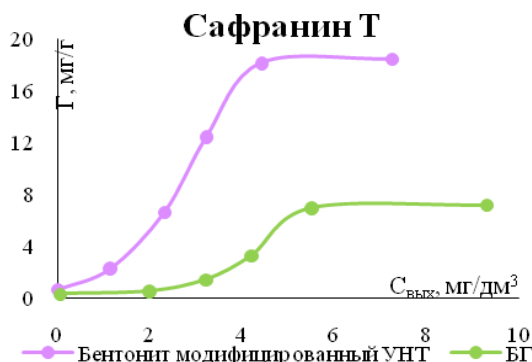


Рисунок 2 – Изотермы динамической адсорбции сафранина Т бентонитовыми сорбентами БМУНТ и БГ

Реализованные лабораторные исследования позволили установить основные характеристики динамической адсорбции сафранина Т сорбентами БМУНТ и БГ, которые приведены в таблице 1.

Полученные результаты позволили построить изотермы адсорбции сафранина Т на бентонитовых адсорбентах и рассмотреть их на соответствие моделям Ленгмюра, Фрейндлиха и БЭТ. Однако модели адсорбции сафранина Т, построенные в соответствии с теорией БЭТ, показали неудовлетворительный результат ($R^2=3,12$ и $R^2=1,98$), поэтому в данной статье не приводятся.

Изотермы адсорбции сафранина Т, построенные в

соответствии с теорией Ленгмюра [13], показаны на рисунке 3.

Основные результаты расчетов моделей динамической адсорбции сафранина Т бентонитовыми сорбентами в соответствии с теорией Ленгмюра показаны в таблице 2.

Изотермы динамической адсорбции сафранина Т, построенные в соответствии с литературой [11] на основании теории Фрейндлиха, показаны на рисунке 4. Основные результаты расчетов моделей динамической адсорбции сафранина Т модифицированными бентонитами в соответствии с теорией Фрейндлиха показаны в таблице 3.

Таблица 1 – Характеристики процесса адсорбции сафранина Т бентонитовыми сорбентами

Адсорбированное вещество	Сорбционный материал	DEC, мг/г	K_d , мг/дм ³	S, %
Сафранин Т	БМУНТ	3,680±0,184	0,510±0,026	87,90±4,40
	БГ	1,430±0,072	0,150±0,008	74,50±3,73

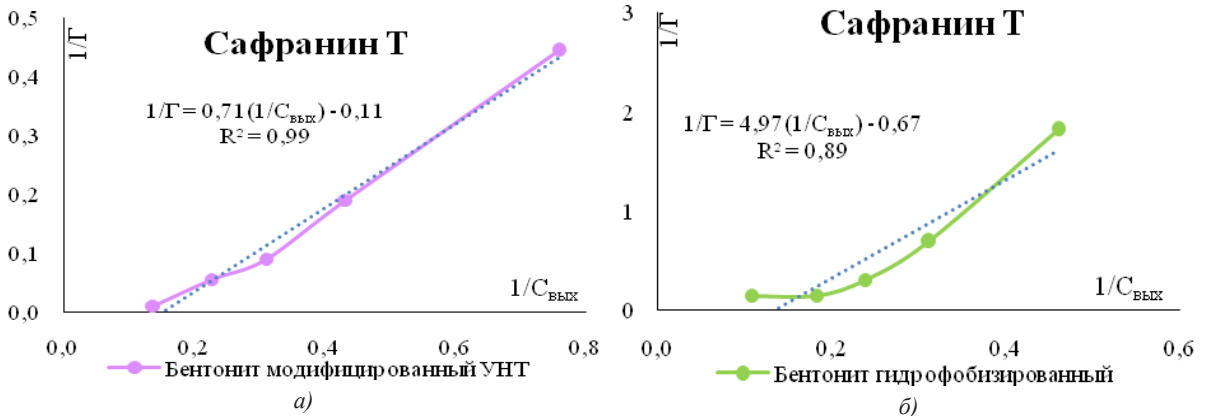


Рисунок 3 – Изотермы динамической адсорбции сафранина Т, полученные в соответствии с теорией Ленгмюра, на бентонитовых сорбентах: а) БМУНТ; б) БГ

Таблица 2 – Результаты расчетов динамической адсорбции сафранина Т в соответствии с теорией Ленгмюра

Сорбционный материал	Уравнение	K_L , дм ³ /мг	Γ_∞ , мг/г	R^2
БМУНТ	$1/\Gamma = 0,71(1/C_{вх}) - 0,11$	0,15	9,09	0,99
БГ	$1/\Gamma = 4,97(1/C_{вх}) - 0,67$	0,13	1,49	0,89

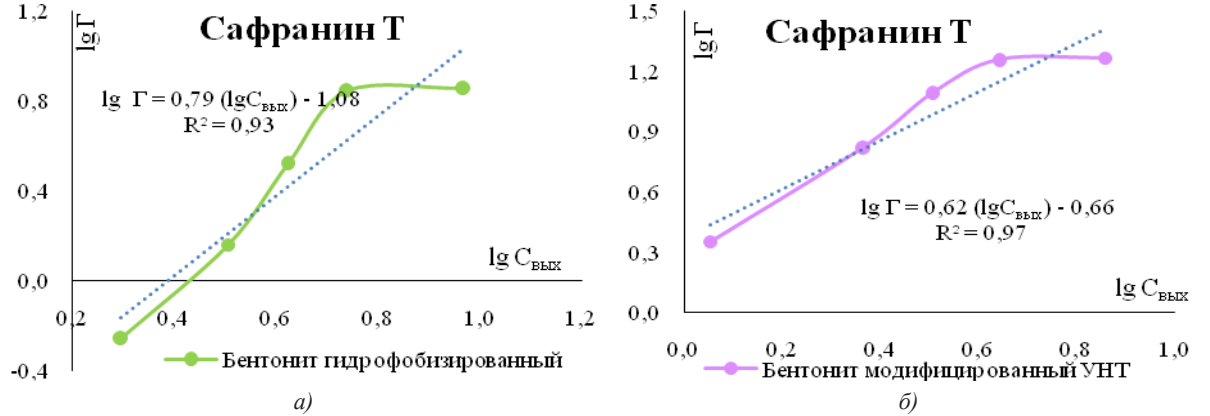


Рисунок 4 – Изотермы динамической адсорбции сафранина Т в соответствии с теорией Фрейндлиха адсорбентами: а) БМУНТ; б) БГ

Таблица 3 – Результаты расчетов динамической адсорбции сафранина Т в соответствии с теорией Фрейндлиха

Сорбционный материал	Уравнение	K_F (мг/г)·(л/мг) ^{1/n}	n	R ²
БМУНТ	$\lg \Gamma = 0,62 (\lg C_{\text{вых}}) - 0,66$	0,22	1,61	0,97
БГ	$\lg \Gamma = 0,79 (\lg C_{\text{вых}}) - 1,08$	0,08	1,27	0,93

Полученные изотермы адсорбции сафранина Т изучаемыми сорбционными материалами показали соответствие моделям сорбции Ленгмюра с величиной аппроксимации $R^2=0,89 \div 0,93$, а соответствие моделям сорбции Фрейндлиха с величиной аппроксимации $R^2=0,97 \div 0,99$.

Обсуждение. Проведенные экспериментальные исследования показали, что оба изучаемых сорбционных материала – БМУНТ и БГ, вполне удовлетворительно (на 75÷88%) извлекают краситель сафранин Т из водных растворов при пропускании их через фильтрующую загрузку из бентонита.

Эффективность динамической адсорбции сафранина Т сорбентом БМУНТ в 2,5 раза выше эффективности динамической адсорбции данного красителя, обеспечиваемой сорбентом БГ.

Механизм динамической адсорбции сафранина Т сорбентом БМУНТ, более соответствует модели адсорбции Ленгмюра ($R^2=0,99$). Из этого следует, что адсорбция молекул красителя происходит на активных центрах, на поверхности адсорбента преимущественно образуется мономолекулярный слой адсорбата. Молекулы адсорбата на поверхности мало взаимодействуют друг с другом [14-16].

Механизм адсорбции сафранина Т сорбентом БГ наилучшим образом описывается моделью Фрейндлиха ($R^2=0,93$), что соответствует случаю образования полимолекулярных слоев на поверхности адсорбента [17].

Степень извлечения красителя сафранина Т в динамических условиях из водной фазы сорбентом БМУНТ, составила 87,9%, а степень извлечения сафранина Т сорбентом БГ была равна 74,5%. Это подтверждает предпочтительность использования для извлечения из водных растворов сафранина Т адсорбентом БМУНТ.

Выводы. Для извлечения органических красителей, в частности сафранина Т, из водных растворов целесообразно использование адсорбционного метода, при котором в качестве сорбционного материала может использоваться бентонит с разными добавками, улучшающими его адсорбционные свойства.

Лабораторными исследованиями на модельных растворах установлены следующие характеристики динамической адсорбции сафранина Т сорбентом БМУНТ: $DEC = 3,68$ мг/г, $K_d = 0,51$ дм³/мг, $S = 87,9$ %. Характеристики динамической адсорбции сафранина Т сорбентом БГ имели несколько худшие значения: $DEC = 1,43$ мг/г, $K_d = 0,15$ дм³/мг, $S = 74,5$ %.

Анализ механизмов адсорбции в динамических условиях сафранина Т сорбентом БМУНТ показал небольшое преимущество описания процесса адсорбции в рамках модели Ленгмюра ($R^2=0,99$) в срав-

нении с моделью Фрейндлиха ($R^2=0,97$). Это можно объяснить высоким сродством сафранина Т к адсорбционным центрам, распределенным как в углеродных нанотрубках, так и на алюмосиликате. Динамическая адсорбция сафранина Т сорбентом БГ лучшим образом описывается моделью Фрейндлиха ($R^2=0,93$), чем моделью Ленгмюра ($R^2=0,89$), подтверждая преимущественное формирование полимолекулярных слоев адсорбата на поверхности адсорбента.

Полученные результаты позволяют разработать усовершенствованные адсорбционные фильтрующие системы с загрузками из модифицированных бентонитов для обеспечения качественной очистки производственных сточных вод предприятий от органических красителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баурина С.Б. Технологии будущего: умные производства в промышленности // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2020. – Том 17. – № 2 (110). doi: <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2020-2-123-132>.
2. Абрамов М.М. Технологические инновации в швейной промышленности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Том 13. – № 9А. – С. 655-662. doi: [10.34670/AR.2023.16.97.073](https://doi.org/10.34670/AR.2023.16.97.073)
3. Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Веденеева Н.В. Эффективность многокомпонентного адсорбционного фильтра по отношению к органическим соединениям с различной способностью к ионизации в водной среде (на примере о-толуидина, гидрохинона и п-динитробензола) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 2(3). – С. 687-691.
4. Bisschops I., Spanjers H. Literature review on textile wastewater characterization // Environmental technology. – 2003. – Т. 24. – № 11. – С. 3.
5. Nyan H.L., Yarovaia O.V., Aung K.Z. Wastewater treatment from organic dye methylene blue on ceramic membranes with applied layers based on a mixture of manganese and cobalt oxides // International Scientific and Practical Conference "Energy, Ecology and Technology in Agriculture" (EEA2022). AIP Conference Proceedings. – 2762 (2020) 020033. doi: [10.1063/5.0128436](https://doi.org/10.1063/5.0128436).
6. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoxenov A.A., Vedeneeva N.V., Grishin M.A. Adsorption of aromatic nitro and amino compounds with modified bentonite // 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 905 (2020) 012003. doi: [10.1088/1757-899X/905/1/012003](https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012003).
7. Джубари М.К., Алексеева Н.В., Базияни Г.И., Таха В.С. Методы удаления пигментов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 7. – С. 54-64.
8. Зеленцов В.И., Дацко Т.Я. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксидгидроксидалюминия-фтор // Электронная обработка материалов. – 2012. – № 48(6). – С. 65-73.
9. Sharma S., Balestra S.R.G., Baur, R., Agarwal U., Zuidema E., Rigutto M.S., Calero S., Vlught T.J.H., & Dubbeldam D. (2023). RUPTURA: simulation code for breakthrough, ideal adsorption solution theory computations, and fitting of isotherm models. Molecular Simulation, 49(9), 893-953. <https://doi.org/10.1080/08927022.2023.2202757>.
10. Bhuvaneshwari S., Mohanraj N., Murugan, Sivasubramanian V. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic Studies for Adsorption of CR (VI) onto Natural Adsorbents // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Tech-

nology. – V. 2. – I. 8. – August 2015. – P. 78-91. doi: 10.17148/IARJSET.2015.2819

11. Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V., Olivier J.P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J., and Sing K.S.W., Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). 87 (2015), 9-10. – P.1051-1069. doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1515/pac-2014-1117>.

12. Olabimtan Olabode H., Batari Musa L., Ochigbo Victor, Adudu Judy, Abe Ayotunde, Obidah Timothy Y., Nwakuba Deborah C., Yakubu Obadiah S. Langmuir and Freundlich Isotherm Models of Defatted Neem Seed Cake on Lead (II) Nitrate in an Aqueous Medium // International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS). – V. IV. – I. V. – May 2019. – P. 46-49.

13. Hamzaoui M., Bestani B., Benderdouche N. The use of linear and nonlinear methods for adsorption isotherm optimization of basic green 4-dye onto sawdust-based activated carbon // Journal of Materials and Environmental Sciences. 2018. – V. 9. – I. 4. – P. 1110-1118. doi:10.26872/jmes.2018.9.4.122

14. Patiha, Herald Y, Hidayat Y, Firdaus M. The Langmuir isotherm adsorption equation: The monolayer approach // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 107 (2016) 012067. doi:10.1088/1757-899X/107/1/012067.

15. Ягодовский, В.А. Адсорбция [Текст] / В.А. Ягодовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 216 с.

16. Саитова Г.Х., Самойлов Н.А. Расчет коэффициентов уравнения Ленгмюра для формирования банка данных по изотермам адсорбции // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2017. – № 4. – С. 84-96.

17. Layla Balasem Almalike. Equations Adsorption Isotherms for Biuret on Soils, Paper and Cortex Plant Application of the Freundlich, Langmuir, Temkin, Elovich, Flory-Huggins, Halsey, and Harkins-Jura // International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS). – V. 4. – I. 5. – 2017. – P. 9-20. doi: <http://dx.doi.org/10.20431/2349-0403.0405002>.

Статья поступила в редакцию 15.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 614.841.2.001.2

EDN: EAIRBT

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОТЕКАНИЯ СВЕРХТОКА
В АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКАХ, МЕТОДОМ
СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 8987-0146

AuthorID: 984582

ORCID: 0000-0002-6630-4045

ScopusID: 57245729900

МОКРЯК Анна Васильевна, научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в
экспертизе пожаров Исследовательского центра экспертизы пожаров

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35, e-mail: mokryakanna@mail.ru)*

Аннотация. Алюминий, благодаря комплексу положительных физико-химических свойств, применяется в качестве одного из основных материалов при производстве кабельно-проводниковых изделий. Именно в этих изделиях, по статистике, наиболее часто возникают аварийные электрические режимы, провоцирующие возникновение пожаров. Так называемая электротехническая версия причины возникновения горения выдвигается и анализируется пожарно-техническим экспертом практически на каждом пожаре. Проблема выявления признаков аварийных режимов работы, которые возникают в проводниках и кабелях из алюминия, в рамках экспертизы пожаров стоит довольно остро по сей день. Решение этой задачи осложняется относительно невысокой температурой плавления алюминия (660°C), которая гораздо ниже температур, развивающихся на пожарах. В данной работе на электротехническом стенде проведено экспериментальное моделирование протекания по алюминиевым проводникам сверхтока, а также выполнен эксперимент по одновременному термическому воздействию и механическому растяжению алюминиевого проводника. Методом сканирующей электронной микроскопии с использованием детектора вторичных электронов выявлены и систематизированы специфические признаки, характеризующие воздействие на алюминиевый проводник сверхтока. Предложен критерий, позволяющий дифференцировать повреждения, вызванные сверхтоком, от механических повреждений, возникающих при растяжении проводника. Цель исследования заключается в изучении структурных изменений при воздействии на алюминиевый проводник сверхтока и выявлении характерных повреждений, а также явлений, сопровождающих этот процесс. Полученные результаты могут быть использованы при проведении пожарно-технических экспертиз.

Ключевые слова: алюминиевый проводник, сверхток, механический разрыв, сканирующая электронная микроскопия, пожарно-техническая экспертиза.

**DETECTION OF SIGNS CHARACTERIZING OVERCURRENT FLOW IN ALUMINIUM
CONDUCTORS BY THE METHOD OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPY**

© The Author(s) 2024

MOKRYAK Anna Vasilevna, researcher of the department of calculative methods and informational technologies in
the fire expertise Fire Expertise Research Centre

*Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
(193079, St. Petersburg, Oktyabrskaya emb., 35, e-mail: mokryakanna@mail.ru)*

Abstract. Aluminum, due to its complex of physico-chemical properties, is used as the main material in the manufacture of cable and conductor products. It is in these products, according to statistics, that emergency electrical modes most often occur that provoke fires. The so-called electrical version of the cause of combustion is put forward and analyzed by a fire technical expert in almost every fire. The problem of identifying signs of emergency modes of operation that arise in conductors and cables made of aluminum, as part of the examination of fires, is quite acute to this day. The solution to this problem is complicated by the relatively low melting point of aluminum (660°C), which is much lower than the temperatures developed during fires. In this work, an experimental simulation of the flow through aluminum conductors of overcurrent was carried out at an electrical test bench, and an experiment was performed on the simultaneous thermal exposure and mechanical stretching of the aluminum conductor. By scanning electron microscopy using a secondary electron detector, specific signs characterizing the effect of an overcurrent on an aluminum conductor have been identified and systematized. A criterion is proposed that allows differentiating. The purpose of the study is to study structural changes when exposed to an aluminum conductor of an overcurrent and identify characteristic damage, as well as phenomena accompanying this process. The results obtained can be used in fire investigation.

Keywords: aluminum conductor, overcurrent, fracture, scanning electron microscopy, fire investigation.

Для цитирования: Мокряк А.В. Выявление признаков, характеризующих протекания сверхтока в алюминиевых проводниках, методом сканирующей электронной микроскопии / А.В. Мокряк // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 133-141. – EDN: EAIRBT.

Введение. Кабельно-проводниковые изделия из алюминия широко применяются для прокладки электросетей в быту и промышленности. Возникновение пожароопасных аварийных режимов работы в электросетях, в первую очередь, связано с плохими контактами на участках коммутации отдельных проводников и токоведущих элементов электрооборудования [1-3]. Процессы тепловыделения в контактных соединениях не детектируются автоматами защиты. Их последствиями могут стать как разлет раскаленных частиц металла (искр), так и нарушение изоляции проводников, что влечет возникновение короткого замыкания. Короткое замыкание, в свою очередь, также сопровождается пожароопасным разлётом нагретых металлических частиц и еще большим пожароопасным нагревом за счет тепловыделения при протекании сверхтока. В этой связи создается ситуация, при которой, в случае невыполнения своих функций аппаратами защиты, может произойти термическая деструкция изоляции на других участках, создавая, таким образом, возможность для возникновения новых очагов горения. Длительное протекание сверхтока также может спровоцировать развитие нежелательных тепловых процессов в других зонах «плохих» контактных соединений, где по каким-либо причинам пожарная опасность еще не проявляла себя [4-5, 11-12]. Кроме того сверхтоки значительной кратности (2 и более) могут возникать в электрических сетях и, в частности, в алюминиевой проводке при появлении коротких замыканий. Реконструкция всей многостадийности пожароопасных процессов аварийных электрических режимов – довольно сложная и в подавляющем большинстве случаев практически не решаемая экспертная задача. Сложность обусловлена не только самой многостадийностью, но и термическим, а также и механическим воздействием (например, в результате обрушения конструкций или под собственным весом провисающего провода) на алюминиевые проводники и кабели в ходе развивающегося пожара. Выявление хотя бы минимальной криминалистически значимой информации при лабораторном исследовании объектов, изымаемых с мест пожаров, несомненно несет пользу для расследования причин и обстоятельств возникновения горения [6, 13, 15].

Одной из основных задач, стоящих перед пожарно-техническим экспертом, является поиск и выявление признаков аварийных электрических процессов на токоведущих изделиях, остатках электрооборудования. В работе [7] приводятся результаты исследования алюминиевых проводников при токовой перегрузке. Отмечается, что на их поверхности могут быть выявлены характерные специфические следы – борозды и трещины. В данной работе предпринята попытка экспериментальным

способом смоделировать, во-первых, протекание сверхтока по алюминиевым проводникам различного сечения, а, во-вторых, одновременную механическую растягивающую нагрузку и термическое воздействие. Далее, используя метод сканирующей электронной микроскопии, зафиксировать повреждения, характерные для этих физических процессов.

Методология. Моделирование сверхтока осуществлялось на электротехническом стенде, разработанном в Исследовательском центре экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России [8]. Эксперименты проводились при нормальных условиях окружающей среды – комнатной температуре, нормальном давлении, влажность 70%.

В качестве объектов исследования были выбраны алюминиевые проводники сечением 2, 4, 6 мм² в поливинилхлоридной изоляции. Соответственно, номинальными токами для данных сечений проводников, в случае открыто проложенной проводки при напряжении переменного тока 220 В, в соответствии с Правилами устройства электроустановок, является – 21, 32, 39 А.

Также объектом исследования были выбраны отдельные проволоки СИП-кабеля площадью сечения 16 мм². Проволоки кабеля имеют секторную форму, количество проволок в кабеле – 7. Площадь сечения каждой проволоки, соответственно, 2,3 мм².

Экспериментальное оборудование:

– электротехнический стенд, секундомер.

Лабораторное оборудование:

– сканирующий электронный микроскоп Tescan Vega XMU [9-10].

Образцы алюминиевых проводников закреплялись при помощи болтовых соединений к контактам, расположенным внутри электротехнического стенда, где было смоделировано прохождение по проводникам сверхтока – 60, 120, 150, 328, 520 А, что соответствует кратностям, которые указаны в таблице 1.

Выбор кратностей токов перегрузки обусловлен, во-первых, особенностями конструкции электротехнического стенда, а, во-вторых, характерными токами, которые могут возникать при перегрузках и коротких замыканиях в электрооборудовании (в соответствии с литературой [14] при коротких замыканиях в электрических цепь токи могут достигать величины 500 А). Каждый эксперимент повторялся 3 раза для набора статистических данных. Попыты проводились до полного разделения проводника на части. После прекращения подачи электропитания образцы проводников естественным образом охлаждались до комнатной температуры.

Также в рамках данной работы осуществлялось экспериментальное моделирование ситуации терми-

ческого воздействия на алюминиевый проводник сечением 2 мм² и одновременного механического растяжения. Эксперимент проводился в муфельной печи трубчатого типа при температуре 500°С. Механическое воздействие осуществлялось путем жесткой фиксации концов проводника и его растягивания вручную без контроля усилия растяжения до

момента разрушения провода.
Результаты. В таблице 1 приведены результаты экспериментальных измерений при воздействии на алюминиевый проводник сверхтока. На рисунке 1 представлен график зависимости времени до разрушения алюминиевых проводников различного сечения от сверхтока.

Таблица 1 – Время до разделения алюминиевых проводников на части при сверхтоках

Площадь сечения проводника d, мм ²	Номинальный ток I _{ном} , А	Сверхток I _{св} , А	Кратность перегрузки к, ед.	Среднее время до разделения проводника на части t, сек
2	21	60	2,9	270
		120	5,7	27
		150	7,1	15
		328	15,6	1
		520	24,8	1
4	32	60	1,9	380
		120	3,8	50
		150	4,7	33
		328	10,3	8
		520	16,3	1
6	39	60	1,5	600
		120	3,1	255
		150	3,8	40
		328	8,4	10
		520	13,3	4

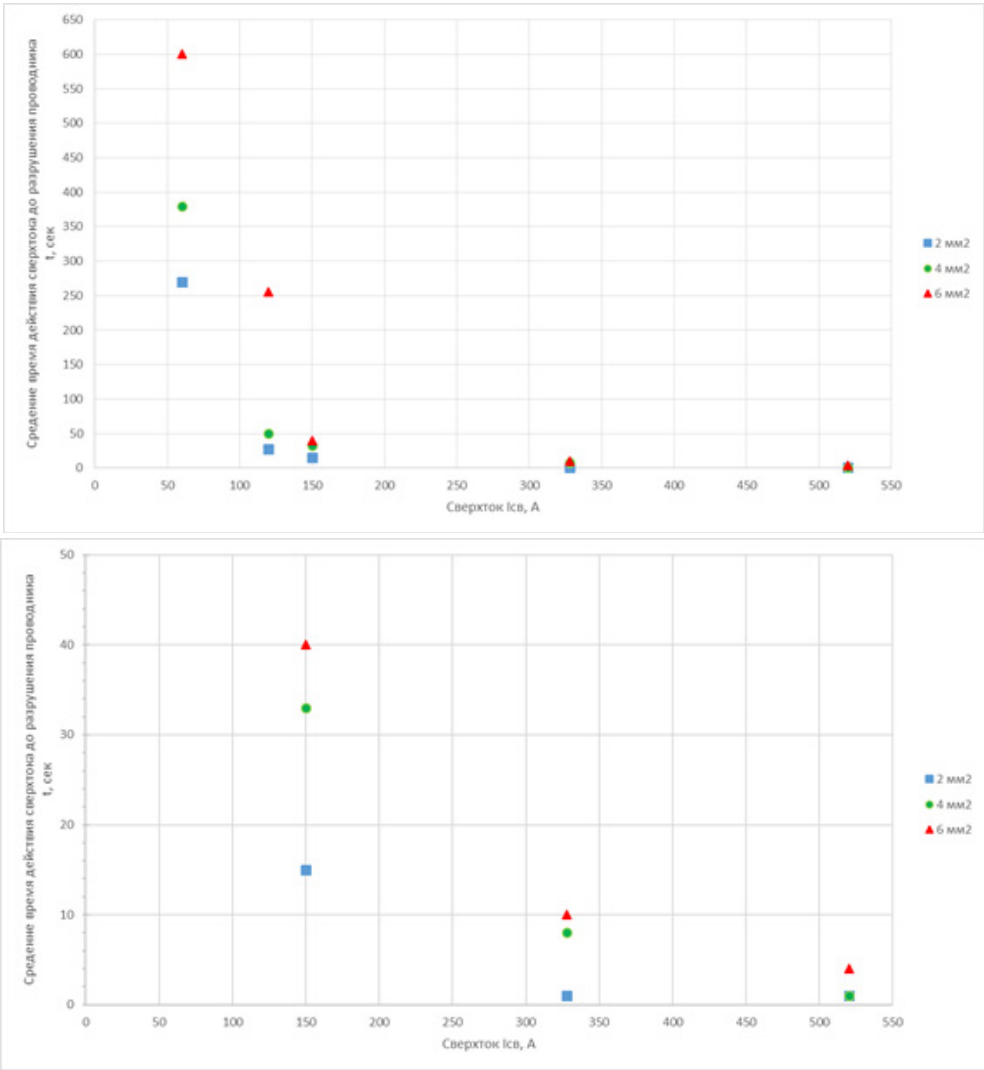


Рисунок 1 – Время действия сверхтока до момента разделения алюминиевого проводника на части в зависимости от сверхтока. Внизу для детализации показан участок графика

При перегрузке от 1,5 до 3 крат разрыв проводников различного сечения происходил в диапазоне от 270 до 600 сек и сопровождался относительно небольшой вспышкой. Какого-либо значительного разлёта металлических частиц (искр) при данной кратности сверхтока визуально не зафиксировано. При такой довольно продолжительной перегрузке провода нагревались до такой степени, что ПВХ изоляция начинала плавиться с внутренней стороны и гореть. Следует отметить, что поверхность проводника гладкая (рис. 2а).

Перегрузка примерно от 4 до 8 крат вызывала разрыв алюминиевых проводов в диапазоне от 10 до 40 сек, который сопровождался яркой вспышкой и вылетом одиночных искр.

Вследствие этого, в случае не срабатывания аппаратов, защищающих электрические цепи от коротких замыканий, десятисекундное пребывание алюминиевого проводника под воздействием сверхтока, является пожароопасным процессом. Состояние поверхности проводника, подвергнутого вось-

микратной перегрузке, отличается от проводника, наблюдаемого в предыдущем эксперименте (рис. 2б). Поверхность матовая, не блестящая, с черными участками от взаимодействия с продуктами сгорания подвергшейся термической деструкции ПВХ изоляции. Визуально поверхность выглядит более окисленной.

Перегрузка от 9 крат разделяла алюминиевый проводник до 8 секунд и сопровождалась яркой вспышкой и разлетом множественных раскаленных металлических частиц из зоны разрыва провода. В силу скоротечности процесса, изоляция незначительно оплавлялась и карбонизировалась с внутренней стороны, при этом ее горение не наблюдалось. Поверхность проводника, по визуальной оценке, в большей степени окислена, по сравнению с проводниками, подвергшимися воздействию сверхтока меньшей кратности (рис. 2в).

В целом, можно заключить, что различного сечения проводники вели себя схожим образом при воздействии сверхтока одной кратности.

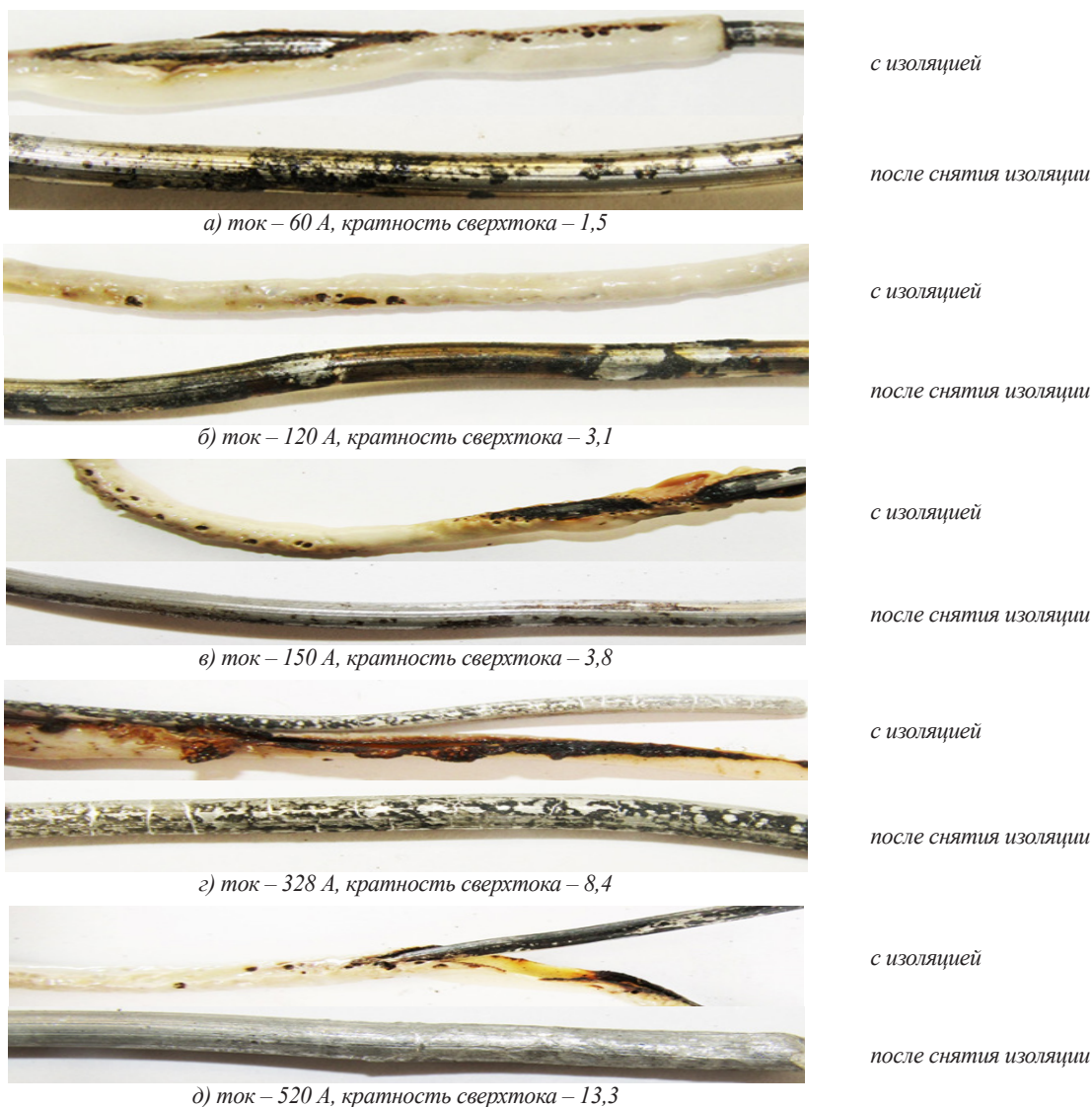


Рисунок 2 – Повреждения алюминиевых проводников сечением 6 мм² в результате воздействия сверхтока различной кратности

На рисунке 3 показаны характерные повреждения алюминиевых проводников, которые формировались при протекании сверхтока. Какой-либо зависимости повреждений от кратности сверхтока и типоразмера проводов в экспериментах не наблюдалось. В целом их можно классифицировать следующим образом: разделение проводника на фрагменты, иногда не до конца, без образования оплавленных участков на его концах, но со структурой излома (рис. 3а, 3б) и локальные оплавления на концах (рис. 3в, 3г). Данные признаки проявлялись на всех типоразмерах проводников, каких-либо закономерностей, связанных со значениями воздействовавшего тока, не выявлено.

Следует отметить, что примерно в половине проведенных экспериментов торец проводника не имел визуальных признаков плавления, но обладал признаками механического разрыва по хрупкому типу без образования шейки. Микроскопическое исследование показало, что в этом случае образуется ячеистая структура. Ячейки имеют овальную и круглую форму, их размеры слабо коррелируют со значением сверхтока (рис. 4).

Аналогичная картина – ячеистая структура – наблюдалась в экспериментах с отдельными проволочками СИП-кабеля. Микроструктура торцевых повреждений проволок кабеля представлена на рисунке 5.



а) Фрагментация проводника на нескольких участках (незавершенная и завершенная)



б) Разрушение на торце без образования видимых признаков плавления



в) Локальное оплавление на конце проводника



г) Локальное оплавление на конце проводника со стекающей каплей

Рисунок 3 – Примеры характерных повреждений алюминиевых проводников при сверхтоке

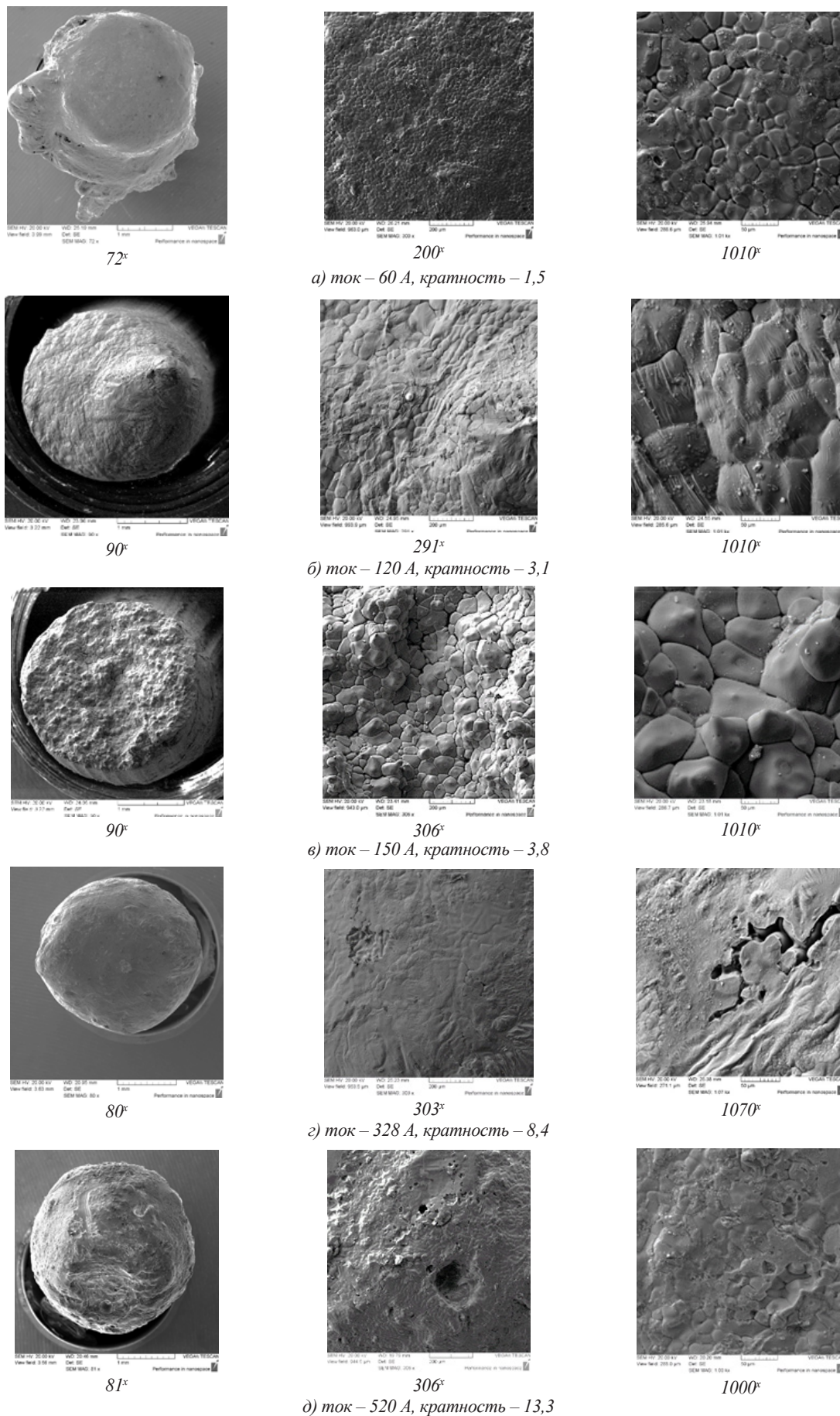


Рисунок 4 – Морфология торцевой поверхности алюминиевых проводников сечением 6 мм² в зоне разрушения после воздействия сверхтока различной кратности, СЭМ

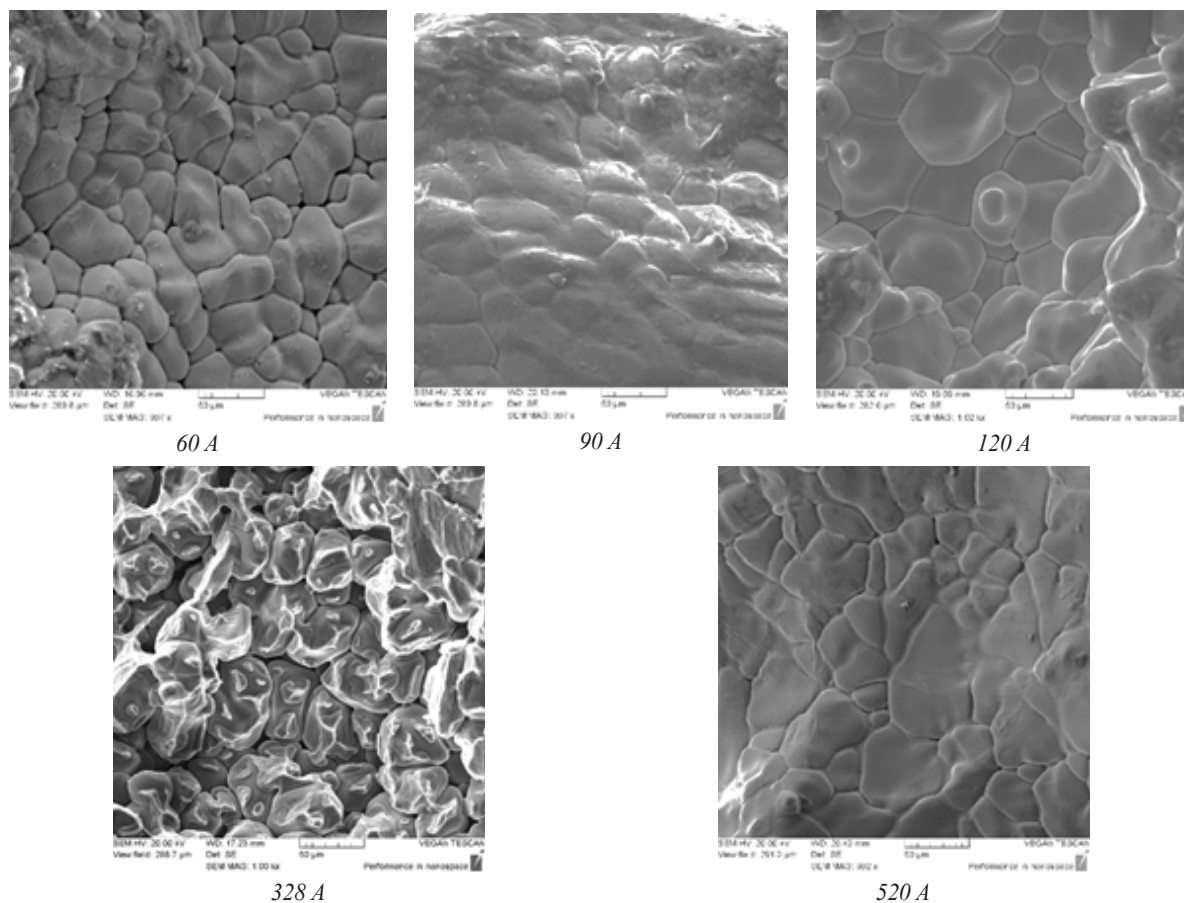


Рисунок 5 – Морфология повреждений торцевой поверхности отдельных проволок СИП-кабеля при различных значениях сверхтока

Также при проведении экспериментов с протеканием сверхтока по алюминиевым проводникам, в отдельных случаях, на поверхности в зоне излома образовывались специфической вытянутой формы микроплавления (рис. 6). Длина микроплавлений варьируются в широком диапазоне – от 5 до 50 мкм, а их толщина составляет величину примерно 5 мкм.

При моделировании одновременного механического растяжения и внешнего теплового воздействия на алюминиевый проводник сечением 2 мм² было обнаружено, что происходит его разделение на части при температуре 500°C. Морфология повреждений

торцевых участков провода показана на рисунке 7. Хорошо видно, что повреждения схожи с теми, которые образуются при воздействии на проводник сверхтока.

Анализ поверхности методом СЭМ показал, что после механического растяжения на торце разрушенного участка появляется излом и следы рельефных элементов в виде полос, складок или волн (показаны стрелками на рисунке 8), которые являются результатом пластических деформаций металла. При этом отсутствует ячеистая структура, которая наблюдалась при 1000-кратном увеличении на проводниках, подвергшихся воздействию сверхтока.

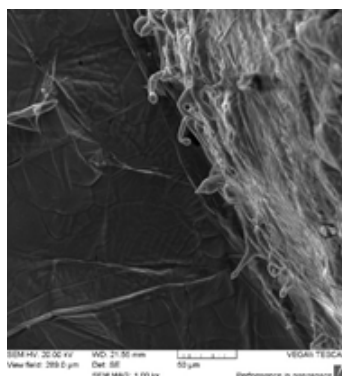


Рисунок 6 – Вытянутые микроплавления на торцевой поверхности алюминиевого проводника в зоне излома после протекания сверхтока

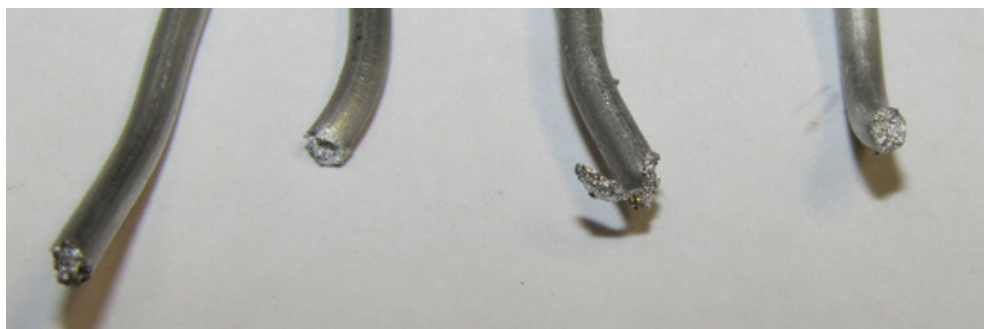


Рисунок 7 – Алюминиевые проводники сечением 2 мм² после разрушения в условиях одновременного внешнего термического воздействия и растяжения

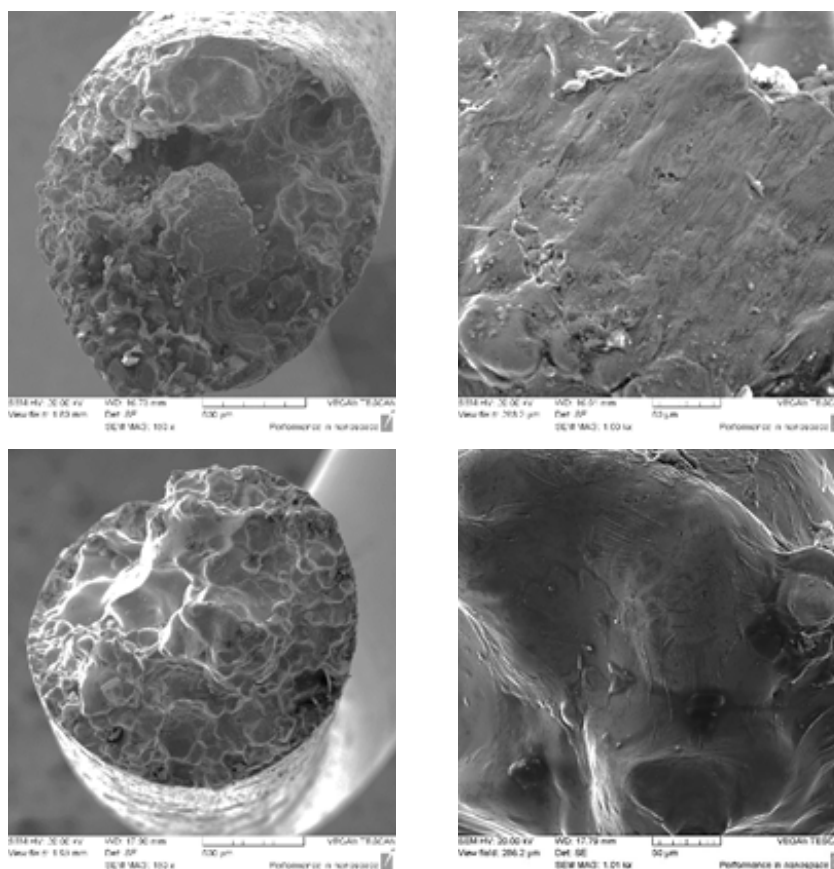


Рисунок 8 – Морфология поврежденной торцевой поверхности алюминиевых проводников сечением 2 мм² после разрушения в условиях одновременного воздействия температуры и растяжения

Обсуждение. При протекании сверхтока по алюминиевому проводнику разрушение в точке излома произошло по хрупкому типу из-за образования трещин и кавитационных полостей в материале из-за повышения температуры. Это привело к образованию ячеистой формы зерна, трещин и впадин в месте излома. Воздействие тока кратностью более 15 приводит к разделению алюминиевого проводника на множественные фрагменты за период времени менее 1 секунды. При этом характерной особенностью такого воздействия является отсутствие оплавленных участков как на поверхности провода, так и на торцевой части образовавшихся отдельных фрагментов. Кратковременность воздействия

сверхтока не приводит к повреждениям, видимым невооружённым глазом, на внутренней поверхности изоляционного слоя. Морфология торцевой части отдельных фрагментов в зоне разрушения проводника характеризуется ячеистой структурой, при этом связать размер ячеек в месте излома не коррелирует с силой тока.

В зоне излома при сверхтоке могут образовываться микрооплавления, которые, судя по вытянутой форме, появляются вследствие разделения проводника на части. Можно предположить, что причиной возникновения таких оплавлений является электродуговой процесс, сопровождающий разделение алюминиевого провода. При этом, ключевым

фактором является мощность этого процесса.

Выводы. Процесс протекания по алюминиевым проводникам сверхтока, в зависимости от тока перегрузки, приводит к различным термическим повреждениям ПВХ изоляции – чем больше кратность ток перегрузки, тем изоляция меньше плавится и карбонизируется. Термическое воздействие тока перегрузки более 15 крат не вызывают горения изоляции вследствие скоротечности процесса.

Анализ морфологии повреждений алюминиевых проводников, возникающих при протекании по ним сверхтока, позволяет сделать следующие выводы.

Следы, образующиеся в результате протекания сверхтока, можно классифицировать следующим образом: во-первых, возможно разделение проводника на фрагменты со структурой излома без образования оплавленных участков, иногда такое разрушение происходит не до конца, во-вторых, разделение проводника на фрагменты с образованием локальных оплавлений на концах.

На торцевых участках проводников, где произошло разделение проводника на фрагменты, формируется ячеистая структура, наблюдаемая методами электронной микроскопии при увеличениях порядка 1000 крат. Также в зоне излома, на торце, могут возникать вытянутые микрооплавления характерными размерами от 5 до 50 мкм.

Механическое растягивающее воздействие на алюминиевый проводник с одновременным термическим воздействием при температуре 500°C приводит к его разрушению. При этом, визуально наблюдаемые повреждения проводника в виде излома на торце схожи с повреждениями, возникающими при сверхтоке. Методом СЭМ установлено наличие признаков пластической деформации в виде полос, складок или волн, что предлагается использовать в качестве критерия, отличающего данный процесс от сверхтока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смелков Г.И., Чешко И.Д., Плотников В.Г. Экспериментальное моделирование пожароопасных аварийных режимов в электрических проводах // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2017. – № 3. – С. 121-128.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко - М.: ВНИИПО. – 2019. – 125 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко - М.: ВНИИПО. – 2020. – 125 с.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко - М.: ВНИИПО. – 2021. – 112 с.
5. Митричев Л.С., Колмаков А.И., Степанов Б.В., Россинская Е.Р., Вртанесьян Э.В., Зернов С.И. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: Методические рекомендации / М.: ВНИИ МВД СССР, 1986. – 44 с.
6. Мокряк А.Ю., Мокряк А.В. Исследование металлических и электротехнических объектов судебной пожарно-технической экспертизы: монография / под общей редакцией Б.В. Гавкалюка – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. – 212 с.
7. Pan Gang, Gao Wei, Zhao Chang Zheng, Di Man. Comprehensive identification technology about electric fire [J]. Journal of Fire Science and Technology, 2005, 24(4): 495-497.
8. Рид С. Дж. Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия.: Техносфера, 2008. – 232 с.
9. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
10. Тихонова И.В., Кузовлева О.В., Поог Е.А., Гвоздев А.Е. Влияние короткого замыкания и термического воздействия на микроструктуру медных и алюминиевых проводников // Взаимодействие дефектов и неупругие явления в твердых телах, Тула, 24 сентября 2007 года – 28 2009 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2007. – С. 49.
11. Zhao Chang Zheng, Wang Xin Ming, Yu Li Li. Analysis on ground fault and propagation characteristic of electrical fire[C]//The Proceedings of the China Association for Science and Technology. Beijing: Science Press, 2009:144-148.
12. Xin-ming Wang, Ying Wu, Chang-zheng Zhao, Qing-shan Meng, Ao Gao, Analysis on Fire Risk of Aluminium Conductors under Electrical Faults in Low Voltage Circuit, Procedia Engineering. – V. 52. – 2013. – P. 408-412. ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.001>
13. Lapovok R.Y.Qi, Kosinova A. Architected hybrid conductors: Aluminium with embedded copper helix / R. Lapovok, Y.Qi.A. Kosinova [et al.] // MATERIALS & DESIGN. – 2020. – V. 187. – P. 108398. – DOI 10.1016/j.matdes.2019.108398.
14. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. – 328 с.
15. Старков А.Г., Кузовлев В.Ю. Применение метода электронной микроскопии в исследовании алюминиевых проводников, изъятых с места пожара // Проблемные вопросы эффективности раскрытия и расследования преступлений: сборник тезисов и статей Международной научно-практической конференции, Москва, 07 марта 2018 года / Составитель Васильев Д.В., Редакция: Бирюков С.Ю., Кайргалиев Д.В. – Москва: ООО "Перископ-Волга", 2018. – С. 260-272.

Статья поступила в редакцию 07.06.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 504.05/.06

EDN: LHGLXQ

**ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА
НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ГОРОДЕ ПЕНЗА**

©Автор(ы) 2024

SPIN: 9459-8170

AuthorID: 1122812

ORCID: 0009-0000-1224-1770

ResearcherID: JCW-6897-2023

МИШИНА Кристина Дмитриевна, аспирант

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: kristina_mishina_1998@mail.ru)

SPIN: 3519-3682

AuthorID: 271281

ORCID: 0000-0002-3726

ResearcherID: V-7481-2018

ScopusID: 57205663503

БЕЗБОРОДОВА Оксана Евгеньевна, доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Политехнический институт

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: oxana243@yandex.ru)

SPIN: 3024-1393

AuthorID: 183204

ORCID: ID 0000-0001-9299-1005

ResearcherID: Y-3115-2018

ScopusID: 56613172200

БОДИН Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Техническое управление качеством»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, bodin_o@inbox.ru)

SPIN: 5333-3870

AuthorID: 671445

ORCID: 0009-0004-2721-3839

КАМАРДИНА Наталья Владленовна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техносферная безопасность» Политехнический институт

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: alisa-melafon@mail.ru)

Аннотация. С каждым годом в мире увеличивается число объектов производственно-хозяйственной деятельности. Это приводит к увеличению объемов выбросов в атмосферу и росту концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе. Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу от этих объектов, приводят к ухудшению состояния окружающей среды и возникновению различных заболеваний у населения, проживающего вблизи объектов производственно-хозяйственной деятельности. Для повышения качества среды обитания человека вблизи объектов производственно-хозяйственной деятельности необходимо проводить систематическую работу, направленную на идентификацию ЗВ, выявление и оценку их влияния на объекты окружающей среды и функциональное состояние организма (ФСО) человека и разработать способы уменьшения такого влияния. В работе проведен анализ позволивший выявить наиболее распространенные ЗВ, выделяющиеся в атмосферу от объектов производственно-хозяйственной деятельности города Пенза. Определено влияние этих веществ на развитие у населения определённых классов болезней. Установлено, что наибольшей вероятностью возникновения у исследуемого населения обладают заболевания органов дыхания – 57% от общего числа болезней. Так же выявлено, что наибольшую опасность исследуемые ЗВ представляют для населения, проживающего в зоне воздействия (потенциально опасной зоне), то есть в зоне наибольшего влияния ЗВ. Для уменьшения вероятности возникновения заболеваний у населения необходимо снизить количество выбросов от объектов производственно-хозяйственной деятельности, расположенных на территории города Пенза на 15% в год, что уменьшит вероятность возникновения болезней в 1,5 раза.

Ключевые слова: окружающая среда, функциональное состояние организма человека, атмосферный воздух, загрязняющие вещества, системы мониторинга, объекты производственно-хозяйственной деятельности.

**STUDIES OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN IMPACT OF NEGATIVE FACTORS
OF INDUSTRIAL AND ECONOMIC ACTIVITY IN THE CITY OF PENZA**

©The Author(s) 2024

MISHINA Kristina Dmitrievna, postgraduate student

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: kristina_mishina_1998@mail.ru)

BEZBORODOVA Oksana Evgenievna, doctor of technical sciences, docent,

head of the department «Technosphere Safety» Polytechnic Institute

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: oxana243@yandex.ru)

BODIN Oleg Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,

professor of the department «Technical quality management»

Penza State Technological University

(440039, Penza, Baidukova proezd/Gagarin Street, 1a/11, bodin_o@inbox.ru)

KAMARDINA Natalya Vladlenovna, candidate of technical sciences,

docent of the department «Technosphere Safety» Polytechnic Institute

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: alisa-melafon@mail.ru)

Abstract. Every year the number of industrial and economic facilities in the world increases. This leads to an increase in the volume of emissions into the atmosphere and an increase in the concentration of pollutants (PP) in the air. Pollutants released into the atmosphere from these facilities lead to deterioration of the environment and the occurrence of various diseases in the population living near industrial and economic facilities. In order to improve the quality of the human environment near industrial and economic facilities, it is necessary to carry out systematic work aimed at identifying PP, identifying and assessing their impact on environmental objects and the functional state of a person, and developing ways to reduce this impact. The work conducted an analysis that allowed us to identify the most common PP emitted into the atmosphere from industrial and economic facilities in the city of Penza. The influence of these substances on the development of certain classes of diseases in the population was determined. It was found that the greatest probability of occurrence in the studied population is respiratory diseases - 57% of the total number of diseases. It was also found that the studied pollutants pose the greatest danger to the population living in the impact zone (potentially hazardous zone), i.e. in the zone of greatest influence of pollutants. To reduce the likelihood of diseases among the population, it is necessary to reduce the amount of emissions from industrial and economic facilities located in the city of Penza by 15% per year, which will reduce the likelihood of diseases by 1.5 times.

Keywords: the environment, the functional state of the human body, atmospheric air, hazardous chemicals, monitoring systems, objects of industrial and economic activity.

Для цитирования: Мишина К.Д. Исследования уровня воздействия на окружающую среду и человека негативных факторов производственно-хозяйственной деятельности в городе Пенза / К.Д. Мишина, О.Е. Безбородова, О.Н. Бодин, Н.В. Камардина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 142-150. – EDN: LHGLXQ.

Введение. С каждым годом увеличивается уровень урбанизации территории, растет количество техногенных объектов и активизируется производственно-хозяйственная деятельность человека. Это является причиной увеличения концентрации ЗВ техногенного происхождения в атмосфере, что влечет за собой изменение качества окружающей среды и влияет на ФСО человека [1, 2].

Рост промышленного производства на территории Пензенской области ведет к тому, что ежедневно в воздух выделяются существенные количества различных по природе происхождения ЗВ (диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), угарный газ (CO), взвешенные вещества (BB), бензол (C_6H_6), толуол (C_7H_8), формальдегид (CH_2O) и др.), воздействующих на объекты окружающей среды и ФСО человека [3, 4]. Накопление этих веществ в объектах окружающей среды (биоаккумуляция)

приведет в конечном итоге к накоплению количества, значительно превышающего безопасные уровни (ПДК), и вызовет необратимые последствия. Например, увеличение концентрации оксидов серы и азота и их сочетание с водными парами в атмосфере может приводить к образованию кислотных дождей, которые закисляют почву, водоемы, меняя характеристики среды обитания флоры и фауны данной местности. Так же вещества, выбрасываемые в атмосферу, могут оседать на почвенных покровах, проникать в них и разрушать их структуру и свойства. Реакция человека на ЗВ в окружающей среде зависит от его пола, возраста, состояния здоровья и места его проживания относительно объекта производственно-хозяйственной деятельности.

Наличие этих ЗВ в воздухе зоны проживания человека может привести к появлению и/или увеличению случаев аллергических, респираторных

(бронхит, астма и т.д.), сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и заболеваний нервной системы [5-18].

Постоянное проживание вблизи объектов производственно-хозяйственной деятельности приводит к формированию бремени болезней, а именно, ухудшению ФСО человека, общему росту заболеваемости, снижению продолжительности жизни и

повышению смертности [19].

Для контроля над качественными и количественными характеристиками выбросов, осуществляемых объектами производственно-хозяйственной деятельности и города Пензы, а также за их влиянием на качество среды обитания и ФСО человека, предлагается алгоритм, приведенный на рисунке 1 [20-22].



Рисунок 1 – Алгоритм проведения мониторинга окружающей среды и ФСО человека

Такой подход поможет осуществить качественный контроль над промышленно-хозяйственной деятельностью человека, состоянием окружающей среды и ФСО человека.

Основной целью данного исследования является определение вклада в состояние окружающей среды и ФСО человека негативных факторов производственно-хозяйственной деятельности в городе Пенза, генерируемых предприятиями машино- и приборостроительного кластера расположенными в «заводском» районе города.

Для этого предполагается решить задачи:

- проанализировать производственно-хозяйственную деятельность в городе Пенза и установить наиболее значимые негативные факторы – ЗВ;
- определить количества ЗВ, выделяющихся при производственно-хозяйственной деятельности в окружающую среду и оказывающих влияние на ФСО человека;
- определить вероятность изменения ФСО человека под воздействием этих ЗВ.

Методология. Источниками возможного негативного воздействия на состояние окружающей среды и ФСО человека, являются объекты производственно-хозяйственной деятельности. Для определения влияния выбросов на состояние окружающей среды и ФСО человека существует комплекс нормативных документов [22, 23]. На их основе разработана

методика определения вероятности изменения ФСО человека при воздействии на него ЗВ через атмосферу.

Согласно [22, 23] количество ЗВ в атмосфере за период наблюдения определяют по формуле:

$$A_{cp} = A \cdot t \quad (1)$$

где A_{cp} – среднесуточная доза (ССД) ЗВ, усредненная для учета хронического воздействия (мг/кг·сутки);

A – ССД ЗВ на день воздействия (мг/кг·сутки); t – коэффициент, учитывающий время воздействия ЗВ на человека и определяемый по формуле:

$$t = E / D \quad (2)$$

где E – период воздействия ЗВ на окружающую среду и ФСО человека (день); D – количество дней в году.

Расчет ССД ЗВ, попадающего в окружающую среду и, соответственно, в организм человека проводят по формуле:

$$A = (c \cdot R \cdot E) / (m \cdot T) \quad (3)$$

где c – концентрация ЗВ в атмосфере (мг/м³); R – скорость поступления в атмосферу воздушного потока, содержащего ЗВ (м³/день); m – масса тела человека (кг); T – период усреднения воздействия (сутки).

Сбор исходных данных для определения вероятности изменения ФСО человека под воздействием исследуемых ЗВ начинают с определения размера зоны воздействия у объекта

производственно-хозяйственной деятельности. Зона воздействия состоит из двух частей: первая часть представляет собой санитарно-защитную зону объекта производственно-хозяйственной деятельности, вторая – равная ей по размеру потенциально опасная зона влияния негативных факторов.

Затем составляют выборки из населения, проживающего в зоне и вне зоны воздействия исследуемых ЗВ, определяют влияние ССД каждого исследуемого ЗВ на каждого человека в выборке. Для этого для каждого человека из выборки проводят ряд медицинских, лабораторных и диагностических исследований, для выявления возможных отклонений под воздействием исследуемых ЗВ, а также объединения их в специальные базы данных. На основе полученной информации устанавливают взаимосвязь между нарушением ФСО человека и наличием в окружающей среде исследуемых ЗВ.

На основании полученных данных о нарушении ФСО человека, его относят к соответствующему классу болезней (КБ) для каждого человека в выборке, в зависимости от нахождения в зоне или вне зоны воздействия исследуемых ЗВ.

После чего соотносят значения хронической суммарной ССД ЗВ и соответствующего ему КБ для каждого человека в выборке, в зависимости от нахождения в зоне или вне зоны воздействия.

На основании полученной информации дополняют базы данных по каждому человеку в выборке.

После этого для каждого человека в выборке рассчитывают хроническую суммарную ССД каждого ЗВ, обуславливающую нарушение ФСО по формуле:

$$D_i^Z = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{cpj}^i \quad (4)$$

где D_i^Z – хроническая суммарная ССД ЗВ, обуславливающая отдельное впервые выявленное хроническое заболевание, входящее в определенный КБ, по всем лицам с этим заболеванием, по всем контрольным точкам для условий годового периода осреднения, мг/(кг·сутки); A_{cpj}^i – хроническая ССД ЗВ, определяющая впервые выявленное хроническое заболевание, входящее в определенный КБ, по всем лицам с этим заболеванием в каждой контрольной точке для условий годового периода осреднения в зоне воздействия, мг/(кг·сутки); N – число лиц с впервые выявленным хроническим заболеванием, входящим в определенный КБ, по отношению к периоду наблюдения, предшествующему моменту оценки.

Для людей, находящихся вне зоны воздействия, рассчитывают хроническую суммарную ССД каждого ЗВ по формуле:

$$\overline{D_i^Z} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \overline{A_{cpj}^i} \quad (5)$$

где $\overline{D_i^Z}$ – хроническая суммарная ССД ЗВ, не связанная с негативным ответом, мг/(кг·сутки); $\overline{A_{cpj}^i}$ – хроническая ССД ЗВ, определяющая впервые выявленное хроническое заболевание, входящее в определенный КБ, по всем лицам с этим

заболеванием в каждой контрольной точке для условий годового периода осреднения вне зоны воздействия, мг/(кг·сутки); N – число лиц с впервые выявленным хроническим заболеванием, входящим в определенный КБ, по отношению к периоду наблюдения, предшествующему моменту оценки.

Затем производят расчет хронической суммарной ССД каждого ЗВ, обуславливающей нарушение здоровья в виде впервые выявленных хронических заболеваний в целом по всему спектру выявленных КБ в зоне воздействия по формуле:

$$D_i^K = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K D_i^Z \quad (6)$$

где D_i^K – хроническая суммарная ССД ЗВ, формирующая впервые выявленное хроническое заболевание в целом по всему спектру выявленных КБ, за соответствующий период наблюдения, мг/(кг·сутки); D_i^Z – хроническая суммарная ССД ЗВ, определяющая впервые выявленное хроническое заболевание, входящее в определенный КБ, по всем контрольным точкам за соответствующий период наблюдения (1 год), мг/(кг·сутки); K – количество выявленных КБ за соответствующий период наблюдения (1 год).

Для людей, находящихся вне зоны воздействия рассчитывают хроническую суммарную ССД ЗВ по формуле:

$$\overline{D_i^K} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \overline{D_i^Z} \quad (7)$$

где $\overline{D_i^K}$ – хроническая суммарная ССД ЗВ, формирующая впервые выявленное хроническое заболевание в целом по всему спектру выявленных КБ, не связанная с негативным ответом, мг/(кг·сутки); $\overline{D_i^Z}$ – хроническая суммарная ССД ЗВ, не связанная с негативным ответом, мг/(кг·сутки); K – количество выявленных КБ за соответствующий период наблюдения (1 год).

На основании данных расчетов, а также данных об производственных объектах, оказывающих влияние на атмосферу, можно выявить вклад каждого исследуемого ЗВ в формирование болезни у населения данной территории и обосновать необходимость снижения выбросов ЗВ [22].

Для проведения данного исследования было использовано специальное программное обеспечение (ПО) [24], которое реализует методологию [22] и облегчает проведение расчетов.

Результаты. Согласно данным санитарно-гигиенического мониторинга наиболее распространенные ЗВ, выделяемые в атмосферу города Пенза предприятиями машино- и приборостроительного кластера это SO_2 , NO_2 , BB , CO и CH_2O . В исследовании использованы результаты мониторинга промышленных объектов, расположенных в черте города Пензы и окруженного зоной жилой застройки.

Зона распространения исследуемых ЗВ определяется расстоянием в 2 км от объектов производственно-хозяйственной деятельности, из которых 600 м вблизи объектов являются зоной

воздействия, в ней население получает больший контакт с исследуемыми ЗВ. Высота источников выброса объектов производственно-хозяйственной деятельности составляет 50 м. Плановое снижение выбросов в год – 15%. Среднегодовая скорость распространения ветра 9 км/ч, ветер преимущественно западный.

Из-за преимущественного западного ветра в выборку были определены люди, живущие в районе по направлению потока ветра, находящиеся на необходимом расстоянии от промышленного объекта. Все население исследуемого района города разделено на 14 групп по возрастным и весовым характеристикам. И, на первом этапе исследования, для каждой группы выбран один представитель анализ данных которого позволил получить предварительные результаты и выявить общие

тенденции исследования.

Согласно [25] ПДК для исследуемых ЗВ представлены в таблице 1:

Исходные данные включали себя вес и возраст человека, а также измеренную дозу среднегодовой концентрации ЗВ согласно данным санитарно-гигиенического мониторинга (табл. 2).

Для расчета использовано специальное ПО [24]. По исходным данным (табл.2) рассчитаны хронические ССД ЗВ, усредненные за один год, и определены возможные КБ, для каждого человека из выборки в зоне и вне зоны воздействия (табл. 3).

На основе результатов расчетов, определили влияние каждого из исследуемых ЗВ в изменение ФСО человека.

Результаты расчета и анализа приведены в виде круговых диаграмм на рисунках 2-5.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации исследуемых ЗВ

Параметр	SO ₂	NO ₂	ВВ	СО	CH ₂ O
ПДК, мг/м ³	0,05	0,04	0,075	3,0	0,003

Таблица 2 – Данные санитарно-гигиенического мониторинга для расчетов

№	Возраст, год	Вес, кг	Средняя годовая концентрация ЗВ в окружающей среде, мг/м³				
			SO ₂	NO ₂	ВВ	CO	CH ₂ O
В зоне воздействия (до двух размеров санитарно-защитной зоны)							
1	1	9	0,003	0,028	0,06	0,6	0,0024
2	3	18	0,01	0,03	0,065	2,4	0,0025
3	5	25	0,03	0,04	0,082	2,8	0,0029
4	9	30	0,045	0,044	0,086	3,2	0,0033
5	12	34	0,053	0,046	0,088	3,4	0,0035
6	15	33	0,043	0,043	0,085	3,1	0,0032
7	18	40	0,013	0,032	0,07	2,5	0,0026
8	30	59	0,02	0,035	0,075	2,6	0,0027
9	40	80	0,033	0,041	0,083	2,9	0,003
10	50	75	0,06	0,048	0,09	3,6	0,0096
11	55	77	0,023	0,037	0,08	2,7	0,0028
12	60	74	0,04	0,042	0,084	3	0,0031
13	65	84	0,05	0,045	0,087	3,3	0,0034
14	70	63	0,055	0,047	0,089	3,5	0,0036
Вне зоны воздействия (более двух размеров санитарно-защитной зоны)							
1	1	9	0,0025	0,025	0,06	0,55	0,0096
2	3	18	0,0036	0,023	0,067	0,51	0,009
3	5	25	0,0047	0,023	0,062	0,65	0,0068
4	9	30	0,0032	0,028	0,07	0,6	0,0096
5	12	34	0,0041	0,018	0,072	0,68	0,0081
6	15	33	0,0038	0,033	0,065	0,52	0,0085
7	18	40	0,0033	0,027	0,07	0,63	0,0074
8	30	59	0,0021	0,03	0,075	0,66	0,0081
9	40	80	0,003	0,025	0,062	0,66	0,0095
10	50	75	0,003	0,028	0,052	0,67	0,0063
11	55	77	0,0045	0,024	0,052	0,45	0,0091
12	60	74	0,0029	0,024	0,067	0,63	0,0089
13	65	84	0,004	0,036	0,071	0,59	0,0085
14	70	63	0,0037	0,025	0,075	0,81	0,0074

Таблица 3 – Хроническая ССД ЗВ и КБ, к которому отнесен диагноз впервые выявленного хронического заболевания, для каждого человека в зоне и вне зоны воздействия за наблюдаемый период (один год)

№ п/п	Хроническая ССД ЗВ, усредненная на воздействие с частотой 1 год, мг/(кг·сутки)					КБ в соответствии с диагнозом заболевания
	SO ₂	NO ₂	ВВ	СО	CH ₂ O	
В зоне воздействия (до двух размеров санитарно-защитной зоны)						
1	0,006801	0,06348	0,1360	1,360	0,005441	БОД
2	0,01133	0,03401	0,07368	2,721	0,002834	БОД
3	0,02448	0,03264	0,06692	2,285	0,002367	БОД
4	0,03061	0,02993	0,05849	2,176	0,002244	БОП
5	0,03181	0,02761	0,05281	2,041	0,002101	БОД
6	0,02658	0,02658	0,05255	1,916	0,001978	БК и КО
7	0,006631	0,01632	0,03571	1,275	0,001326	БНС
8	0,006917	0,01210	0,02593	0,8992	0,0009338	БОД
9	0,008417	0,01045	0,02117	0,7396	0,0007652	БК и КО
10	0,01632	0,01305	0,02448	0,9794	0,002612	БОП
11	0,006095	0,009805	0,02120	0,7155	0,0007420	БОД
12	0,01102	0,01158	0,02316	0,8272	0,0008548	БОД
13	0,01214	0,01093	0,02113	0,8016	0,0008259	БОД
14	0,01781	0,01522	0,02882	1,133	0,001166	БОД
Вне зоны воздействия (более двух размеров санитарно-защитной зоны)						
1	0,005668	0,05668	0,1360	1,247	0,02176	БОД
2	0,004081	0,02607	0,07595	0,5781	0,01020	БОД
3	0,003836	0,01877	0,05061	0,5305	0,005550	БОД
4	0,002176	0,01904	0,04761	0,4081	0,006529	БОП
5	0,002461	0,01080	0,04321	0,4081	0,004861	БОД
6	0,002349	0,02041	0,04019	0,3215	0,005255	БК и КО
7	0,001683	0,01377	0,03571	0,3213	0,003775	БНС
8	0,0007262	0,01037	0,02593	0,2282	0,002801	БОД
9	0,0007652	0,006376	0,01581	0,1683	0,002423	БК и КО
10	0,0008162	0,007618	0,01414	0,1822	0,001714	БОП
11	0,001192	0,006360	0,01378	0,1192	0,002411	БОД
12	0,0007996	0,006617	0,01847	0,1737	0,002454	БОД
13	0,0009716	0,008745	0,01724	0,1433	0,002064	БНС
14	0,001198	0,008097	0,02429	0,2623	0,002396	БОД

Примечание: БОД – болезни органов дыхания; БОП – болезни органов пищеварения; БК и КО – болезни крови и кроветворных органов; БНС – болезни нервной системы;

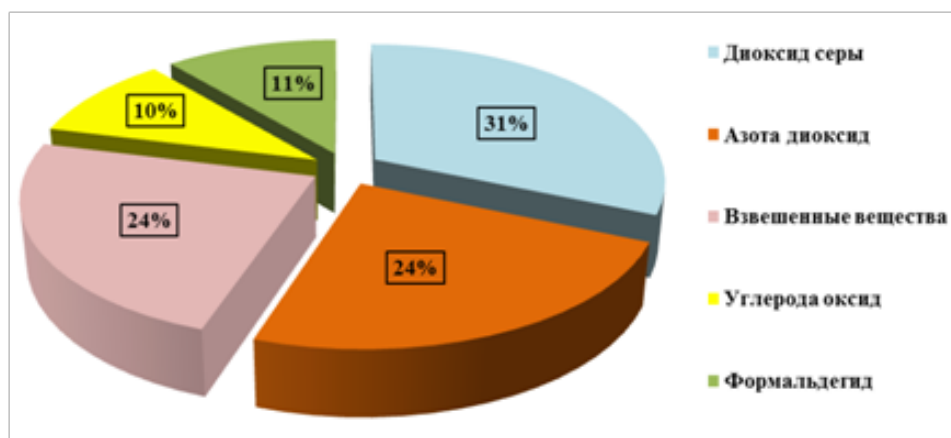


Рисунок 2 – Вероятность изменения ФСО человека (возникновение БОД) под воздействием исследуемых ЗВ

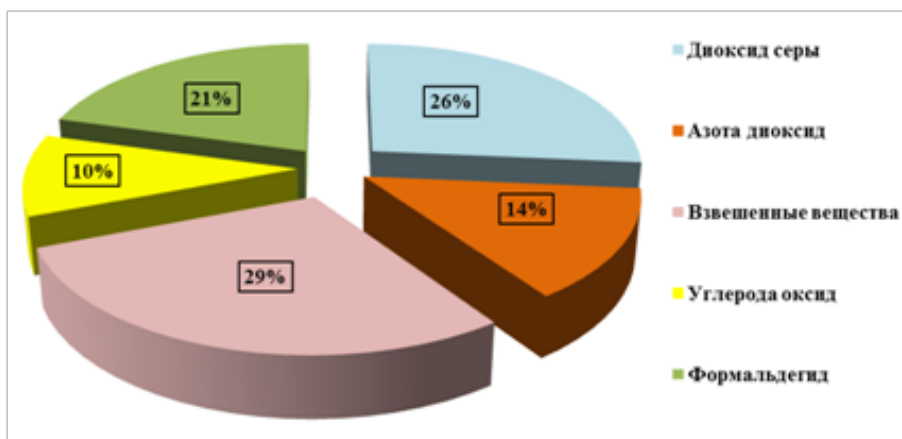


Рисунок 3 – Вероятность изменения ФСО человека (возникновение БОП) под воздействием исследуемых ЗВ

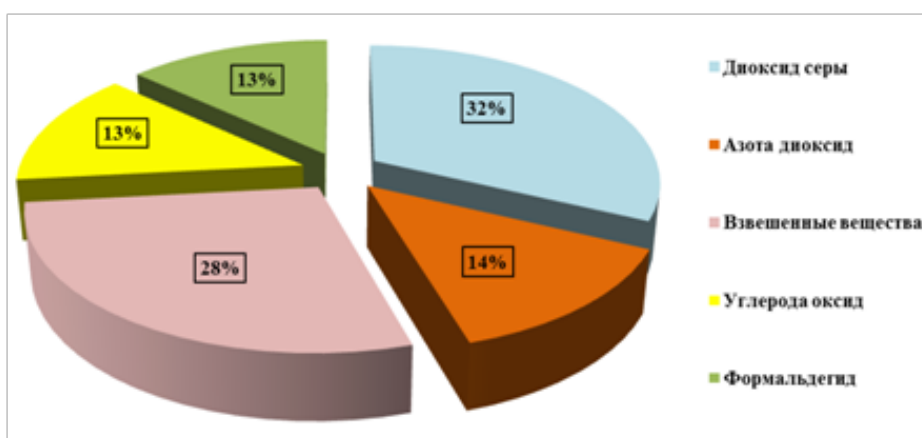


Рисунок 4 – Вероятность изменения ФСО человека (возникновение БК и КО) под воздействием исследуемых ЗВ

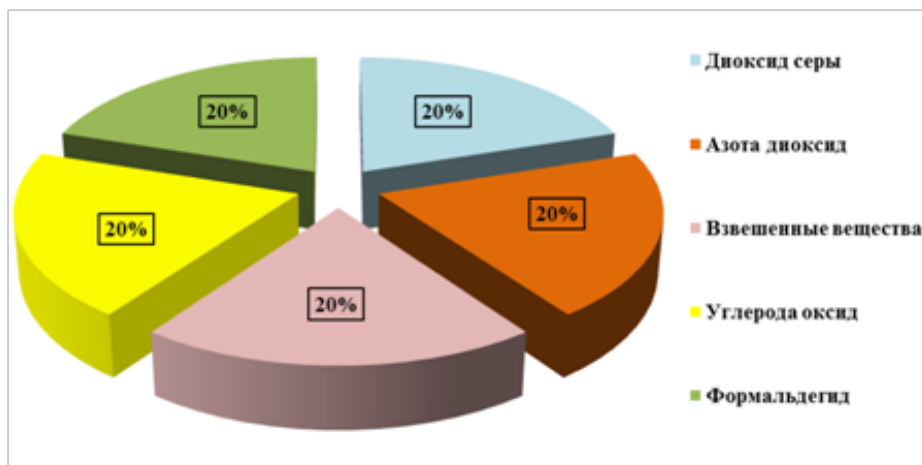


Рисунок 5 – Вероятность изменения ФСО человека (возникновение БНС) под воздействием исследуемых ЗВ

Таким образом, основываясь на данных, полученных в результате санитарно-гигиенического мониторинга, можно увидеть, что концентрация исследуемых ЗВ в зоне воздействия больше, чем за ее пределами. Из людей в исследуемой выборке в наибольшей зоне риска, также находятся дети и люди пожилого возраста. Результаты расчета показывают, что исследуемые ЗВ, оказывают негативное воздействие на ФСО человека.

Обсуждение. Из расчетов видно, что хронические среднесуточные дозы исследуемых ЗВ в зоне воздействия существенно выше, чем вне этой зоны. Это обусловлено планировкой городской среды, скоростью движения воздушных масс и господствующей розой ветров. Поэтому негативное воздействие на ФСО, а в зоне воздействия выше и это вносит значительный вклад в развитие заболеваний у населения.

Данные, приведенные в таблице 6 наглядно показывают, что вероятность возникновения у населения заболеваний органов дыхания составляет примерно 57%, тогда как вероятность других заболеваний составляет около 12-18%.

На диаграммах видно, что исследуемые ЗВ вносят различный вклад в формирование ФСО человека.

Возникновения заболеваний органов дыхания и болезней крови и кроветворных органов в большей степени связано с воздействием диоксида серы 31% и 32% соответственно. Для возникновения заболеваний органов пищеварения большую опасность представляют взвешенные вещества (29%). Вклад в вероятность возникновения заболеваний нервной системы все исследуемые ЗВ вносят равноценный.

Из всех исследуемых ЗВ меньшую опасность для состояния окружающей среды и ФСО человека представляет монооксид углерода, так как его количество и концентрация в выбросах меньше, чем других ЗВ.

Выводы. На основе данных полученных в ходе исследования следует отметить, что увеличение номенклатуры, количества и концентраций ЗВ, попадающих в атмосферу в результате производственно-хозяйственной деятельности человека, отрицательно влияет на состояние окружающей среды и ФСО человека. Поэтому необходимо разработать и осуществлять комплекс природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий, направленных на минимизацию и/или исключение попадания ЗВ в атмосферу.

Основываясь на [22-24] предложен алгоритм анализа содержания ЗВ в атмосферном воздухе и последующего выявления их влияния на качество ФСО человека.

По полученным данным видно, что большой вклад в вероятность образования определенных классов болезней вносят показатели исследуемых ЗВ, полученных в зоне воздействия. При учете, что в области равной расстоянию санитарно-защитной зоны объекта производственно-хозяйственной деятельности (300 м) никто не проживает и весь негативный вклад для населения происходит в потенциально опасной зоне (следующие 300 м).

Поэтому основываясь на полученных данных исследования можно сделать вывод, что для людей, проживающих в зоне воздействия объекта производственно-хозяйственной деятельности, необходимо проводить профилактическо-диагностические мероприятия, осуществлять своевременный контроль над состоянием окружающей среды вместе их проживания и над ФСО человека. Данные мероприятия могут помочь снизить вероятность возникновения заболеваний или полностью предотвратить их возникновение.

Так же для уменьшения возникновения заболеваний у населения планируется снижение выбросов объекта производственно-хозяйственной деятельности на 15% в год, что поможет снизить

вероятность возникновения болезней в 1,5 раза. Для получения более точных данных исследования будут продолжены на более значимой выборке населения, проживающего в исследуемом районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шадиметов Ю.Ш., Айрапетов Д.А. Влияние промышленности на окружающую среду и здоровье населения // Наукосфера. – 2023. – № 4 (2). – С. 76-81. – DOI 10.5281/zenodo.7883043
2. Бенганов Ш.М. Загрязнение атмосферного пространства как следствие техногенного воздействия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 7-1(70). – С. 14-16. – DOI 10.24412/2500-1000-2022-7-1-14-16. EDN VTRYVK.
3. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Пензенской области в 2021 году». Пенза, 2022. – 163 с.
4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 684с.
5. Андришунас А.М., Клейн С.В. Гигиеническая оценка компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в атмосферном воздухе в зоне влияния крупного промышленного предприятия. Медицина труда и экология человека. – 2023. – С. 98-116. – DOI: 10.24412/2411-3794-2023-10207.
6. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Бабина С.В., Клейн С.В., Андришунас А.М. Параметризация зависимостей между факторами риска и здоровьем населения при хроническом воздействии многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха. Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 33-44.
7. Канина А.Р. Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека // The Scientific Heritage. – 2021. – №78-2. – С. 15-16. – DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-2-15-16.
8. Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Устинова О.Ю., Бабина С.В., Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М. Анализ рисков потерь здоровья и комплексная оценка эффективности целевых мер территориальных систем здравоохранения по снижению смертности населения от сердечно-сосудистых и онко-логических заболеваний. Здравоохранение Российской Федерации. 2021; 65(4): 302-309. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-302-309>.
9. Wahyunengseh R.D., Hastjarjo S. Big Data Analysis of Policies on Disaster Communication: Mapping the issues of communication and public responses in the government social media // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 717, № 1. – P. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/717/1/012004.
10. Next-generation big data federation access control: A reference model / F.M. Awaysheh, M. Alazab, M. Gupta, T.F. Pena, J.C. Cabaleiro // Future Generation Computer Systems. 2020. № 108. P. 726–741.
11. Sanjay Rajagopalan, Sadeer G. Al-Kindi, Robert D. Brook Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review / J.Am.Coll.Cardiol. 2018. № 72 (17). P. 2054-2070.
12. Pesticide residues in Nepalese vegetables and potential health risks / G. Bhandari, P. Zomer, K. Atreya, H.G.J. Mol, X. Yang, V. Geissen // Environ. Res. 2019. Vol. 172. P. 511–521. DOI: 10.1016/j.envres.2019.03.002.
13. Assessment of Trace Elements Supply in Canned Tuna Fish Commercialized for Human Consumption in Brazil / N.V. de Lima, D. Granja Arakaki, E.S. de Padua Melo, D.J. Machate, V.A. do Nascimento // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 22. – P. 12002. DOI: 10.3390/ijerph182212002.
14. Liao Z., Nie J., Sun P. The impact of particulate matter (PM2.5) on skin barrier revealed by transcriptome analysis: Focusing on cholesterol metabolism // Toxicol. Rep. 2019. – Vol. 7. – P. 1-9. – DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.11.014.
15. Skin Damage Mechanisms Related to Airborne Particulate Matter Exposure / N.D. Magnani, X.M. Muresan, G. Belmonte, F. Cervellati, C. Sticozzi, A. Pecorelli, C. Miracco, T. Marchini [et al.] // Toxicol. Sci. – 2016. – Vol. 149, № 1. – P. 227-236. DOI: 10.1093/toxsci/kfv230.
16. Air Pollution and Dementia: A Systematic Review / R.

Peters, N. Ee, J. Peters, A. Booth, I. Mudway, K.J. Anstey // J. Alzheimers Dis. 2019. – Vol. 70, № s1. – P. S145-S163. – DOI: 10.3233/JAD-180631.

17. Choi H., Kim S.H. Air Pollution and Dementia // Dement. Neurocogn. Disord. – 2019. – Vol. 18, № 4. – P. 109-112. DOI: 10.12779/dnd.2019.18.4.109.

18. Fine particulate matter exposure during childhood relates to hemispheric-specific differences in brain structure / D. Cserbik, J.-C. Chen, R. McConnell, K. Berhane, E.R. Sowell, J. Schwartz, D.A. Hackman, E. Kan // Environ. Int. – 2020. – Vol. 143. – P. 105933. – DOI: 10.1016/j.envint.2020.105933.

19. Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Бабина С.В., Камалтдинов М.Р. Санитарно-эпидемиологический надзор: новый этап развития в условиях цифровизации и правовых изменений // Профилактическая медицина: актуальные аспекты анализа риска здоровью. – 2021. – № 2. – С. 4-16. – DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.01/

20. Май И.В., Вековщина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: практический опыт выбора химических веществ для информационной системы анализа качества атмосферного воздуха Норильска. Гигиена и санитария. – 2020. – № 99 (8). – С. 766-772.

21. Грозаву И.И., Курбанбаева Д.Ф., Шматко А.Д. Возможности совершенствования социально-гигиенического мониторинга с помощью информационных технологий // Медицинские науки. – 2016. – № 54. – С. 312-315.

22. Методические рекомендации МР 2.1.10.0273-22. «Оценка воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни, в том числе с возможностью проведения экспресс-оценки», утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 20 января 2022 г.

23. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

24. Программное обеспечение «Оценка достаточности и эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для митигации рисков и вреда здоровью населения» утвержденная ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

25. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Статья поступила в редакцию 29.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 504.064.2.001.18

EDN: LQBGAI

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕДОБЫЧИ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 7916-2261

AuthorID: 813119

ORCID: 0000-0001-9305-3061

ResearcherID: KFR-7322-2024

ScopusID: 57226552043

ЗАХАРОВА Елена Анатольевна, кандидат биологических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
(127434, Россия, Москва, улица Тимирязевская, 49, e-mail: e.zakharova@rgau-mcsxa.ru)*

SPIN: 4709-9965

AuthorID: 862182

ORCID: 0000-0001-5196-7447

ResearcherID: AAE-5952-2022

ScopusID: 57218279205

ШИРОКОВ Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры техносферной безопасности*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
(127434, Россия, Москва, улица Тимирязевская, 49, e-mail: shirokov001@mail.ru)*

SPIN: 3565-3539

AuthorID: 521004

ORCID: 0000-0001-9349-6874

ResearcherID: AAE-2547-2019

ScopusID: 57194042949

МУРКО Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры техносферной безопасности*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
(127434, Россия, Москва, улица Тимирязевская, 49, e-mail: e.murko@rgau-mcsxa.ru)*

Аннотация. Добыча углеводородов – процесс, активно воздействующий на окружающую среду. Для интенсификации притока флюида в продуктивный пласт наиболее часто применяют гидродинамический разрыв пласта. Задача нашего исследования – оценка экологической эффективности гидроразрыва пласта, которая проводилась путем отбора групп экологических индикаторов. Цель исследования – совершенствование методического подхода и инструментария оценки экологической эффективности методов интенсификации добычи углеводородов, в частности гидроразрыва пласта. Для оценки экологической эффективности гидроразрыва пласта предлагается использовать такой индикатор как «Прямые выбросы углекислого газа». Углекислый газ образуется как продукт сжигания попутных нефтяных газов и выделяется в атмосферу непосредственно при добыче углеводородов. Расчеты проводились по относительным показателям объемов выбросов и отходов к объемам продукции. Анализ экологической эффективности процессов интенсификации проводился в три этапа. Первый этап – выбор критериев оценки влияния технологического процесса на окружающую среду по механизму «Влияние – Состояние – Ответ». Второй – расчет интегральных показателей по ступеням «Влияние», «Состояние» и «Ответ». На третьем этапе вычислялся интегральный показатель всего процесса в целом и была дана оценка экологической эффективности гидроразрыва пласта. Применение схемы «Влияние – Состояние – Ответ» при анализе экологической эффективности гидроразрыва пласта позволяет оценить в баллах степень влияния данного технологического процесса на состояние окружающей среды. На сегодняшний день один из широко применяемых методов интенсификации пласта – гидродинамический разрыв, характеризуется пониженной экологической эффективностью. Снижение объемов попутных нефтяных газов, отправляемых на сжигание, и совершенствование методов их утилизации, ведет к повышению частного индекса оценки интенсивности выбросов в атмосферу углекислого и других парниковых газов и показывает высокую экологическую эффективность технологического процесса.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, методы интенсификации добычи углеводородов, экологический индикатор, экологическая эффективность, углекислый газ, экологическая безопасность.

IMPROVEMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF OIL PRODUCTION PROCESSES

© The Author(s) 2024

ZAKHAROVA Elena Anatolyevna, candidate of biological sciences,
associate professor of the department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev
(127434, Russia, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, e-mail: e.zaharova@rgaumcxa.ru)

SHIROKOV Yuri Alexandrovich, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev
(127434, Russia, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, e-mail: shirokov001@mail.ru)

MURKO Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev
(127434, Russia, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, e-mail: e.murko@rgaumcxa.ru)

Abstract. Hydrocarbon production is a process that actively affects the environment. Hydrodynamic fracturing is most often used to intensify the flow of fluid into a productive reservoir. The objective of our study is to assess the environmental efficiency of hydraulic fracturing, which was carried out by selecting groups of environmental indicators. The purpose of the study is to improve the methodological approach and tools for assessing the environmental effectiveness of methods for intensifying hydrocarbon production, in particular hydraulic fracturing. To assess the environmental efficiency of hydraulic fracturing, it is proposed to use such an indicator as "Direct carbon dioxide emissions". Carbon dioxide is formed as a product of the combustion of associated petroleum gases and is released into the atmosphere directly during the extraction of hydrocarbons. Calculations were carried out based on the relative indicators of emissions and waste volumes to production volumes. The analysis of the environmental efficiency of the intensification processes was carried out in three stages. The first stage is the selection of criteria for assessing the impact of the technological process on the environment using the "Influence – State – Response" mechanism. The second is the calculation of integral indicators according to the steps "Influence", "State" and "Response". At the third stage, an integral indicator of the entire process was calculated and an assessment of the environmental efficiency of hydraulic fracturing was given. The use of the "Influence – State – Response" scheme in the analysis of the environmental efficiency of hydraulic fracturing makes it possible to estimate in points the degree of influence of this technological process on the state of the environment. To date, one of the widely used methods of reservoir intensification is hydrodynamic rupture, characterized by reduced environmental efficiency. Reducing the volume of associated petroleum gases sent for combustion and improving the methods of their disposal leads to an increase in the private index of estimating the intensity of emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases into the atmosphere and shows high environmental efficiency of the technological process.

Keywords: hydraulic fracturing, methods of hydrocarbon production intensification, environmental indicator, environmental efficiency, carbon dioxide, environmental safety.

Для цитирования: Захарова Е.А. Совершенствование критериев оценки экологической эффективности технологических процессов нефтедобычи / Е.А. Захарова, Ю.А. Широков, Е.В. Мурко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 151-160. – EDN: LQBGAI.

Введение. Современная добыча углеводородов невозможна без использования процессов интенсификации притока углеводородов в пласт. Интенсивное применение стимуляции потоков нефти и газа требует не только экономического анализа процесса, но и его экологической оценки [1-4].

В нефте- и газодобыче нашли применение такие группы методов стимуляции пласта, как термические (стимуляция притока нефти за счет повышения температуры в нижней зоне скважины), газовые (нагнетание газов в забой, что стимулирует движение пластовой нефти в скважину), химические и гидродинамические.

Основная проблема термических методов заключается в том, что нагретая высокопарафинистая нефть разжижается и происходит накопление смолистых веществ на поверхности обсадных труб и в нижней

зоне скважины.

Наиболее широко применяемые методы интенсификации нефтедобычи – газовые. Они составляют за рубежом до 65% от объема всех применяемых в добывающей промышленности. В истощенных пластах газовые методы значительно стимулируют нефтенасыщенность. Актуально использование в качестве газа нагнетания – диоксид углерода CO_2 , парникового газа. Вероятно, это определяется тем, что добыча нефти увеличивается за счет процессов утилизации парникового газа – CO_2 .

Если продуктивный пласт истощен, либо имеет нерегулярную нефтенасыщенность, то выгодно применение химических методов интенсификации добычи.

Гидродинамические методы – это методы, позволяющие не только повысить выход углево-

дорогов из пласта, но и уменьшить содержание воды во флюиде.

Эти методы более эффективны в плане повышения продуктивности пласта и повышения качества

продукции (рис. 1).

Частота использования тех или иных методов интенсификации добычи нефти и газа в России представлена на рисунке 2.

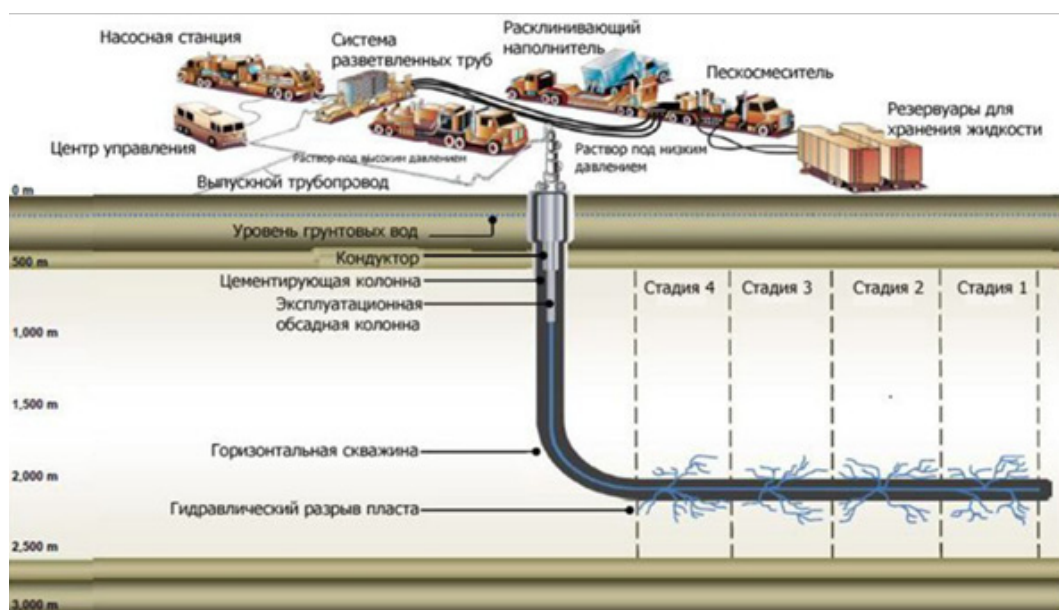


Рисунок 1 – Схема гидроразрыва пласта в горизонтальной скважине



Рисунок 2 – Частота использования методов интенсификации добычи нефти и газа в России

По частоте применения методов интенсификации добычи углеводородов лидируют химические методы, от 25 до 35%, за ними идут тепловые, от 15 до 30%, гидродинамические и газовые занимают третье и четвертое места соответственно (7-15% и 5-15%). Физические методы занимают последнее, пятое место (9-12%).

В литературе накоплен значительный материал о состоянии окружающей среды после применения на месторождении как однократных, так и многократных гидроразрывов пласта [5-9].

Месторождения углеводородов проходят в своем жизненном цикле три стадии – добыча, применение методов повышения пластового давления и интенсификация добычи.

Первый этап характеризуется использованием первичных методов добычи нефти и газа, т. е. идет интенсивное применение энергии углеводородов (энергии растворенного газа или газового купола).

Вторая стадия жизненного цикла месторождения

требует поступления дополнительной энергии, так как теперь требуется применение вторичных методов, поддерживающих пластовое давление в продуктивном пласте.

На третьем этапе жизни месторождения уже требуется применение методов, направленных на значительную интенсификацию притока флюидов в продуктивный пласт. Это происходит в первую очередь за счет увеличения эффективности технологического процесса. Важным аспектом при выборе метода интенсификации является направленность воздействия именно на зоны добычи, при этом не затрагивая пласты и участки свободные от нефте- и газодобычи.

Разрабатываемые месторождения углеводородов имеют различные исходные параметры и условия, поэтому требуют подбора методов интенсификации притока флюидов. На сегодняшний день не выявлено универсального метода интенсификации добычи, который давал бы высокий результат в любых

условиях.

Каждый из представленных методов интенсификации нефтедобычи имеет как достоинства, так и недостатки, оценивать которые нельзя без привязки к разрабатываемому месторождению, составу и свойствам добываемого флюида, стоимости используемых ресурсов и т. д. [10-12].

Современная добыча углеводородов требует новых подходов и решений. Одним из таких решений является отказ от монометодов и переход к комбинированным методам интенсификации притока флюида в пласт.

Нефтедобыча, от разведки до извлечения флюида на поверхность, подготовки углеводородов к транспортировке и хранению, несет в себе опасность для биосферы в целом и для конкретных экосистем.

Грядущий дефицит углеводородов в современном мире создает условия для совершенствования системы добычи. Одним из базовых методов интенсификации добычи углеводородов является гидродинамический разрыв пласта. Его применение часто связано с высокими экологическими рисками, проявляющимися в изменении состоянии окружающей среды, высоким уровнем водопотребления, изменением экосистем и биосферы в целом. Экологические риски экосистем при применении гидроразрыва пласта можно определить следующим образом – расход и загрязнение подземных и надземных пресных вод, выбросы парниковых газов (CH_4 и CO_2), а также повышение сейсмоактивности горных пород.

Нефте- и газодобыча на современном этапе – мощный источник парниковых газов. Добыча сопровождается выбросами попутных нефтяных газов (ПНГ), содержащих до 90% метана. Очень долгое время основным способом утилизации ПНГ было факельное сжигание, что является прямым источником CO_2 – парникового газа [13,14].

Методики и критерии, которые используются при оценке влияния нефтедобычи на биосферу, используют сравнительный анализ. Когда требуется оценить экологическую эффективность производства важно выбрать методику, которая соответствует целям исследования и отрасли производства.

Методология. Сегодня ставится задача оценки возможного воздействия на живые организмы и среду их обитания и экологической безопасности технологических процессов, что достигается при анализе экологической эффективности производства.

Мониторинг воздействия процессов интенсификации добычи углеводородов можно осуществлять путем подбора и объединения экологических индикаторов, формирующихся при анализе воздействия конкретного производства или предприятия на окружающую среду, а также с учетом деятельности, направленной на нивелирование пагубного влияния

Цель исследования – совершенствование методического подхода и инструментария оценки

экологической эффективности методов интенсификации добычи углеводородов, в частности гидроразрыва пласта. В ходе работы выполнен выбор критериев оценки влияния технологического процесса на окружающую среду по механизму «Влияние – Состояние – Ответ», а также составлена система индикаторов экологической эффективности.

Оценка экологической эффективности гидроразрыва пласта проводилась по следующему плану:

1. Выбор экологических индикаторов, которые характеризуют воздействие методов интенсификации добычи углеводородов на окружающую среду, из предлагаемого стандартной методикой списка.

2. Оценка отобранных для анализа экологических индикаторов, на основании установленных минимальных и максимальных пороговых значений вероятных техногенных воздействий; анализ категорий «Влияние», «Состояние», «Ответ» и отбор экологических индикаторов, рекомендуемых Методикой и критериями оценки экологической эффективности предприятий.

3. Расчет и оценка сводных экологических характеристик по схеме «Влияние – Состояние – Ответ» на основе индикаторов, нормируемых в государственных стандартах.

3. Вычисление общего интегрального индикатора изучаемого процесса (I), на основании ранее рассчитанных сводных экологических индексов по предлагаемым группам и интерпретация его в баллы;

4. Заключительное обсуждение выявленных в ходе расчета и анализа характеристик экологической эффективности гидроразрыва пласта (ГРП).

Для оценки экологической эффективности предприятий используется список базовых индикаторов по типам воздействия на биосферу (выбросы в атмосферу, водопотребление и обращение с отходами), из которых выполнен отбор тех критериев, которые характеризуют воздействие методов интенсификации добычи углеводородов на окружающую среду (рис. 3).

На основании количественных данных по выбранному экологическим индикаторам (рис. 3) были вычислены сводные интегральные характеристики и интегральный экологический показатель (I) (рис. 4). Затем было проведено построение модели «Влияние – Состояние – Ответ», характеризующей уровень экологической эффективности рассматриваемого метода интенсификации притока углеводородов – гидроразрыва пласта. В представленную модель был введен новый индикатор – $y_{6.1}$ – Прямые выбросы углекислого газа.

Расчет индекса по группам экологических факторов, проводился по формуле:

$$I_i = \sum_{j=1}^n c_j \times \tilde{x}_{ij}$$

где $\tilde{x}_{ij}$ – i -е нормированные индикаторы группы;

c_j – весовой коэффициент j -го нормированного индикатора группы;

n – количество нормированных индикаторов группы.

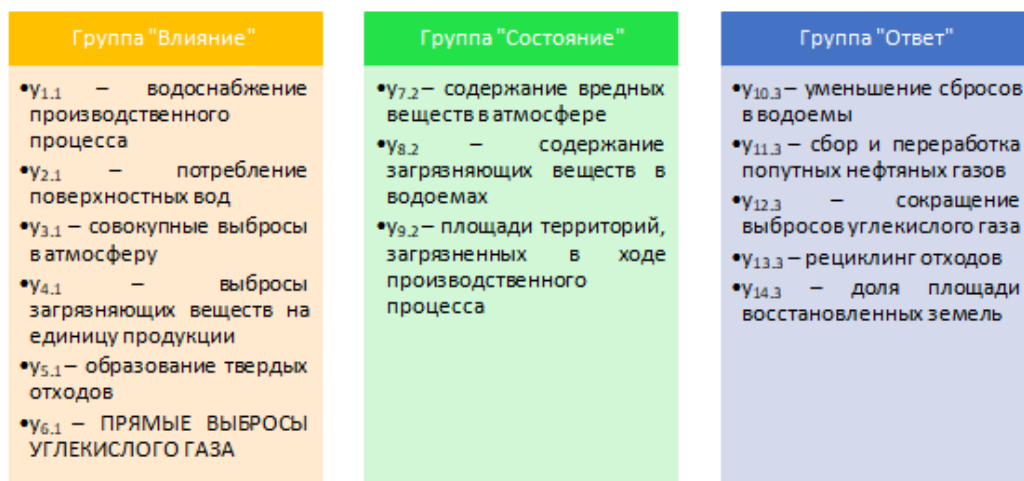


Рисунок 3 – Индикаторы, адаптированные к оценке ГРП (составлено автором)

В группе «Влияние» соотношение индекса I_1 и индикаторов $y_{1.1}$ – $y_{6.1}$ определяется монотонно снижающейся зависимостью. Высокие показатели значений индикаторов $y_{1.1}$ – $y_{6.1}$ показывают низкие значения I_1 и как следствие – низкую экологическую эффективность.

В группе «Влияние» выполняется нормирование по индикаторам $y_{1.1}$ – $y_{6.1}$. За пороговый максимум принимаем показатель индикатора за базовый год, пороговый минимум – показатель индикатора, который может быть сформирован исходя из их стандартных либо целевых значений, определяемых для отдельного производства или отрасли в целом.

В группе «Состояние» нормирование выполняется по индикаторам $y_{7.2}$ – $y_{9.2}$. В данной группе связь индекса I_2 и индикаторов $y_{7.2}$ – $y_{9.2}$ также характеризуется монотонно убывающей зависимостью. Высокие значения индикаторов $y_{7.2}$ – $y_{9.2}$ дают низкие значения I_2 и как следствие – низкую экологическую эффективность.

За пороговый максимум принят показатель за

базовый год, пороговый минимум – показатель индикатора, который может быть сформирован исходя из стандартных либо целевых значений, определяемых для производства, отрасли экономики или региона.

Группа «Ответ» характеризуется монотонно возрастающей зависимостью индекса I_3 и индикаторов $y_{10.3}$ – $y_{14.3}$. Высокие показатели значений индикаторов $y_{10.3}$ – $y_{14.3}$ показывают высокое значение I_3 и как следствие – высокую экологическую эффективность.

За пороговый минимум устанавливаем показатель индикатора за базовый год, пороговый максимум – показатель индикатора, который может быть сформирован исходя из стандартных либо целевых значений, определяемых для производства, отрасли экономики или региона.

Наиболее высокое разрушающее воздействие на биосферу определяется как нулевое значение (0) нормированного показателя, минимальное воздействие – наивысшему значению (1 – единица).

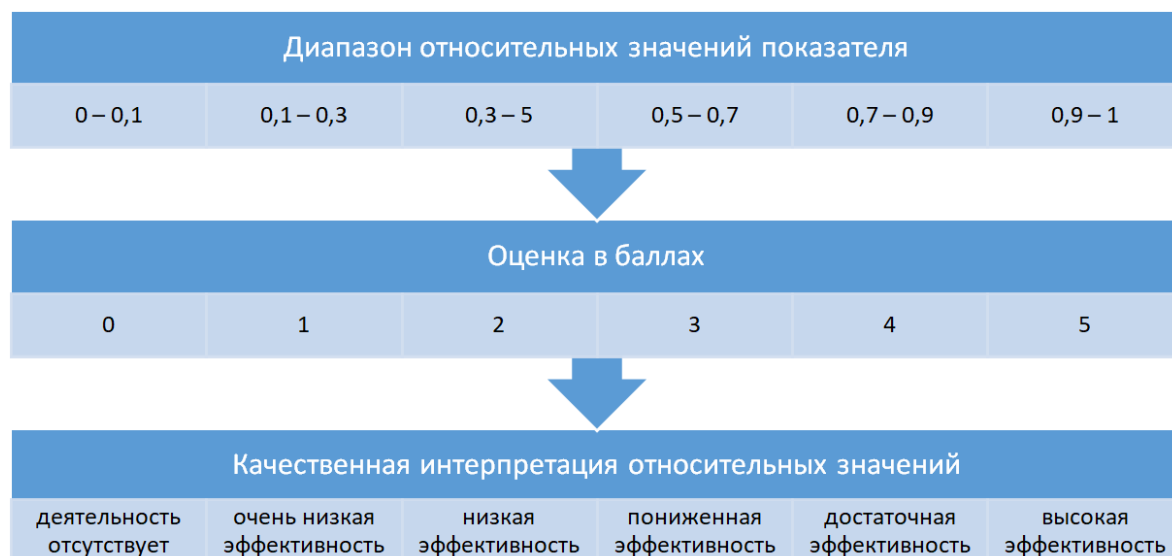


Рисунок 4 – Схема интерпретации интегральных характеристик (составлено автором)

Результаты. Анализ методов интенсификации добычи углеводородов показал, что на сегодняшний день одним из самых распространённых и эффективных является гидродинамический разрыв пласта. ГРП используют как при традиционных способах добычи нефти и газа, так и при добыче сланцевых углеводородов. В этом случае воздействие на окружающую среду значительно возрастает и требует более тщательной оценки

На основании открытых данных о деятельности ПАО «Газпром», осуществляемой на территории Российской Федерации [13] проанализированы объёмы выбросов в атмосферу, объёмы забора вод как из подземных, так и из поверхностных источников, объёмы твердых отходов (нефтешламов), а также объёмы выделяющихся попутных нефтяных газов (табл. 1).

Невозможно оценить прямое влияние ГРП на окружающую среду, но использование интерпретаций – экологических индикаторов, позволяет сделать более качественный анализ.

На рисунке 5 отражена структура, динамика и объём водопотребления при проведении ГРП. В период исследования объёмы водопотребления увеличивались, что связано в первую очередь с повышением частоты применения гидроразрыва пласта.

По экологическим индикаторам группы «Влияние» – «у3.1 – Совокупные выбросы в атмосферу» и «у5.1 – Образование твердых отходов» – фиксируется незначительный рост (рис. 7).

За рассматриваемый период отмечается увеличение объёмов ПНГ, отправляемых на сжигание, что сопровождается увеличением выбросов парникового газа – CO_2 (табл. 2, рис. 6).

Данные по каждому из исследуемых индикаторов представлены в таблицах 3, 4.

Значимым результатом работы является вычисление интегральных индексов экологической эффективности по каждому экологическому фактору и выведение сводных индексов по группам модели «Влияние – Состояние – Ответ» (табл. 5).

Таблица 1 – Объёмы загрязняющих веществ, попадающих в водоемы, атмосферу, образование отходов при проведении ГРП*

Загрязняющие вещества	2019	2020	2021	2022
Объёмы вредных выбросов в атмосферу, тыс. т	169,5	187,5	187,2	165,6
Объёмы забора воды всего, млн. м ³	28,6	34,6	35,5	30,8
Объёмы забора воды из подземных водных объектов, млн. м ³	18,1	20,6	24,4	31,1
Объёмы забора воды из поверхностных водных объектов, млн. м ³	6,2	7,3	8,5	7,0
Объёмы водоотведения всего, млн. м ³	11,0	13,4	14,2	16,7
Объёмы водоотведения в подземные горизонты, млн. м ³	2,3	3,4	3,6	4,2
Объёмы водоотведения в поверхностные объекты, млн. м ³	8,7	10,0	10,6	12,5
Общий объём образования отходов, тыс. т	445,6	438,6	501,8	498,6
Объёмы накопленных нефтешламов, тыс. т	280	275	284	297
Добыча ПНГ, млн. м ³	500,6	605,0	662,1	678,7
Сжигание ПНГ, млн. м ³	124,2	165,0	176,0	186,6

*составлена автором

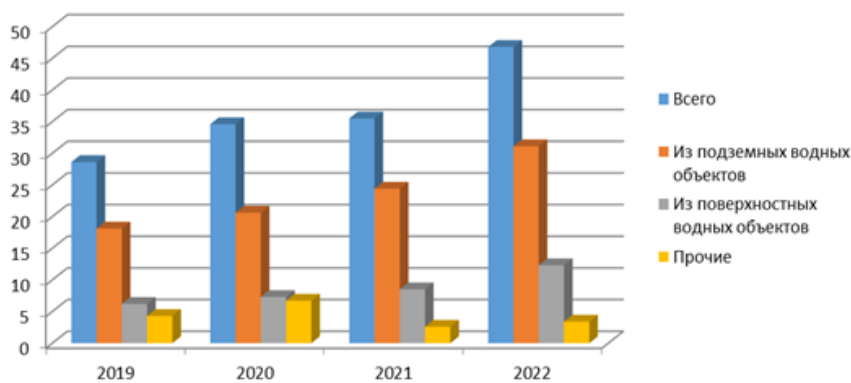


Рисунок 5 – Водопотребление при проведении ГРП за период 2019-2022, млн. м³/год (составлено автором)

Таблица 2 – Объёмы выбросов углекислого газа в атмосферу при проведении ГРП за период 2019 – 2022*

Показатели воздействия	2019	2020	2021	2022
Сжигание ПНГ, млн. м ³	124,2	165,0	176,0	186,6
Выбросы углекислого газа, тыс. т/год	237	315	336	356
Коэффициент выбросов, тонн CO_2 /м ³	4,4	5,8	6,2	6,5

*составлено автором

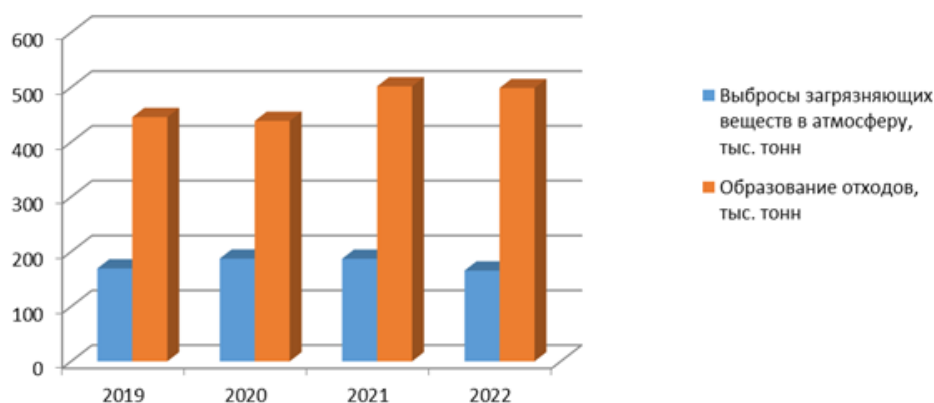


Рисунок 6 – Выбросы в атмосферу и объемы твердых отходов, образующихся при проведении ГРП за период 2019-2022 (составлено автором)

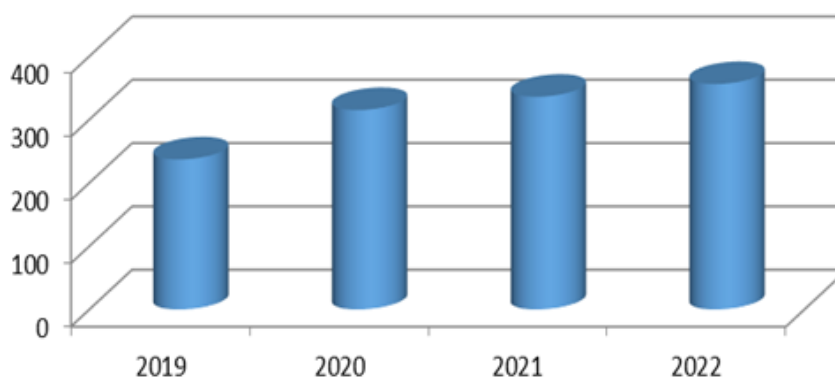


Рисунок 7 – Объемы CO₂, образующихся при сжигании попутных нефтяных газов, тыс. т/год (составлено автором)

Таблица 3 – Экологические индикаторы воздействия ГРП на атмосферу, гидросферу и литосферу*

Показатели воздействия	2019	2020	2021	2022
$y_{7,2}$ – концентрация загрязняющих веществ в атмосфере				
Объемы вредных выбросов в атмосферу, тыс. т	169,5	187,5	187,2	194,3
Выбросы на одну добытую тонну нефти, кг/тонна	11	11,6	10,5	9,4
$y_{8,2}$ – содержание загрязняющих веществ в водоемах				
Объемы водоотведения всего, млн. м ³	11,0	13,4	14,2	16,7
Объемы водоотведения в подземные горизонты, млн. м ³	2,3	3,4	3,6	4,2
Объемы водоотведения в поверхностные объекты, млн. м ³	8,7	10,0	10,6	12,5
Загрязненность оборотных промышленных вод, мг/л	0,23	0,17	0,11	0,21
$y_{9,2}$ – Площадь загрязнённых (нарушенных) земель				
Объемы накопленных нефтешлямов, тыс. т	280	275	284	297
Площадь земель, занятых нефтешлямами, тыс. га	30	36	45	44

*составлено автором

Таблица 4 – Показатели индикаторов группы «Ответ» *

Наименование индикатора	2019	2020	2021	2022
Сокращение сбросов загрязняющих веществ, т/год	4,3	3,2	2,4	2,2
Уровень утилизации попутного нефтяного газа, млн. м ³ /год	195	228	243	235
Сокращение выбросов парниковых газов, т CO ₂ -экв./год	–	78	199	119
Использование отходов, тыс. т/год	54,7	65,1	78,4	82,3
Доля рекультивированных земель, %	9	10	8	12

*составлено автором

Таблица 5 – Индексы экологической эффективности технологического процесса гидроразрыва пласта*

Экологические индикаторы	Значения индикаторов			
	Фактические за 2019 г.	Пороговые		Нормированные
		Максимум	Минимум	
	A	B	C	D D=(B-A)/(B-C)
Группа «Влияние»				
у _{1,1} - водоснабжение производственного процесса, тыс. м³/год	30,8	30,6	28,6	0,1
у _{2,1} - потребление поверхностных вод, тыс. м³/год	7,0	6,63	6,2	0,86
у _{3,1} - совокупные выбросы в атмосферу, т/год	194,3	169,5	165,6	0
у _{4,1} - выбросы загрязняющих веществ на единицу продукции, т/ед. продукции	10,6	17,8	9,6	0,88
у _{5,1} - образование твердых отходов, т/год	498,6	645	438,6	0,71
у _{6,1} - прямые выбросы углекислого газа, т CO ₂ -экв./ед. продукции	6,5	8,5	4,4	1
Сводный индекс по группе «Влияние»				0,59
Группа «Состояние»				
у _{7,2} - содержание вредных веществ в атмосфере, мг/ м³	9,4	11	9,4	1
у _{8,2} - содержание загрязняющих веществ в водоемах, мг/ л³	0,21	0,23	0,11	0,17
у _{9,2} - площади территорий, загрязненных в ходе производственного процесса, га	44	30	0	0,47
Сводный индекс по группе «Состояние»				0,55
Группа «Ответ»				
у _{10,3} - уменьшение сбросов в водоемы, т/год	2,2	4,3	4,3	1
у _{11,3} - сбор и переработка попутных нефтяных газов, т/год	235	243	195	0,04
у _{12,3} - сокращение выбросов углекислого газа, т CO ₂ -экв./год	119	199	78	0,51
у _{13,3} - рециклинг отходов, т/год	82,3	82,3	54,7	1
у _{14,3} - доля площади восстановленных земель, %	12	12	9	1
Сводный индекс по группе «Ответ»				0,71
Интегральный индикатор эффективности				0,73

*составлена автором

Обсуждение. В таблице 6 представлены результаты оценки экологической эффективности гидроразрыва пласта с интерпретацией значений индексов в баллы и характеристикой уровня влияния на окружающую среду. В группе «Влияние» отмечается пониженная экологическая эффективность (3 балла), что говорит, о высоком уровне техногенного влияния добычи углеводородов с использованием ГРП на окружающую среду, в частности на водные ресурсы и почву.

Группа индикаторов «Состояние» показывает значительное снижение качества природных вод и ухудшение состояния почв, что также свидетельствует о высокой техногенной нагрузке рассматриваемого метода интенсификации добычи флюидов (3 балла – пониженная эффективность).

Группа индикаторов «Ответ» показывает достаточную экологическую эффективность процесса ГРП, что оценивается в 4 балла.

Здесь можно говорить о снижении и возможном предотвращении разрушающего воздействия на

окружающую среду процессов интенсификации нефтедобычи.

Ранее отмечалось, что ГРП наиболее интенсивно влияет на состоянии атмосферы. Это отражено в структуре сводных индексов (рис. 8). Воздействие на почвы и водные объекты находится примерно на одном уровне.

Экологическая эффективность гидроразрыва пласта значительно повышается в последние годы, что отражает повышение частного индекса интенсивности выбросов в атмосферу [14, 15].

Применение схемы «Влияние – Состояние – Ответ» при анализе экологической эффективности гидроразрыва пласта позволяет оценить в баллах степень влияния данного технологического процесса на состояние окружающей среды.

Наши исследования показали, что на сегодняшний день один из широко применяемых методов интенсификации пласте – гидродинамический разрыв, оценивается в 3 балла, т. е. характеризуется пониженной экологической эффективностью.

Таблица 6 – Результаты оценки экологической эффективности гидроразрыва пласта*

Сводный индекс по группе	Значение	Уровень	Баллы
I_1 (Влияние)	0,59	пониженная	3
I_2 (Состояние)	0,55	пониженная	3
I_3 (Ответ)	0,71	достаточная	4
$I_{\text{пл}}$ (Частный индекс, характеризующий динамику выбросов парниковых газов в атмосферу)	1	высокая	5
Интегральный показатель	0,62	пониженная	3

*составлено автором

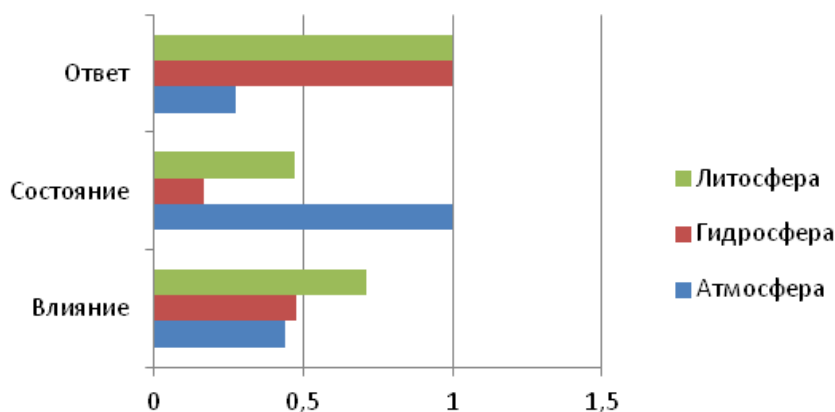


Рисунок 8 – Структура сводных индексов экологической эффективности (составлено автором)

Выводы. Эффективность контроля за состоянием окружающей среды при оценке технологических процессов нефтедобычи значительно повышается при использовании групп экологических индикаторов, которые подбираются для конкретного технологического процесса и учитывают основные аспекты воздействия на биосферу в целом.

Комплексная оценка экологической эффективности может быть проведена по показателям, характеризующим процесс взаимодействия индикаторов групп «Влияние – Состояние – Ответ».

Проведённая работа позволяет сделать заключение о том, что на сегодняшний день гидроразрыв пласта характеризуется пониженной экологической эффективностью.

Снижение объемов ПНГ, отправляемых на сжигание, и совершенствование методов их утилизации, привело к повышению частного индекса оценки интенсивности выбросов в атмосферу углекислого и других парниковых газов и показывает высокую экологическую эффективность технологического процесса.

Применение системы экологических индикаторов при проведении процедуры оценки экологической эффективности позволит усовершенствовать данную процедуру и поможет в разработке политики экологической безопасности предприятия и отрасли в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Захарова, Е.А. Оценка влияния гидроразрыва пласта на состояние окружающей среды // Международная научно-методическая конференция «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля». Уфа: Издательство УГНТУ. – 2020. – С. 201-203.

2. Захарова, Е.А. Определение экологической эффективности как механизм оценки воздействия производства на окружающую среду // Международная научно-методическая конференция «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля». Уфа: Издательство УГНТУ. – 2020. – С. 138-140.

3. Raimova D.B., Volotovskaya O.S. On The Question of Determining Methods of Environmental Efficiency of Industrial Enterprises // Reports Scientific Society. – 2020. – No. 3-4(24). – P. 4-7.

4. Захарова Е.А., Мурко Е.В. Влияние современных методов интенсификации добычи углеводородов на состояние окружающей среды // Актуальные вопросы развития науки и технологий. Пенза: Наука и Просвещение. – 2024. – С. 106-132.

5. Portola, V.A., Bobrovnikova A., Murko E. Open Pits Automobile Transport Impact on the Environment and Labor Safety // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection", Vol. 176. Qingdao: Atlantis Press. – 2018. – P. 345-347.

6. Аманиязов, И. Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: методы повышения эффективности добычи и экологической безопасности / И. Аманиязов, Б. Сапаров, С. Данатаров // Вестник науки. – 2023. – Т. 3. – № 10(67). – С. 595-599.

7. Rakhmonazarov, P.Y. Ways to improve the management of economic and environmental systems / P.Y. Rakhmonazarov // Экономика и предпринимательство. – 2020. – No. 7(120). – P. 442-446. DOI 10.34925/EIP.2020.120.7.090.

8. Grachev, V.A. Environmental effectiveness of energy technologies // Geomate Journal. – Vol. 16. – No. 55. – 2019. – P. 228-237. URL: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/2503>.

9. Effectiveness of Regulatory Mechanisms of the Oil and Gas Industry in the Context of Environmental Problems / T. Butova, V. Varzin, Sh.U. Niyazbekova [et al.] // XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022": Collection of materials of the 15th International Scientific Conference. Global Precision Ag Innovation 2022, Rostov-on-Don. – 02-04 марта 2022 года. – Vol. 575. – Rostov-on-Don: Springer Cham, 2023. – P. 38-49. DOI 10.1007/978-3-031-21219-2_4.

10. Steinebach, Y. Instrument choice, implementation structures, and the effectiveness of environmental policies: A cross-national analysis / Y. Steinebach // Regulation & Governance. – 2019.

– DOI 10.1111/rego.12297.

11. Future directions in well intervention: A conceptual exploration of emerging technologies and techniques / Chinwe Ozowe, Oludayo Olatoye Sofoluwe, Ayemere Ukato, Dazok Donald Jambol // Engineering Science & Technology Journal. – 2024. – Vol. 5. – No. 5. – P. 1752-1766. – DOI 10.51594/estj.v5i5.1153. – EDN TKWGGQE.

12. Проблемы и пути повышения энергетической эффективности, экологичности и снижения энергоемкости подземной добычи нефти / Д.Г. Закиров, М.А. Мухамедшин, Г.А. Закиров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 10. – С. 90-93. – DOI 10.24887/0028-2448-2019-10-90-93.

13. Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2022 год URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/56/691615/gazprom-environmental-report-2022-ru.pdf> (дата обращения: 13.08.2024).

14. Рязузова, К.Д. Эколого-экономическая оценка эффективности применения разных способов добычи нефти / К.Д. Рязузова, М.В. Мишенин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 2. – № 4. – С. 91-98.

15. Zakharova E.A., Likhacheva N.A. Environmental Efficiency as an Evaluation Criterion for the Methods of Hydrocarbon Production Intensification // Geo-Economy of the Future. Sustainable Agriculture and Alternative Energy. Cham: Springer. – 2022. – P. 277-284.

Статья поступила в редакцию 05.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 331.45

EDN: ZRABZY

**СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОПАСНЫХ ДЕЙСТВИЙ РАБОТНИКОВ КАК СПОСОБ
ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 3638-9815

AuthorID: 465589

ORCID: 0009-0001-1849-4446

ХАСАНОВА Валерия Карловна, кандидат педагогических, доцент,
доцент кафедры «Промышленная безопасность»*Казанский национальный исследовательский технологический университет**(420015, Россия, Республика Татарстан, Казань, улица Карла Маркса, 68, e-mail: valerya29.11@mail.ru)*

SPIN: 9461-3222

AuthorID: 765369

ORCID: 0000-0002-0400-0986

ХАЙРУЛЛИНА Ляйсан Исмагиловна, кандидат социологических наук, доцент,
доцент кафедры «Промышленная безопасность»*Казанский национальный исследовательский технологический университет**(420015, Россия, Республика Татарстан, Казань, улица Карла Маркса, 68, e-mail: lhda79@mail.ru)*

SPIN: 2046-0869

AuthorID: 794752

ORCID: 0000-0003-0766-1189

ТУЧКОВА Оксана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Промышленная безопасность»*Казанский национальный исследовательский технологический университет**(420015, Россия, Республика Татарстан, Казань, улица Карла Маркса, 68, e-mail: touchkova-o-a@mail.ru)*

SPIN: 7032-9137

AuthorID: 689966

ORCID: 0000-0002-4214-012X

ХАЙРУЛЛИН Руслан Зуфарович, кандидат биологических наук,
доцент кафедры «Промышленная безопасность»*Казанский национальный исследовательский технологический университет**(420015, Россия, Республика Татарстан, Казань, улица Карла Маркса, 68, e-mail: KhayrullinRZ@corp.knrtu.ru)*

Аннотация. Рассматриваются вопросы повышения безопасности труда путем снижения количества опасных действий работников, являющихся одной из основных причин несчастных случаев на предприятиях. Согласно проведенному анализу, причины опасных действий работников могут быть условно разделены на следующие группы: 1 группа – «НЕ УМЕЕТ»; 2 группа – «НЕ ХОЧЕТ»; 3 группа – «НЕ МОЖЕТ» и 4 группа – «НЕ ОБЕСПЕЧЕН». Введенная классификация опасных действий работников позволяет предложить мероприятия по снижению опасности неверных действий работников, совершаемых ими в той или иной ситуации. В процессе анализа мотивов работников на совершение опасного действия установлено, что необходимо оценивать взгляд на каждый выявленный случай опасного действия не только со стороны самого работника, но и со стороны работодателя. Для снижения опасных действий работников предприятий предлагается предусмотреть проведение систематического обучения персонала правилам безопасности и требованиям по использованию оборудования, введение системы мотивации и поощрения работников за соблюдение правил безопасности, проведение регулярных инспекций рабочих мест и обновление оборудования. Для подтверждения предлагаемых мер по снижению опасных действий работников приводятся примеры успешной реализации на различных предприятиях. По результатам проведенного исследования сделан вывод об эффективности предлагаемых мер для снижения количества опасных действий работников и повышения безопасности труда на предприятиях.

Ключевые слова: опасные действия работников, безопасность труда, охрана труда, снижение травматизма, обеспечение безопасности, человеческий фактор, мотивация работника, негативные факторы.

**REDUCING THE NUMBER OF DANGEROUS ACTIONS OF EMPLOYEES AS A WAY TO IMPROVE
OCCUPATIONAL SAFETY AT ENTERPRISES**

© The Author(s) 2024

KHASANOVA Valeria Karlovna, candidate of pedagogical sciences, associate professor,
associate professor of the department of «Industrial Safety»*Kazan National Research Technological University,**(420015, Russia, Kazan, Karl Marks str., 68, e-mail: valerya29.11@mail.ru)***KHAIRULLINA Liaisan Ismagilovna**, candidate of sociological sciences, associate professor,

associate professor of the department of «Industrial Safety»
Kazan National Research Technological University
(420015, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, street Karl Marx, 68, e-mail: lhda79@mail.ru)
TUCHKOVA Oksana Anatolievna, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the department of «Industrial Safety»
Kazan National Research Technological University
(420015, Russia, Kazan, Karl Marks str., 68, e-mail: touchkova-o-a@mail.ru)
KHAIRULLIN Ruslan Zufarovich, candidate of biological sciences,
associate professor of the «Industrial Safety» department
Kazan National Research Technological University,
(420015, Russia, Kazan, Karl Marks str., 68, e-mail: KhayrullinRZ@corp.knrtu.ru)

Abstract. The issues of improving occupational safety by reducing the number of dangerous actions of employees, which are one of the main causes of accidents at enterprises, are considered. According to the analysis, the causes of dangerous actions of employees can be conditionally divided into the following groups: 1 group – "DOES NOT KNOW HOW"; 2 group – "DOES NOT WANT"; 3 group – "CANNOT" and 4 group – "NOT PROVIDED". The introduced classification of dangerous actions of employees allows us to propose measures to reduce the danger of incorrect actions of employees committed by them in a given situation. In the process of analyzing the motives of employees to commit a dangerous action, it was found that it is necessary to evaluate the view of each identified case of a dangerous action not only from the employee himself, but also from the employer. In order to reduce the dangerous actions of employees of enterprises, it is proposed to provide for systematic training of personnel in safety rules and requirements for the use of equipment, the introduction of a system of motivation and encouragement of employees for compliance with safety rules, regular inspections of workplaces and updating equipment. To confirm the proposed measures to reduce the dangerous actions of employees, examples of successful implementation at various enterprises are given. Based on the results of the study, it was concluded that the proposed measures are effective in reducing the number of dangerous actions of employees and improving occupational safety at enterprises.

Keywords: dangerous actions of employees, labor safety, occupational safety, reduction of injuries, safety, human factor, employee motivation, reducing the impact of negative factors on the employee.

Для цитирования: Хасанова В.К. Снижение количества опасных действий работников как способ повышения безопасности труда на предприятиях / В.К. Хасанова, Л.И. Хайруллина, О.А. Тучкова, Р.З. Хайруллин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 161-169. – EDN: ZRABZY.

Введение. Одним из основных показателей уровня развития общества является показатель средней продолжительности жизни, отражающий общий уровень развития здравоохранения и состояния охраны труда в целом [1-3]. Однако необходимо учитывать тот факт, что в соответствии с аксиомой о потенциальной опасности, по мере развития общества и производства появляется всё большее количество опасностей, уносящих жизни людей [4].

Согласно данным Росстата, количество погибших от несчастных случаев на производстве работников составляет 5,3 человека на 100 тысяч рабочего персонала, что втрое больше по сравнению со странами Евросоюза (1,8). Для сравнения в Японии этот показатель составляет 1,5; в КНР 3,5; в Соединенных Штатах 3,7; Южной Кореи 4,3 [5].

Наибольшее количество несчастных случаев с тяжёлыми последствиями возникают в производственных условиях. Чаще всего, причиной тому служит пресловутый «человеческий фактор», который наносит ущерб здоровью людей, состоянию окружающей среды и порче имущества [6-12].

Не смотря на тот факт, что в Российской Федерации обеспечению производственной безопасности в целом, и охране труда в частности, уделяется достаточно большое внимание, трудовой процесс всегда будет

сопряжён с воздействием негативных факторов на работника [13-15]. Естественно, что всё протекает идеально только теоретически, а практически возникает целая совокупность внешних и внутренних факторов и обстоятельств, которые в конечном итоге и приводят к нежелательным, а подчас и трагическим последствиям [16-17].

Таким образом большую роль играют именно внешние факторы, под действием которых работник совершает нелепые ошибки, приводящие к развитию опасных ситуаций не только для него самого, но и для окружающих, снижается качество выпускаемой продукции, выходит из строя оборудование и в ряде случаев наносится ущерб окружающей природной среде [18-22].

На основе анализа литературных источников [23-26], можно выделить четыре основные причины совершения опасных действий работниками:

1 группа – «НЕ УМЕЕТ»: у работника нет знаний, умений и навыков, которые нужны ему для работы;

2 группа – «НЕ ХОЧЕТ»: у работника нет мотивации соблюдать требования безопасности, однако саму работу он может выполнять качественно и безопасно;

3 группа – «НЕ МОЖЕТ»: работник не может избежать опасных действий по причине своего

физического, либо психологического состояния;

4 группа – «НЕ ОБЕСПЕЧЕН»: работник допускает опасные действия вследствие того, что он не обеспечен всем необходимым для безопасной трудовой деятельности (информация, орудия труда, оборудование, материалы, средства защиты и т.д.).

Первые три причины относятся к «человеческому фактору», а четвертая является «внешним фактором», то есть относящимся к производственной среде.

Целью исследования является проведение анализа возможных причин опасных действий работников предприятий различных отраслей промышленности с последующей разработкой рекомендаций по повышению безопасности ведения технологических процессов на предприятиях и снижения риска нанесения травм различной степени тяжести в случае опасных действий работников предприятий.

Методология. Для определения наиболее эффективных способов повышения безопасности на предприятиях путем снижения количества опасных действий работников был проведен сравнительный анализ применяемых на ряде предприятий способов снижения количества опасных действий работников, что позволило провести оценку их эффективности и дать обобщенные рекомендации по снижению травматизма работников.

Результаты. При рассмотрении каждой группы опасных действий работников можно выделить непосредственные и организационные причины. К основным организационным причинам опасных действий работников можно отнести прежде всего плохо организованную, а вследствие этого неэффективную систему обучения по вопросам охраны труда и безопасности, которая заключается в нерегулярном проведении различных видов инструктажей и несовершенную систему профессионального отбора. В данном случае работники зачастую просто не способны к обучению и не владеют необходимыми для данной профессии знаниями (непосредственные причины). Это так называемая группа «НЕ УМЕЕТ».

Среди организационных причин так называемой группы «НЕ ХОЧЕТ» можно выделить использование неэффективной системы профессионального отбора и низкой культуры производства. В данном случае можно отметить такие непосредственные причины, как несоблюдение элементарных правил безопасности.

Группа «НЕ МОЖЕТ» также обусловлена малоэффективной системой профессионального отбора и нездоровым психологическим климатом в семье работника и в самом рабочем коллективе. Непосредственными причинами такого состояния являются недомогание, усталость или нервный срыв.

К организационным причинам опасных действий работников группы «НЕ ОБЕСПЕЧЕН» относятся неудовлетворительная организация труда, а также неэффективная система обеспечения оперативной информацией. К непосредственным же причинам

можно отнести отсутствие информации об обстановке на рабочем месте и об опасностях производства, необеспеченность инструментами и другими средствами.

Человечество стремится к созданию абсолютно безопасного производства, но в реальности это пока невозможно на современном этапе развития. Понятие «производственный риск» предполагает меру опасности, представляющую сочетание частоты или вероятности реализации риска и потенциального ущерба здоровью человека. Оценка производственного риска заключается в процессе оценки его величины и принятия решения о том, насколько допустим данный риск.

В последнее время все чаще находит применение термин «опасные приёмы труда», под которым понимают способы выполнения рабочих операций, представляющие потенциальную угрозу для здоровья и безопасности работников. Такие приёмы могут привести к несчастным случаям, травмам или заболеваниям. Примерами таких опасных приёмов труда могут быть, например: неправильное поднятие тяжестей, использование оборудования без соответствующей подготовки, несоблюдение требований инструкций и нормативных документов, использование неисправного оборудования и др.

Можно выделить следующие причины, по которым работники идут на нарушения:

- они не обладают достаточными знаниями/информацией о процессах;
- они не могут точно предсказать исход своего действия вследствие нарушения правил;
- они понимают риски, но боятся говорить об этом открыто;
- они понимают риски, но боятся, что им же их придется устранять;
- они понимают риски, но не считают их достаточно существенными, чтобы кому-то об этом рассказывать.

Доктор Сидни Деккер (Лаборатория инноваций в безопасности, Университет Гриффита) в своей книге «Дрейф к неудаче» пишет о том, что человек не может все знать и принятие многих решений происходит в условиях неопределенности, нехватки времени, двусмысленности. В сложных системах люди используют так называемую «локальную» логику и это не является рациональным выбором, а скорее просто «работающим» практичным вариантом. Они стараются поступать разумно, учитывая свой профессиональный опыт, знание ситуации и поставленные в конкретный момент задачи. Поэтому для объяснения поведения сотрудников в различных ситуациях по нарушению требований безопасности уместнее спросить не «Почему это произошло?» или «Почему они не оценили этот риск?», а задать вопрос «Какой это имело смысл для них?» и «Каковы были ограничения в их ситуации?».

Рассмотрим простой пример. Два варианта одной и той же ситуации.

1 вариант. При проведении работ на высоте, члены бригады не закрепили инструменты, то есть не защитили их от падения. Они успешно завершили работу без каких-либо проблем или несоответствий и перешли к следующему заданию.

2 вариант. При проведении работ на высоте, члены бригады не закрепили инструменты, то есть не защитили их от падения. Альпинист уронил молоток весом около 1 кг в зону проведения работ и серьезно ранил находившегося там другого сотрудника.

Из этих ситуаций при их анализе и проецировании на конкретное предприятие можно сделать однозначный вывод о том, что как правило, люди будут оценивать одно и то же действие более жестко, если был факт нанесения ущерба или негативное последствие. Знание конечного результата меняет то, как мы интерпретируем прошлое, и даже незаметно для нас меняет нашу память. Этот эффект называется ретроспективным искажением. Первооткрывателем этого эффекта является доктор Барух Фишхофф, который уверен, что эта предвзятость «может серьезно ограничить способность человека учиться на прошлом». Данный эффект наглядно свидетельствует о том, что «ретроспективное искажение» – это уверенность людей после происшествия в том, что его легко можно было предвидеть, а риск легко можно было устранить, то есть это психологический феномен, который создает иллюзию того, что негативный исход было легко предвидеть и предотвратить. Но так ли это на самом деле?

Анализ различных исследований и проведенных экспериментов с разными профессиональными группами по поводу негативного или нейтрального результата одной и той же ситуации приводит к интересным выводам. Во-первых, люди оценивают поведение, которое привело к негативному событию, более жестко, осуждают его сильнее, если сравнить с таким же поведением, которое привело к нейтральному или положительному результату. Во-вторых, узнав результат, люди неправильно помнят то, что они знали и думали о ситуации, даже если это было всего несколько минут назад. В-третьих, люди не всегда осознают эффект ложных воспоминаний и его влияние на их суждения.

Доктор Дэвид Вудс (Университет штата Огайо) пишет в своей книге о человеческих ошибках: «Сказать людям игнорировать факт, результат события неэффективно. Знать о ретроспективном искажении и «быть начеку» тоже недостаточно». Борьба с этим искажением или хотя бы уменьшить его влияние – возможно.

Самый эффективный метод – это рассмотреть альтернативные причины инцидента. На примере выполнения работ на высоте, это может быть рассмотрение как можно большего количества потенциальных опасностей, рисков, в т.ч. организационного характера. В данном случае это могут быть:

– трудности с получением нужных средств

индивидуальной защиты, страховочных устройств на складе или их неисправность;

– отсутствие информации о том, где получить нужный инструмент и оборудование;

– одновременная работа на высоте нескольких бригад – на всех не хватает защитных устройств (например, работают три бригады, а на объекте доступен только один комплект средств индивидуальной защиты);

– выполнение смежных работ с другими подрядчиками, которые не знают правил безопасности, не были проинструктированы должным образом, но получили доступ к огражденной зоне;

– риск остановки производства и финансовых потерь, если не сделать работу вовремя и др.

Такой анализ полезен для поиска объективных коренных причин, а также выявления сопутствующих, что, в конечном итоге, должно привести к выбору верных корректирующих действий при возникновении опасных ситуаций.

В ходе анализа материалов относительно несчастных случаев на производстве были выявлены различия в поведении разных групп работников при возникновении нештатных ситуаций, напрямую связанных с воздействием негативных производственных факторов. Стоит отметить, что опасные действия могут быть совершены как самими рабочими, так и специалистами либо руководителями производственных объектов.

Можно выделить основные виды опасных действий, которые могут совершить работники (рис. 1).

Для сравнения представим опасные действия специалистов и руководителей (рис. 2).

Очень важно также сравнение причин опасных действий рабочих со специалистами и руководителями. Если проецировать их на формулу безопасного труда: УМЕЕТ + ХОЧЕТ + МОЖЕТ + ОБЕСПЕЧЕН, то это может быть примерно так.

В группе «НЕ УМЕЕТ» организационные причины сводятся к некачественному профессиональному образованию специалистов и неэффективной системе профотбора, а непосредственными причинами является не способность к обучению.

Группа «НЕ ХОЧЕТ» имеет организационные причины, спровоцированные неэффективной системой стимулирования, организации и оплаты труда в соответствии с критериями безопасности. Непосредственными причинами данной группы являются негативная психологическая мотивация, которая влечет к нарушениям требований безопасности.

Организационные причины, относящиеся к группе «НЕ МОЖЕТ», – это нездоровая психологическая обстановка в коллективе или в семье и некачественно проведенный профотбор. А непосредственными причинами можно считать недомогание, усталость, нервный срыв и недостаточный уровень интеллектуальных способностей и волевых качеств специалиста или руководителя.

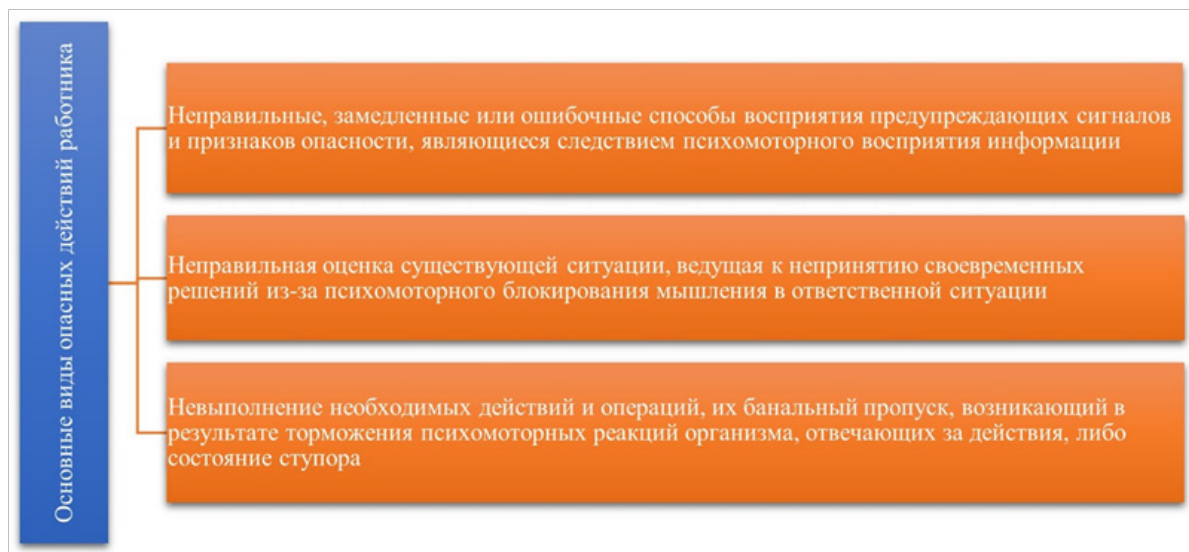


Рисунок 1 – Основные виды опасных действий работника

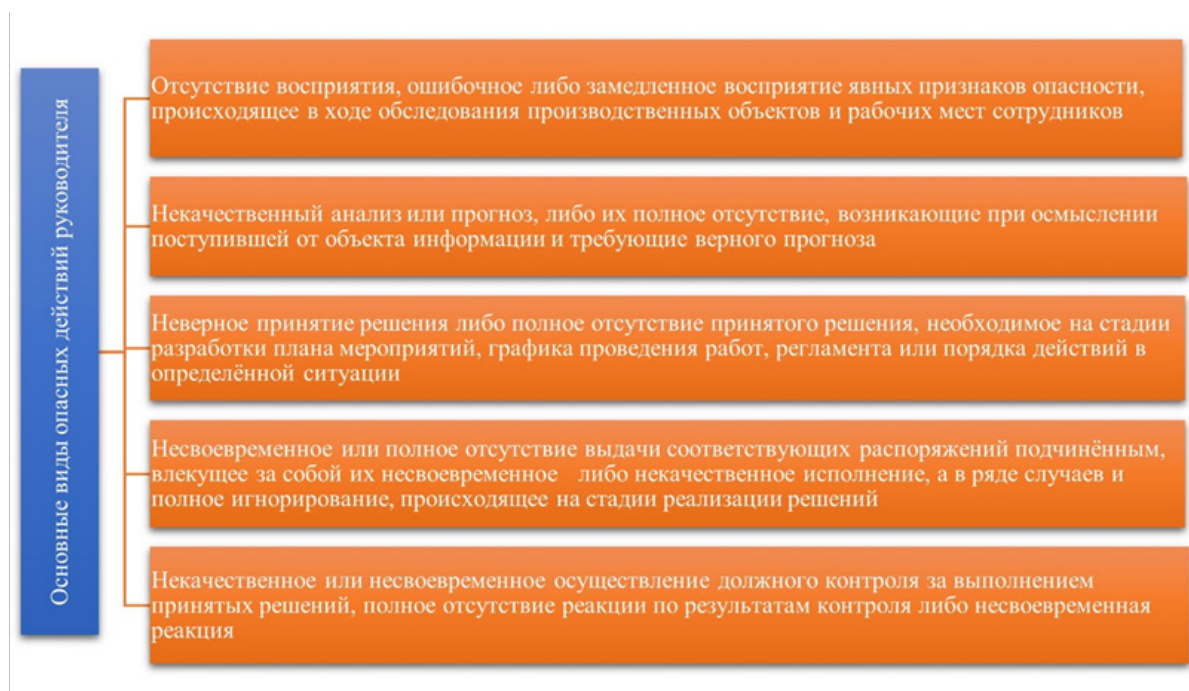


Рисунок 2 – Основные виды опасных действий руководителя

Среди организационных причин, характеризующих группу «НЕ ОБЕСПЕЧЕН», можно выделить неудовлетворительную организацию труда специалистов и неэффективную систему обеспечения и контроля за состоянием рабочих мест на предприятии.

Учитывая наличие технического прогресса и неизбежный факт связанных с ним новых негативных факторов, способных привести к авариям, несчастным случаям, травмам и профессиональным заболеваниям, можно сделать вывод об обстоятельствах, способствующих этому по вполне объективным причинам.

Одной из причин является то, что опасное воздействие на человека всей совокупности факторов среды обитания в общем и производственной

среды, в частности, неизбежно растёт быстрее, чем противодействие ему. Человек своими действиями оказывает всё большее влияние на окружающий мир. При этом расширяется не только разнообразие воздействия, но и интенсивность влияния. И даже несмотря на то, что развивается наука и техника, создаются всё более совершенные средства и способы защиты от опасностей, человечество пока проигрывает в этой борьбе с негативными факторами.

Второй причиной, которая делает условия жизнедеятельности человека более опасными, является появление более современных орудий труда, новых видов транспорта, применения новых высокотехнологичных способов и технологий при проведении работ.

Третья причина кроется в банальном пренебрежении человека к опасностям, пренебрежении к постулатам аксиомы о потенциальной опасности, гласящей, что все действия человека и все компоненты среды обитания, прежде всего технические средства и технологии, способны накапливать в себе опасные и вредные факторы.

Постоянное взаимодействие с техническими системами и недостаточная осведомленность о вероятных причинах аварий и несчастных случаев приводят к тому, что человек становится беспечным.

К несчастным случаям приводят лишь некоторые нарушения требований безопасности. Нарушивший же, который в последствии не был наказан, избежал травмы, зачастую и впредь повторяет подобные опасные действия. Постепенно происходит некая «адаптация» не только к самой опасности, но формируется привычка к ее повторению. Несомненно, имеет значение и множество индивидуальных психологических факторов, таких как склонность нарушать трудовую дисциплину, бессмысленный риск. Поэтому проблема снижения наступления несчастных случаев не может быть решена чисто технически, в данном случае огромную роль играет «человеческий фактор». Именно поэтому очень важно правильно выявить причины сбоев в работе оборудования, ошибок, преднамеренных либо случайных действий персонала и заранее применить превентивные меры по предотвращению аварийных ситуаций, влекущих за собой несчастные случаи и травмы. Особое место в решении этой задачи занимает такая научная дисциплина, как «Психология безопасного труда», позволяющая получить конкретные рекомендации о том, как «человеческий фактор» может способствовать обеспечению безопасности труда.

В реальных условиях протекания производственного процесса, в котором задействованы люди, к сожалению, невозможно обеспечить идеальные условия и полностью исключить риск. В лучшем случае это может привести к некачественной продукции, в худшем – к травме или несчастному случаю.

Поскольку полностью исключить возникновение аварийных ситуаций на производстве невозможно, следует направить основные усилия на принятие превентивных мер по снижению вероятности несчастных случаев, получения работниками травм или профессиональных заболеваний, на минимизацию риска тяжёлых последствий от аварий и на выработку определённого алгоритма безопасных действий персонала предприятий.

Обсуждение. С целью разработки единого подхода к разработке мероприятий по снижению количества опасных действий работников был проведен анализ опыта ряда предприятий (табл. 1).

Можно видеть, что не смотря на казалось бы различные подходы к обеспечению безопасности на различных предприятиях, в их основе лежит прежде

всего формирование внутренней убежденности у работника в выполнении порученной ему работы с соблюдением всех норм безопасности, а также не допущения нарушения требований безопасности не только самим работником, но и постоянный контроль за безопасным выполнением работ от своих коллег.

Стоит отметить, что разработанные и успешно реализуемые на целом ряде предприятий подходы требуют определённых материальных и моральных затрат от работодателя, а также большой разъяснительной, организационной, психологической работы в коллективе. Важен стимул, позволяющий замотивировать работников на соблюдение безопасности. Это могут быть и различные материальные поощрения в виде премий, доплат, ценных подарков или существенных скидок на продукцию, бесплатное обучение за счёт средств предприятия, оплачиваемые отгулы или заграничные командировки для работников за безаварийную работу, отвечающую всем требованиям безопасности труда и техники безопасности, так и лишение премий или штрафные санкции в случае нарушения действующих требований безопасности.

Кроме этого, большое значение для реализации концепции по снижению опасных действий работников имеет мотивация по снижению производственного травматизма и профессиональных заболеваний, выражающаяся в карьерном росте, моральном поощрении работников (поощрение работников за успехи в плане обеспечения безопасной работы для коллектива в целом), осознание возможности участия наиболее отличившихся сотрудников в принятии важных стратегических решений в работе предприятия.

Особое значение имеет подготовка персонала правилам безопасного ведения работ и грамотному использованию оборудования. Для этого важны не только инструктажи, проводимые с сотрудниками на каждом предприятии, но и организация обучающих занятий в виде так называемых ситуационных игр, имитирующих реальные сценарии развития аварийных ситуаций, несчастных случаев, травм и получения профзаболеваний.

Для повышения эффективности данных мероприятий важную роль играет не только психологический климат в коллективе, но и коммуникации руководства предприятия с подчинёнными. Иными словами, важно, чтобы «начальство» и подчинённые имели общую цель по вопросам обеспечения безопасности, то есть и те, и другие старались всячески взаимодействовать друг с другом, не скрывая возникающие трудности и не пытаясь сэкономить на обеспечении безопасных условий труда. При этом обязательно должна возникать «обратная связь», позволяющая на ранних этапах выявлять недочёты в обучении сотрудников, неполадки в работе оборудования либо упущения в руководстве разного уровня, которые способны повлечь за собой непредвиденные последствия.

Таблица 1 – Мероприятия по снижению опасных действий работников

Мероприятия	Краткое описание	Предприятие
Система внутреннего надзора (СВН)	Комплексное решение, охватывающее сразу несколько направлений производственной деятельности, в том числе охрану труда и окружающей среды, промышленную и пожарную безопасность, ГО и предупреждение ЧС. Цель системы – обеспечение безопасного функционирования предприятия. Специалисты СВН предупреждают риски возникновения ЧС, аварий, несчастных случаев и развития профессиональных заболеваний. Данная система позволяет не только выявить и пресечь нарушение, но и снизить риски штрафов и других мер административного воздействия.	Pirelli Tyre Russia [27]
Электронная система «Риски»	Система «Риски» для выявления, оценивания, анализа рисков для жизни и здоровья работников, определения мероприятий по их устранению или снижению, подготовки отчета об этих мероприятиях. Система состоит из общей базы данных, веб-приложения и мобильного приложения, которое может быть установлено на рабочие смартфоны работников.	Апатитская ТЭЦ филиала «Кольский» ПАО «ТГК-1» [28]
Японская концепция непрерывного улучшения Кайдзен	Основа концепции – командная работа, в которой у каждого участника есть мотивация на постоянное развитие. Специалисты делятся опытом на совместных семинарах, воркшопах. Такой подход к обучению не только способствует обмену знаниями, но и развивает корпоративную культуру. Один из главных принципов Кайдзен – мотивация работников к постоянному обучению. Кайдзен предлагает делать небольшие шаги в обучении вместо радикальных реформ: регулярная корректировка учебных материалов и методик преподавания, а также внедрение новых интерактивных элементов. Это обеспечивает постоянное обновление знаний работников о законодательных изменениях и лучших практиках в области охраны труда.	АО «НПО ЭНЕРГОКОНТРАКТ» [29]
Процедура самооценки во время очередного обучения	Работники по заранее подготовленным анкетам с вопросами оценивают свои сильные и слабые стороны, эффективность процессов и прогресс в достижении целей. Самооценка одного работника помогает определить уровень его подготовленности. Анализ группы самооценок позволяет сделать выводы о качестве процесса и его составляющих. Например, обучения по ОТ и стажировки. Применять систему самооценки полезно не только для обучения. С ее помощью можно совершенствовать СУОТ. Например, на основе опросов работников выявлять и оценивать риски. Результаты самооценки могут быть использованы при проведении сертификации системы менеджмента в компании.	ООО «Пластферпак» [30]
Программа «Стимул к обеспечению безопасности»	Для привлечения внимания работников к вопросам охраны труда и промышленной безопасности, экологии и транспортной безопасности, повышения их ответственности за безопасность труда в производственных подразделениях устанавливаются основные показатели, которые напрямую влияют на размер премии работника. Программа может включать в себя конкурс «Лучший коллектив по охране труда, промышленной безопасности и экологии», по итогам которого работникам выплачиваются ежеквартальные премии в случае достижения ими положительного значения коэффициента безопасности. Также в рамках программы предусматривается премирование работников по итогам года, которое получают все сотрудники подразделения, если данное подразделение проработало без нарушений весь год и коэффициент безопасности имеет положительное значение.	ОАО АНК «Башнефть» [31]

Необходимо отметить важность проведения регулярных инспекций рабочих мест, основной целью которого должны стать не штрафы и отстранения от работы лиц, допустивших какие-либо нарушения, а мотивация к усовершенствованию технологического процесса, смене оборудования на более безопасные аналоги или внедрение технологических процессов, полностью исключающих присутствие в них человека (дистанционное управление, полная автоматизация, применение искусственного интеллекта и т.п.).

На производственных объектах, на которых высока вероятность возникновения аварийных ситуаций, особое значение имеет подбор персонала, потому что далеко не каждый сотрудник способен качественно выполнять свою работу, сводя к минимуму риск возникновения несчастных случаев. Именно поэтому профессиональный отбор

становится решающим направлением, с помощью которого можно значительно снизить аварийность на производственных объектах и исключить вероятность возникновения тяжёлых несчастных случаев, причиной которых служит «человеческий фактор».

С развитием производственных процессов и внедрением всевозможных технических устройств, таких, как сигнализация, блокировка, предупредительная окраска, автоматическое отключение, которые препятствуют возникновению аварий за счёт ошибок персонала, роль профессионального отбора при приёме на работу и правильная расстановка кадров заметно повысили безопасность на предприятиях. Очень важен сбор статистических данных, позволяющих выделить наиболее типичные ситуации и сопутствующие им условия, при которых возрастает риск аварий, инцидентов и связанных с

ними травм. При этом особенно актуальны сведения о том, при каких обстоятельствах, в какое именно время и по каким причинам работники получили травмы. Кроме того, необходимо выделить основные ошибки самих работников и их руководителей, приведшие к тяжёлым последствиям. Вся полученная статистическая информация может использоваться для снижения показателей травматизма, если она будет представлена в виде наглядных пособий (предупреждающих плакатов, таблиц, схем).

Таким образом можно утверждать, что для снижения общего уровня производственного травматизма наиболее эффективно использование превентивных мер по предупреждению либо исключению возможных опасных ситуаций, а также формирование психологического настроя сотрудников на безопасное поведение. Любые происшествия на производственных объектах так или иначе способствуют накоплению жизненного опыта и становятся показательными как для самих пострадавших, так и для всех окружающих. Это происходит так как все обстоятельства аварийной ситуации или несчастного случая неизбежно будут ассоциироваться с произошедшим и станут настоятельно фактором в подобной ситуации в будущем. Поэтому представляется целесообразным рассмотрение с работниками причин произошедших на предприятии несчастных случаев в ходе плановых инструктажей по охране труда по форме «Уроки, извлеченные из аварий» и «Коренные причины происшествий».

Народная мудрость гласит: «Умный учится на чужих ошибках, а глупый на своих». И это изречение в полной мере соответствует основному принципу формирования безопасного поведения работников, гласящего, что «кто предупреждён, тот вооружён». Именно поэтому так важно информировать сотрудников о потенциально опасных ситуациях, о нарушениях требований безопасности, имевших место быть и повлекших травмирование или гибель людей.

Выводы. Установлено, что свести к минимуму риск создания опасных ситуаций, приводящих к авариям, несчастным случаям и травмам, вполне можно, если минимизировать или полностью устранить все причины их возникновения. Для достижения данной цели необходимо принимать на работу сотрудников с высоким уровнем профессиональной подготовки, имеющих четкую психологическую установку на выполнение установленных на предприятии правил безопасности.

Для повышения мотивации работников к изучению требований безопасности рекомендуется оснастить кабинет охраны труда предприятия современными средствами обучения безопасным методам работы (интерактивные тренажеры, системы виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR)), которые будут использоваться для отработки действий персонала в случае возникновения каких-либо

нештатных ситуаций. Применение интерактивных технологий в процессе обучения, в которых работник может сам влиять на ход процесса, вызывает большой интерес у обучаемого, способствует получению новых знаний о технологическом процессе и позволяет сформировать и закрепить необходимые навыки работы с соблюдением всех требований безопасности.

Также рекомендуется проводить постоянную работу по совершенствованию системы обеспечения безопасности на предприятии путем создания необходимых предпосылок для обеспечения психологически комфортных условий для своих подчинённых, что будет способствовать общему снижению уровня травматизма на предприятии.

Таким образом, только комплексное применение нескольких методов снижения опасных действий работников, может привести к устойчивому снижению количества несчастных случаев на производстве и способствовать повышению общей безопасности на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чайкин В., Попова Н. Изучение факторов, влияющих на продолжительность жизни человека // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. – 2023. – №3(31). – С. 24-32. – DOI: 10.14258/zosh(2023)3.03. – EDN: LIJOTG.
2. Симонович Н.Е. Качество и продолжительность жизни людей в нашей стране: социально - психологические особенности // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 94-2. – С. 110-115. – DOI: 10.18411/tmio-02-2023-87. – EDN: IUXBMS.
3. Назаренко А.В., Астраханцева И.В., Короткова М.В. Факторы, определяющие качество и продолжительность жизни людей // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 2. – С. 21-23. – EDN: IGJION.
4. Derdowski L.A., Mathisen G.E. Psychosocial factors and safety in high-risk industries: A systematic literature review // Safety Science. –V. 157. – 2023. –105948. – DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105948.
5. Причины смертности на рабочих местах. Мировая статистика. –URL: <https://ohranatruda.ru/news/898/598070> (дата обращения: 07.06.2024).
6. Свищев А.В. Человеческий фактор как ключевой фактор безопасности труда // Безопасность городской среды: материалы IV Международной научно-практической конференции, Омск, 16-18 ноября 2016 года. – Омск: Омский государственный технический университет. – 2017. – С. 221-224. – EDN: YFWVYD.
7. Choudhry R.M., Fang D. Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. // Safety Science. –V. 46. –№ 4. –2008. –P. 566-584. – DOI: 10.1016/j.ssci.2007.06.027.
8. Дашкина А.Р., Леонова Е.Э. Влияние стрессоустойчивости на действия работников в условиях аварий на опасных производственных объектах // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Иваново, 14 октября 2021 года. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ». –2021. – С. 421-427. – EDN: JRUSRI.
9. Mullen J. Investigating factors that influence individual safety behavior at work // Journal of Safety Research. –V.35. – № 3. – 2004. – P. 275-285. – DOI: 10.1016/j.jsr.2004.03.011.
10. Tong R., Li H., Zhang B., Yang X., Ma X. Modeling of unsafe behavior risk assessment: A case study of Chinese furniture manufacturers // Safety Science. –V. 136. –2021. – 105157. – DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105157.
11. Данилова Э.С., Хомякова В.С. Человеческий фактор

как ключевая причина производственного травматизма // Молодежь и наука. – 2023. – № 2. – EDN: GYSJML.

12. Ушакова Ю.В. Человеческий фактор как один из методов исследования причин возникновения производственного травматизма // Научный журнал. – 2018. – № 1 (24). – С. 9-10. – EDN: YLASMY.

13. Стрих Н.И. Причины производственных аварий и травматизма на промышленных объектах // Наука и инновации в современном мире: Сборник научных статей. Т. I. – М: Перо. – 2018. – С. 167-170. – EDN: MNHWSO.

14. Хусаинова Р.Г. Экспертная оценка негативного воздействия производственных факторов на работников горнодобывающего предприятия Севера // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 2 (48). – С. 26. – EDN: QFPVLG.

15. Аниконова, М.А., Асафов П.Д. Анализ и влияние негативных факторов на здоровье работников малоподвижного труда // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР) Молодежной программы 27-ой Международной специализированной выставки и Форума «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2023, Москва, 05-08 декабря 2023 года. – М. – 2024. – С. 99-101. – EDN: FCYCDQ.

16. Прохоров А.В. Производственные факторы, влияющие на трудовую деятельность социального работника, и минимизация их негативных воздействий // Отечественный журнал социальной работы. – 2015. – № 1(60). – С. 93-104. – EDN TWFTEP.

17. Четырешников Ф.И., Маслова А.А. Негативное влияние вредных и опасных факторов гальванического цеха на работников // Современные проблемы экологии: Доклады XXIX всероссийской научно-практической конференции, Тула, 27 декабря 2022 года. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2022. – С. 169-173. – EDN MVGDHJ.

18. Goyal S., Singh S.K., Bhunia H. Occupational hazards and safety in secondary steelmaking industry: a review// Saf. Extreme Environ. – 2024. – DOI: 10.1007/s42797-024-00103-0.

19. Глебова Е.В., Волохина А.Т., Вихров А.Е. Анализ влияния опасных действий работников и условий на их рабочих местах на возникновение происшествий на предприятиях топливно-энергетического комплекса // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 1. – С. 27-33. – DOI 10.24000/0409-2961-2021-1-27-33. – EDN: LSNBER.

20. Шкрабак Р.В. Сравнительный анализ уровня и причин производственного травматизма по видам деятельности с наиболее высоким значением ЕГО // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 5. – С. 210-216. – EDN: IARSPL.

21. Yang J., Ye G., Xiang Q., Kim M., Liu Q., Yue H. Insights into the mechanism of construction workers' unsafe behaviors from an individual perspective// Safety Science. – V. 133. – 2021. – 105004. – DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105004.

22. Gonçalves S.M.P., da Silva S.A., Lima M., Meliá J.L., The impact of work accidents experience on causal attributions and worker behaviour // Safety Science. – V. 46. – №6. – 2008. – P. 992-1001. – DOI: 10.1016/j.ssci.2007.11.002.

23. Zhang Z., Li H., Guo H., Wu Y., Luo Z. Causal inference of construction safety management measures towards workers' safety behaviors: A multidimensional perspective // Safety Science. – V. 172. – 2024. – 106432. – DOI: 10.1016/j.ssci.2024.106432.

24. Wang C., Wang J., Wang X., Yu H., Bai L., Sun Q. Exploring the impacts of factors contributing to unsafe behavior of coal miners// Safety Science. – V. 115. – 2019. – P.339-348. – DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.003.

25. Xu R., Luo F. Research on simulation of risk control strategy for air traffic controllers' unsafe acts // Safety Science. – V. 151. – 2022. – 105728. – DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105728.

25. Niu Y., Fan Y., Ju X. Critical review on data-driven approaches for learning from accidents: Comparative analysis and future research// Safety Science. – V. 171. – 2024. – 106381. – DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106381.

26. Goh Y.M., Ubeynarayana C.U., Wong K.L.X., Guo B.H.W. Factors influencing unsafe behaviors: A supervised learning approach // Accident Analysis & Prevention. – V. 118. – 2018. – P. 77-85. – DOI: 10.1016/j.aap.2018.06.002.

27. Кудинов С. Как организовать систему внутреннего надзора в организации. Справочник специалиста по охране труда. – № 11. – 2022. – URL: <https://e.otruda.ru/996986> (по

подписке) (дата обращения: 07.06.2024).

28. Иванов И. Как легче и эффективнее управлять проффисками. Справочник специалиста по охране труда, №5. – 2021. URL: <https://e.otruda.ru/891264> (по подписке) (дата обращения: 07.06.2024).

29. Николаева А. Японская концепция непрерывного улучшения: как поможет в обучении специалистов по ОТ // Справочник специалиста по охране труда. – № 2. – 2024. – URL: <https://e.otruda.ru/1070495> (по подписке) (дата обращения: 07.06.2024).

30. Суворов К. Инструменты специалиста по ОТ: как системно повышать качество обучения по ОТ и контролировать учебный центр // Справочник специалиста по охране труда. – №11. – 2022. – URL: <https://e.otruda.ru/1054407> (по подписке) (дата обращения: 07.06.2024).

31. Галлямова Е. Как мотивировать работников соблюдать требования охраны труда: опыт ОАО АНК «Башнефть» // Справочник специалиста по охране труда. – № 6. – 2014. – URL: <https://e.otruda.ru/342044> (по подписке) (дата обращения: 07.06.2024).

Статья поступила в редакцию 23.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 331.452

EDN: ZTUEDI

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСТОЕЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

© Авторы 2024

SPIN: 7351-2476

AutorID: 312370

ORCID: 0000-0003-4460-5960

ScopusID: 57197837537

ДМИТРИЕВ Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности
Южно-Уральский государственный аграрный университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: oad2005@mail.ru)

SPIN: 3472-4000

AutorID: 690347

СТАРУНОВ Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности
Южно-Уральский государственный аграрный университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: alex_starunov68@mail.ru)

SPIN: 4272-2457

AutorID: 423388

ORCID: 0000-0001-9776-6907

ScopusID: 57205193883

РУДНЕВ Валерий Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: rudnevrv@cspu.ru)

SPIN: 3166-5689

AutorID: 465606

ORCID: 0000-0002-6558-2254

ScopusID: 57197824964

ХАСАНОВА Марина Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: marina24-03@mail.ru)

Аннотация. Данная статья посвящена вопросам безопасности использования двухстоечных автомобильных подъемников. Указанные подъемники широко используются при техническом обслуживании и ремонте транспортных средств. При этом рабочие вынуждены находиться под или рядом с поднятым грузом в несколько тонн. В нашей стране, к сожалению, нередко несчастные случаи на производстве (в том числе с летальным исходом), связанные с падением автомобилей с подъемников. Среди них можно отметить инциденты, произошедшие в Астрахани (2017 г.), в Новороссийске (2017 г.) и в Ульяновске (2021 г.). Настоящее исследование направлено на снижение риска падения транспортного средства с двухстоечного подъемника. Падение может быть вызвано множеством факторов: технических, организационных и человеческих. Однако на сегодняшний день информации о влиянии этих факторов на безопасность использования подъемников недостаточно. Главной целью этого исследования является выявление и классификация основных технических факторов, определяющих безопасность функционирования двухстоечных подъемников. Для этого были измерены и сравнены силы и моменты, возникающие в подвесах подъемника, а также перемещения опор асимметричного подъемника при различных вариантах подъема.

Ключевые слова: безопасность труда, станции технического обслуживания автомобилей, двухстоечный подъемник, подхват, опора, устойчивость подъема.

STUDY OF TECHNICAL FACTORS AFFECTING THE OPERATIONAL SAFETY OF TWO-POST LIFTS

© The Authors 2024

DMITRIEV Mikhail Sergeevich, doctor of engineering sciences,
professor of the department of Technical Service of Machines, Equipment and Life Safety
South Ural State Agrarian University
(Russia, 454080, Chelyabinsk, 75 Lenin Ave., e-mail: oad2005@mail.ru)

STARUNOV Aleksandr Vladimirovich, candidate of engineering sciences, associate professor,

head of the department of Technical Service of Machines, Equipment and Life Safety
South Ural State Agrarian University

(Russia, 454080, Chelyabinsk, 75 Lenin Ave., e-mail: alex_starunov68@mail.ru)

RUDNEV Valery Valentinovich, candidate of engineering sciences, associate professor, head of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

South Ural State Humanitarian Pedagogical University

(Russia, 454080, Chelyabinsk, 69 Lenin Ave., e-mail: rudnevrv@cspu.ru)

KHASANOVA Marina Leonidovna, candidate of engineering sciences, associate professor, associate professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

South Ural State Humanitarian Pedagogical University

(Russia, 454080, Chelyabinsk, 69 Lenin Ave., e-mail: marina24-03@mail.ru)

Abstract. This paper is dedicated to the safety issues of using two-post car lifts. These lifts are widely used in the maintenance and repair of vehicles. In this case, workers need to be under or near a lifted load of several tons. In our country, unfortunately, industrial accidents (including fatal ones) associated with cars falling from lifts are not uncommon. Among them, we can note the incidents that occurred in Astrakhan (2017), Novorossiysk (2017) and Ulyanovsk (2021). This study is aimed at reducing the risk of a vehicle falling from a two-post lift. A fall can be caused by many factors: technical, organizational and human. However, to date, there is insufficient information on the impact of these factors on the safety of using lifts. The main goal of this study is to identify and classify the main technical factors that determine the safety of two-post lifts. For this purpose, the forces and moments arising in the, as well as the movements of the asymmetric lift's supports for different lifting options, were measured and compared.

Keywords: occupational safety, car service stations, two-post lift, swing arm, lift's supports, stability of lifting.

Для цитирования: Дмитриев М.С. Исследование технических факторов, влияющих на безопасность эксплуатации двухстоечных автомобильных подъемников / М.С. Дмитриев, А.В. Старунов, В.В. Руднев, М.Л. Хасанова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 170-178. – EDN: ZTUEDI.

Введение. Работники станций технического обслуживания автомобилей (СТОА) сталкиваются с различными физическими и химическими опасными и вредными производственными факторами [1,2]. К ним относятся запыленность рабочей зоны, шум и вибрация, различные химические вещества, работа подъемно-транспортных механизмов и др. [3].

Двухстоечный подъемник является основным видом подъемно-осмотрового оборудования, применяемого при техническом обслуживании и ремонте автомобилей [4]. При этом его использование сопряжено с риском несчастных случаев, связанных с падением автомобилей на рабочих [5, 6].

Подъемник состоит из двух стоек (колонн), закрепленных в полу, по которым перемещаются каретки, приводимые в движение гидроцилиндрами [7]. Синхронизация двух кареток обеспечивается системой тросов и шкивов. Стопор-защелка, расположенный в каждой стойке, позволяет механически заблокировать каретку на нужной высоте. На каждой каретке закреплены поворотные телескопические подхваты, которые фиксируются стопорными устройствами при подъеме автомобиля. Каждый подхват оснащен опорой для контакта с точками подъема под автомобилем.

Двухстоечные подъемники могут быть симметричными: передние и задние подхваты имеют одинаковую длину, а стойки расположены напротив друг друга [8].

Также применяются асимметричные подъемники: передние подхваты короче задних, а стойки расположены под углом примерно 30° к задней части,

чтобы облегчить доступ к автомобилю.

Существует целый ряд факторов, повышающих риск несчастного случая: неправильное использование стопоров, сложность оценки положения центра тяжести автомобиля, неправильное расположение опор под автомобилем, неудовлетворительное техническое состояние стопорных устройств и подъемника в целом и др. [9-12].

При этом, несмотря на довольно большое количество несчастных случаев, происходящих в последние годы, исследования функционирования двухстоечных подъемников в реальных производственных условиях и фактически используемых методов работы с ними не проводились. Единственные исследования в этой области, описанные в научной литературе, посвящены блокировке поворотных подхватов. Барнетт и Глауберт смоделировали структурное поведение двухстоечного подъемника под нагрузкой как функцию блокировки поворота подхвата [13]. Согласно этому теоретическому исследованию, заблокированные подхваты представляют собой структурную систему, устойчивую к горизонтальным силам. Напротив, если подхваты могут свободно поворачиваться, их структурное поведение радикально меняется.

В ряде исследований [14-17] приведены факторы, которые могут вызвать риск падения транспортного средства и получения травм: само транспортное средство (масса, положение центра тяжести, техническое состояние и т.п.), тип подъемника (мощность, компоновка, общее состояние), распо-

ложение автомобиля относительно подъемника, состояние точек контакта (состояние и расположение опор, наличие льда, антикоррозионной защиты и др.), характер выполняемых работ (толчки автомобиля, необходимость открытия дверей, частота подъемов/опусканий и т.д.), а также различные факторы организационного характера.

Рассмотрим подробнее некоторые из них.

Сложность оценки положения центра тяжести транспортных средств является одними из наиболее важных факторов, особенно в ситуациях, когда добавляется значительная нагрузка или выполняются операции, которые могут дестабилизировать положение поднятого автомобиля.

Существуют также проблемы, связанные с конструкцией самих подъемников: конфигурация стоек и их размещение, иногда не полностью соответствующее размерам транспортных средств и расположению точек подъема. Зачастую стойки подъемника препятствуют доступу внутрь поднимаемого транспортного средства при выполнении определенных работ, требующих этого.

Среди факторов, связанных с определенными типами транспортных средств или их состоянием, можно назвать следующие: транспортные средства нетипичных габаритов, автомобили, подвергшиеся сильной коррозии в точках подъема, модифицированные автомобили (например, заниженные), люксовые автомобили, днище которых покрыто пластиком, и др. Все эти факторы усложняют доступ к точкам подъема, рекомендованным производителями, что негативно сказывается на стабилизации транспортного средства в точках опоры для его безопасного подъема [18].

Помимо технических следует отметить также организационные и человеческие факторы, влияющие на безопасность использования двухстоечных подъемников: организация (планировка) рабочей зоны, организация технического обслуживания самих подъемников, квалификация рабочих, соблюдение ими требований безопасности, время, выделенное для обслуживания автомобиля т.д.) [19, 20].

Анализ литературных источников показал, что информации о конкретном влиянии рассмотренных факторов на безопасность работы с подъемниками недостаточно. Решение рассматриваемой проблемы возможно только при системном подходе к исследованиям.

Исходя из вышеизложенного, цель данного исследования состоит в том, чтобы идентифицировать и классифицировать основные технические факторы, определяющие безопасность (устойчивость) подъема транспортного средства с помощью двухстоечного подъемника. Полученные результаты позволят определить направления действий по обеспечению безопасного использования подъемников на предприятиях автомобильного транспорта.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследования:

1. Измерить и сравнить силы и моменты, возникающие в подхватах двухстоечного подъемника.

2. Измерить и сравнить перемещения опор асимметричного подъемника при различных вариантах подъема.

3. Выявить переменные факторы, оказывающие существенное влияние на устойчивость подъема.

Методология. Методология предполагала исследование распределения сил и моментов, возникающих в четырех подхватах двухстоечного подъемника, и скольжения опор в результате горизонтальной и вертикальной нагрузки на транспортное средство.

Экспериментальные исследования проводились в учреждении среднего профессионального образования (колледже), осуществляющем подготовку по специальности 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей», с использованием его материально-технической базы. Применялись асимметричные двухстоечные подъемники (передние подхваты короче задних) и различные транспортные средства.

На рисунке 1 схематично представлен вид сверху подъемника с установленным транспортным средством (рис. 2), на котором показаны условные обозначения, использованные в исследовании. Левый передний подхват обозначен буквой *A*. Далее обозначение выполнено по часовой стрелке. Ось *X* направлена по ширине автомобиля, а ось *Y* – по его длине.

Целью первого этапа экспериментальных исследований являлось измерение сил и моментов на четырех опорах (табл. 1).

Факторы, учитываемые на первом этапе экспериментов, представлены в таблице 2.

В таблице 3 приведены величины, рассчитанные на основе проведенных измерений. Используемыми показателями сил и моментов являются: максимальные и минимальные значения; коэффициент вариации между четырьмя подхватами; дисбаланс как соотношение между передним и задним подхватами, левым и правым подхватами и подхватами по диагонали.

Высокое значение коэффициента вариации указывает на то, что один из подхватов может быть недогружен или перегружен. Недогрузка может спровоцировать временное высвобождение подхвата и позволить ему вращаться, перегрузка может привести к преждевременному износу.

В то время как коэффициент вариации позволяет получить представление о распределении сил и моментов по подхватам, значение дисбаланса дает возможность получить физическое представление об этом явлении. Чем выше значение дисбаланса, тем более потенциально нестабильно (опасно) вывешивание автомобиля на подъемнике.

На втором этапе экспериментов проводилось исследование скольжения опор.

На рисунке 3 представлена опора с резиновой подушкой, установленная со смещением.

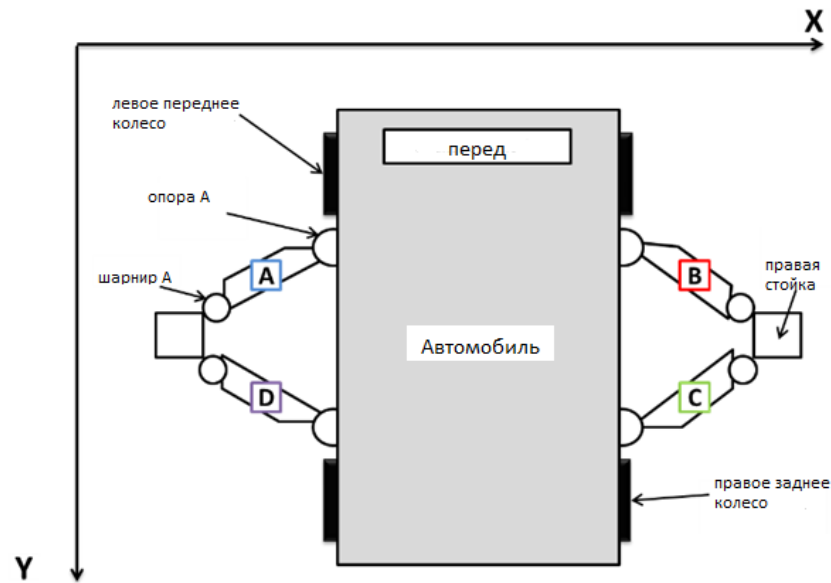


Рисунок 1 – Условные обозначения, использованные в ходе экспериментальных исследований



Рисунок 2 – Внешний вид экспериментальной установки

Таблица 1 – Измерения, проведенные на первом этапе экспериментальных исследований

Измеряемая величина	кол-во изм.	Описание
Нормальная сила (перпендикулярная опорам)	4	1 измерение на каждую опору с помощью датчиков нагрузки
Положение опор	8	Расстояния по оси X и по оси Y от контрольной точки для 4 опор
Положение шарниров	8	Расстояния по оси X и по оси Y от контрольной точки для шарниров 4-х подхватов.
Положение автомобиля	4	Расстояния по оси X и по оси Y от контрольной точки для двух шин автомобиля
Наклон опор	8	Углы изгиба и кручения для 4 опор. В качестве исходной оси принята ось подхвата.
Наклон автомобиля	2	Углы крена (влево/вправо) и тангажа (вперед/назад) поднятого автомобиля

Таблица 2 – Факторы, учитываемые на первом этапе экспериментальных исследований

Фактор	Уровень/условное обозначение	Описание
Техническое состояние подъемника	П1: новый подъемник	3 175 кг. Асимметричный с прямыми стойками.
	П2: подъемник, бывший в эксплуатации	
Тип автомобиля (А)	А1: Компактный	Двухдверный автомобиль (1 256 кг)
	А2: Пикап	2 436 кг
Расположение автомобиля (Р)	Р1: Заднее	Автомобиль установлен максимально назад
	Р2: Переднее	Автомобиль установлен максимально вперед
Центровка автомобиля (Ц)	Ц1: По центру	Транспортное средство установлено по центру между стойками
	Ц2: Не по центру	Транспортное средство установлено максимально вправо
Загрузка автомобиля (Г)	Г0: Негруженный	Автомобиль не загружен
	Г1: Грузный	216 кг над задней осью
Использование стопора-защелки (С)	С0: Без стопора	Каретки поддерживаются гидросистемой
	С1: Со стопором	Каретки фиксируются стопорами-защелками

Таблица 3 – Величины, рассчитанные на первом этапе экспериментальных исследований

Измерение/комбинированная величина	Рассчитываемая величина (за каждый опыт)
Положение опор; Положение шарниров	Длина 4-х подхватов
Силы в опорах; Длина подхватов	Момент силы (для 4-х подхватов)
Силы в опорах; Углы опор	Составляющие силы (для каждой опоры)
Положение шарниров; Положение колес	Положение центра тяжести автомобиля относительно стоек подъемника. Углы установки автомобиля на подъемнике.
Силы в опорах; Положение опор	Центр масс автомобиля
Силы в опорах	Отношение: сила, действующая на подхват/грузоподъемность подхвата; коэффициент вариации 4-х сил; Дисбаланс: $\frac{\sum F_{\text{перед.подх.}}}{\sum F_{\text{зад.подх.}}}$; $\frac{\sum F_{\text{лев.подх.}}}{\sum F_{\text{прав.подх.}}}$;
Моменты сил в опорах	Сумма моментов; коэффициент вариации 4-х моментов; Дисбаланс: $\frac{\sum M_{\text{перед.подх.}}}{\sum M_{\text{зад.подх.}}}$; $\frac{\sum M_{\text{лев.подх.}}}{\sum M_{\text{прав.подх.}}}$;



Рисунок 3 – Опора с резиновой подушкой и нанесенными метками

Цель эксперимента состояла в том, чтобы измерить скольжение четырех опор относительно транспортного средства, когда к автомобилю прилагается нагрузка. При этом осуществлялись два типа толчков: вертикальные толчки на уровне багажника и боковые удары в правое заднее колесо.

Проводились измерения скольжения каждой опоры и силы, приложенной к транспортному средству. Смещение опор определялось по отметкам, нанесенным перед экспериментом на опоры и

кузов автомобиля. Измерение приложенных сил осуществлялось с помощью датчика нагрузки.

Учитываемыми факторами (табл. 4) являлись: тип опор, загрязнение опор, положение опор, способ фиксации подхватов и тип нагрузки на автомобиль.

Исследования проводились на негруженом ($G0$) компактном автомобиле ($A1$) в рекомендованном положении (центр тяжести выровнен относительно стоек). Точки подъема были выбраны согласно рекомендациям производителя.

Таблица 4 – Факторы, учитываемые на втором этапе экспериментальных исследований

Фактор	Уровень/условное обозначение	Описание
Тип опоры	Оп1: Резиновая	Квадратная опора, покрытая резиной
	Оп2: Металлическая	Съемная металлическая опора
Загрязнение опор	З0: Чистая	Опора очищена обезжиривателем
	З1: Загрязненная	Опора покрыта универсальной смазкой
Положение опор	О1: Опора центрирована	Точка контакта по центру опоры
	О2: Опора смещена	Точка контакта смещена к краю опоры
Блокировка подхватов	Б0: Не блокированы	Стопорные устройства не используются
	Б1: Блокированы	Стопорные устройства используются
Тип нагрузки на автомобиль (толчка)	Т1: Боковой удар	Удары по правому заднему колесу
	Т2: Толчки багажника	Вертикальные толчки в край багажника

В ходе эксперимента были определены такие показатели, как максимальное и среднее смещение опор, и выявлены варианты подъема (сочетания факторов), вызывающие наибольшее скольжение опор.

Результаты. На рисунке 4 представлены результаты определения положения центра тяжести автомобиля в ходе первого этапа экспериментальных исследований. Точкой отсчета (0) является центр между двумя стойками подъемника.

В целом, центр тяжести пикапа смещен назад относительно стоек примерно на 400 мм по сравнению с компактным автомобилем. Это объясняется тем, что $A2$ удлинен и его центр тяжести находится дальше назад. Максимальная амплитуда смещения по оси X (влево-вправо) между $Ц1$ и $Ц2$ составила 178 мм для $A1$ (от -34 до +144) и 129 мм для $A2$ (от -9 до +120). Максимальная амплитуда смещения по оси Y (вперед-назад) между $P1$ и $P2$ составила 650 мм для $A1$ (от -534 до +116) и 1181 мм для $A2$ (от -875 до +306). Различия объясняются размером транспортных средств и конструкцией подъемника.

С целью выявления факторов, а также их взаимодействия, оказывающих значимое влияние на коэффициент вариации сил на четырех опорах был проведен статистический анализ.

В ходе экспериментов измерение сил начиналась, как только автомобиль поднимался. При подъеме каретки поддерживались гидросистемой. После этого каретки опускались и упирались в стопоры-защелки.

Результаты показали значительную разницу между силами, измеренными на подхватах, когда

каретки поддерживаются гидравлическим давлением и в случае применения стопоров-защелок. Силы, действующие на подхваты B и D (по диагонали), больше, когда каретки фиксируются стопорами, при этом силы на подхватах A и C (другая диагональ) уменьшаются. Увеличение сил наблюдается у подхватов, расположенных со стороны установки стопоров-защелок на стойках подъемника.

Во всех случаях лучшее распределение сил по диагоналям наблюдается, когда каретки поддерживаются гидросистемой, а не при использовании стопоров-защелок. Разница между двумя вариантами ($C0/C1$) составляет порядка 600...700 Н для $A1$ и 400...500 Н для $A2$.

Для всех опытов, проведенных с негруженым $A1$ ($G0$), сумма сил спереди ($A+B$) больше суммы сил сзади ($C+D$). Такое неравномерное распределение объясняется тем, что центр тяжести находится ближе к передней части автомобиля, а также расположением точек подъема. В целом, в ходе опытов с новым подъемником ($П1$) с $A1$ силы распределялись симметрично слева направо. Когда $A1$ нагружен ($G1$) и установлен на $П1$, силы распределяются почти поровну на всех четырех опорах.

Таким образом, минимальный коэффициент вариации сочетания $П1A1$ был получен при груженом автомобиле, т.е. 3,7% для варианта $П1A1Ц1P2Г1C0$, максимальный – при негруженом, т.е. 40,6% для $П1A1Ц2P2Г0C0$.

На первый взгляд это может показаться нелогичным, но из-за загрузки багажника $A1$ центр тяжести смещается назад, что и способствует более

равномерному распределению сил по подхватам.

Анализ распределения сил при использовании подъемника, бывшего в эксплуатации (П2), с негруженым А1 выявил, что подхват С оказывается недогруженным. На него приходится 6...15% от общей нагрузки.

Это явление, возможно, вызвано более сильным износом подхвата С, а также тем фактом, что центр тяжести негруженого А1 смещен вперед.

В отличие от А1, распределение сил для А2 одинаково при использовании обоих подъемников (нового и бывшего в эксплуатации).

Анализ результатов первого этапа экспериментальных исследований позволяет сделать вывод, что факторами, существенно влияющими на распределение сил по подхватам подъемника,

являются: сочетание «загрузка автомобиля – тип транспортного средства»; сочетание «техническое состояние подъемника – тип транспортного средства»; использование стопоров-защелок.

Центрирование автомобиля относительно стоек подъемника не является значимым фактором.

На основании анализа результатов второго этапа экспериментов были выявлены факторы, оказывающие значительное влияние на смещение (скольжение) опор: тип опор; тип нагрузки на автомобиль; взаимодействие этих двух факторов. Загрязнение также может увеличить скольжение металлических опор, но влияние данного фактора значительно меньше.

Влияние блокировки подхватов и положения опор статистически незначимо.

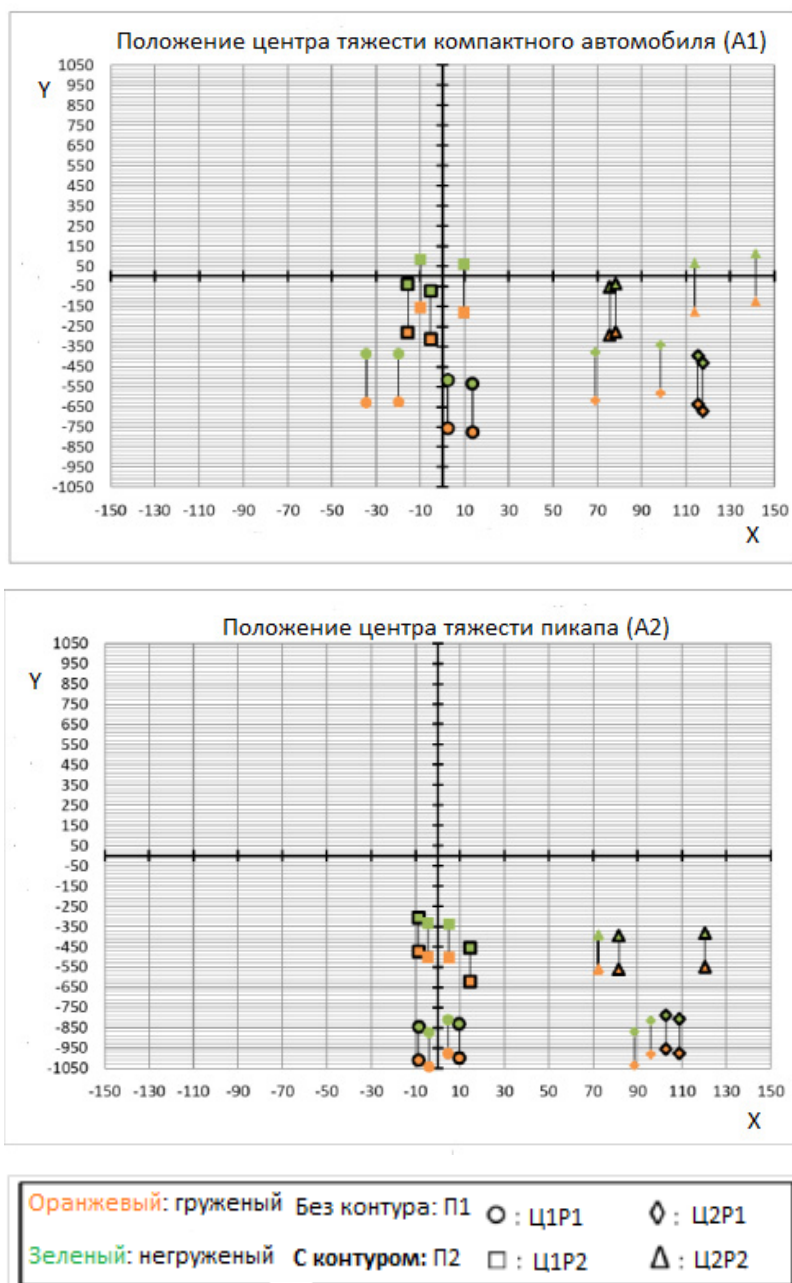


Рисунок 4 – Результаты определения положения центра тяжести компактного автомобиля (А1) и пикапа (А2)

Обсуждение. Одной из основных причин нескольких несчастных случаев при эксплуатации двухстоечных подъемников была названа неисправность стопорных устройств подхватов. Однако выход из строя данных устройств не объясняет причину изначального приведения в движение автомобиля или подхвата.

Согласно результатам, полученным в ходе данного исследования, движение подхватов можно объяснить скольжением опор вследствие сочетания следующих факторов.

1. Неправильное положение опоры (контакт на краю опоры). Это приводит к наличию больших горизонтальных сил, при этом малейшее скольжение опоры под действием внешней силы или колебаний может вызвать потерю контакта.

2. Покрытие опор. По результатам испытаний металлические опоры смещаются (соскальзывают) в большей степени, чем опоры с резиновыми подушками. Это объясняется коэффициентами трения. Таким образом, конструкция опоры и ее покрытие влияют на вероятность падения автомобиля.

3. Слабый контакт опоры с точкой подъема на автомобиле. Согласно результатам настоящих исследований при определенных условиях подхват оказывается значительно недогруженным, что может спровоцировать его перемещение.

Выводы. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

В ходе экспериментов с компактным автомобилем и изношенным подъемником была выявлена недогрузка одного из подхватов (< 50 кг), что обуславливает риск его высвобождения при вывешивании транспортного средства. Это явление подтверждает влияние технического состояния подъемника на безопасность его эксплуатации.

При загрузке кузова пикапа и смещении его назад относительно стоек подъемника наблюдался значительный дисбаланс сил в сторону задних подхватов (до 82% суммы создаваемых моментов). В целях безопасности данный вариант подъема следует избегать.

Асимметричное расположение стопоров-защелок на стойках, создает большую нагрузку на подхваты, расположенные со стороны установки стопоров. Эта конфигурация не рекомендуется.

Правильность первоначальной установки опор под автомобиль имеет большое значение, поскольку во время опытов было выявлено, что смещение при подъеме и обслуживании автомобиля может достигать $\frac{1}{4}$ ширины опоры (> 50 мм). При этом блокировка подхватов не оказывает существенного влияния на скольжение (смещение) опор.

Измеренное смещение оказалось намного больше у металлических опор, чем у резиновых. Боковые удары по автомобилю вызывают большее скольжение опор, чем вертикальные толчки.

Для того чтобы решить комплексную проблему повышения безопасности эксплуатации двухстоеч-

ных подъемников, необходимо в дальнейшем провести исследования организационных и человеческих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Старунова И.Н. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств [Текст]: монография / М.С. Дмитриев, Ю.Г. Горшков, И.Н. Старунова. – Челябинск: ЧГАА., 2010. – 291 с.
2. Дмитриев М.С. Повышение безопасности и улучшение условий труда оператора в транспортно-технологическом процессе сельскохозяйственного производства [Текст]. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2012. – 43 с.
3. Блякинштейн И.М. Методика определения весоности свойств технологического оборудования для технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст] / И.М. Блякинштейн // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 3 (74). – С. 29-35.
4. Ключевский Е.Н., Горбенко А.И. и др. Разновидности автомобильных подъемников для автотранспортных предприятий [Текст] / Е.Н. Ключевский, А.И. Горбенко // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы национальной научно-практической конференции, 2019. – С. 70-73.
5. Бучельникова Т.А., Стрюковский Д.А. Системы безопасности автомобильных подъемников [Текст] / Т.А. Бучельникова, Д.А. Стрюковский // Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве: материалы всероссийской национальной научно-практической конференции, 2020. – С. 100-103.
6. Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Обеспечение безопасности подъемников при эксплуатации [Текст] / М.А. Степанов, Б.А. Кайтуков // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 5 (13). – С. 43.
7. Фадеев И.В., Иванов А.Г. Модернизация двухстоечного автомобильного подъемника [Текст] / И.В. Фадеев, А.Г. Иванов // Подготовка кадров на технологическом факультете: традиции и направления развития: сборник всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева. – 2020. – С.211-214.
8. Кожевников С.О. Методика выбора оптимальной конструкции подъемника для автомобилей [Текст] / С.О. Кожевников // Вестник развития науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 98-101.
9. Akple, M.S., Turkson, R.F., Biscoff, R., Nyamume, G.Y. (2013). Accident and safety violation in automobile repair workshops in Ghana. International Journal of Business, Management and Social Sciences, 4(1), 12-21.
10. Akple, M.S., Turkson, R.F., Ezugwu, C.I., Biscoff, R.K., Bosroti, C.K. (2014). An empirical investigation into the relationship between workshop operations and accidents in local automobile garages in Ghana. Journal of Advances in Environmental Health Research, 2(4), 142-150.
11. Baril-Gingras, G., Bellemare, M., Brun, J.-P. (2007). Conditions et processus menant à des transformations à la suite d'activités de formation en santé et en sécurité du travail. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé, 9(1).
12. Bejan, A., Brosseau, L.M., Parker, D.L. (2011). Exposure assessment in auto collision repair shops. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 8(7), 401-408.
13. Barnett, R.L., Glauber, J.B. (2009). Automotive lifts: Unrestrained v. restrained swing arms. Safety Brief, 29(2).
14. Bulet-Vienney, D., Gauthier, F., Galy, B. (2022). Risk-based Inspection applied to Two-Post Above-Ground Automotive Lifts. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics.
15. Братухин Н., Канделаки Д., Эйсмонт А. Основы эффективной эксплуатации автомобильных подъемников [Текст] / Н. Братухин, Д. Канделаки, А. Эйсмонт // ТехНадзор. – 2015. – № 11 (108). – С. 323.
16. Балаганский А.А., Смирнов В.Д. Повышение техники безопасности при эксплуатации автомобильного

гидравлического подъемника [Текст] / А.А. Балаганский, В.Д. Смирнов // Техносферная безопасность: материалы четвертой всероссийской молодежной научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор В.С. Сердюк. – 2017. – С. 131-133.

17. Burlet-Vienney, D., Galy, B., Cusson Bertrand, K., Beaugrand, S., Gonella, M., Ledoux, É. (2022). Analysis of vehicle stability when using two-post above-ground automotive lifts: Support pad slippage. *Safety*, 8(3), article 58.

18. Kambris M.E.K., Khan S., Al Falasi S.N. (2019). Perceptions of health and safety among workers in the automotive repair industry in Dubai (United Arab Emirates): A cross-sectional exploratory study. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 19(3), 126-135.

19. Vyas, H., Das, S., Mehta, S. (2011). Occupational injuries in automobile repair workers. *Industrial Health*, 49(5), 642-651.

20. Kletz, T.A. (2003). Inherently safer design: Its scope and future. *Process Safety and Environmental Protection*, 81(6), 401-405.

Статья поступила в редакцию 18.08.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 628.339:66.081

EDN: HBAQND

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОГО АДсорбЕНТА
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

© Автор(ы) 2024

SPIN: 6642-2247

AuthorID: 1035933

ORCID: 0009-0001-4624-1569

ResearcherID: AAX-2783-2021

ScopusID: 6507341524

ВУРДОВА Надежда Георгиевна, EMBA, кандидат технических наук, доцент,
начальник управления проектирования объектов водоподготовки и водоочистки

АО «ГМС Нефтемаши»

(105203, Россия, Москва, улица Первомайская, дом 126, филиал в г.Москве, e-mail: nadya_vurdova@mail.ru)

Аннотация. В процессах водоподготовки и очистки сточных вод часто применяются методы фильтрования с использованием сорбентов. С их помощью из воды можно удалять растворимые органические загрязнения, включая фенолы, пестициды, нефтепродукты, различные красители, а также ионы тяжелых металлов (ИТМ). Указанные компоненты являются опасными экотоксикантами и подлежат извлечению и утилизации. Наиболее известный сорбционный материал – активированный уголь достаточно хорошо извлекает из воды эти вещества, но остается слишком дорогим и трудно утилизируемым. Поэтому существует перспектива для других природных адсорбентов, особенно для применения в крупнотоннажных производствах, более дешевых и доступных – дисперсных кремнеземов (диатомитов, опок, трепелов). Было проведено исследование по использованию опоки в качестве сорбционного материала для доочистки нефтесодержащих сточных вод. Исследованы адсорбционные и фильтрующие свойства материала, выполнены расчет и подбор технологического оборудования для реализации сорбционного метода доочистки сточных вод. Комплексный подход по обеспечению экологической безопасности предлагаемых технологий предусматривает решение вопроса переработки получающихся при очистке производственных сточных вод нефтесодержащих твердых отходов (НСО) – отработанного адсорбента. В данной статье представлены результаты исследования по получению безопасного для размещения в окружающей среде продукта утилизации. Рассмотрен метод обезвреживания отработанного адсорбента литификацией. Расчетным методом установлен показатель степени опасности литифицированного образца, $K_i = 41,952$, что позволяет отнести полученный отход к IV классу. Обоснована возможность его применения в качестве продукта утилизации – вторичного материального ресурса (ВМР), что соответствует наилучшим доступным технологиям [1].

Ключевые слова: природный адсорбент, опоки, нефтесодержащие сточные воды, утилизация отработанного адсорбента, литификация, вторичный материальный ресурс.

A SAFE ECOLOGICAL WAY TO DISPOSE OF WASTE SORBENT FOR WATER PURIFICATION

© Author(s) 2024

VURDOVA Nadejda Georgievna, associate professor, EMBA, PhD,
head of the Design Department of Water Treatment and Water Treatment Facilities
JSC “GMS Neftemash”(105203, Russia, Moscow, Pervomaiskaya st., 126, e-mail: nadya_vurdova@mail.ru)

Abstract. Adsorbent filtration methods are often used in water and wastewater treatment processes. They can be used to remove soluble organic contaminants from water, including phenols, pesticides, petroleum products, various dyes, and heavy metal ions. These components are hazardous ecotoxicants and must be extracted and disposed of. The most known sorption material - activated carbon - extracts these substances from water quite well, but remains too expensive and difficult to utilize. Therefore, there is a prospect for other natural adsorbents, especially for application in large tonnage production, cheaper and more accessible - dispersed silica (diatomites, opokas, trepels). A study was conducted on the use of opoka as a sorption material for the post-treatment of oil-containing wastewater. The adsorption and filtering properties of the material were studied, the calculation and selection of process equipment for the implementation of the sorption method of post-treatment of wastewater were performed. An integrated approach to ensuring the environmental safety of the proposed technologies provides for a solution to the issue of processing the resulting oil-containing solid waste (OCSW) during the treatment of industrial wastewater - spent adsorbent. This article presents the results of a study on obtaining a disposal product that is safe for placement in the environment. The article presents the results on neutralization of spent adsorbent by lithification. By the calculation method the index of the degree of danger of the lithified sample, $K_i = 41,952$, that allows to refer the received waste to the IV class is established. The possibility of its application as a product of utilization - secondary material resource (SMR), which corresponds to the best available technologies [1].

Keywords: natural adsorbent, flasks, oil-containing wastewater, recycling of spent adsorbent, lithification, secondary material resource.

Для цитирования: Вурдова Н.Г. Экологически безопасный способ утилизации отработанного адсорбента для очистки воды / Н.Г. Вурдова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 179-187. – EDN: HBAQND.

Введение. Сорбционные методы очистки природных и сточных вод применяются, как правило, для достижения необходимого качества в соответствии с [2, 3]: «...для удаления растворимых органических загрязнений, включая нефтепродукты, фенолы, ПАВ, синтетические красители, а также ионы тяжелых металлов». Кроме высокой эффективности, достигающей 95%, сорбенты обладают возможностью избирательного поглощения веществ из многокомпонентных растворов. Для очистки воды от указанных примесей применяются материалы с развитой или специфической поверхностью. Как отмечают авторы [4,5] наибольшую активность проявляют тонкодисперсные и пористые адсорбенты (эквивалентный диаметр зерен $d_e < 100$ мкм, площадь удельной поверхности 100-1000 м²/г). Установлено, что основными технологическими требованиями к адсорбентам являются высокие значения сорбционной емкости, удельной поверхности и пористости. Активированный уголь является наиболее часто применяемым адсорбентом в процессах доочистки сточных вод, в большей степени соответствует этим требованиям [4,6]. В работах [7,8] можно ознакомиться с последними исследованиями по применению активированных углей для доочистки сточных вод.

Однако в виду высокой стоимости – основного недостатка активированного угля, требуется предусматривать дополнительно технологию и оборудование для регенерации угля. При этом, как правило, ухудшаются его сорбционные свойства.

Известны также углеродсодержащие сорбенты, полученные из различных органических материалов. Так в работах отечественных ученых Свергузовой С.В. [9], Шайхиева И.Г. [10], Политаевой Н.А., Ольшанской Л.Н. [11] и ряда зарубежных [12-14] исследуются возможности получения сорбентов из отходов сельскохозяйственной и целлюлозной продукции, биомассы водных растений, семян, отходов сжигания органического топлива и другие. Анализ источников показывает достаточно хорошие результаты и перспективность направлений. Однако для применения в крупнотоннажных системах очистки воды (сотни и тысячи метров кубических в час) такие сорбенты малоприменимы.

Для развития сорбционного метода очистки воды особый интерес представляют природные материалы – дисперсные кремнеземы, и, в частности, опоки. Основные их преимущества состоят в практически неограниченных запасах, широком распространении, дешевизне, достаточно высоких адсорбционных и фильтрующих свойствах. Это делает экономически

целесообразным и эффективным их использование в процессах очистки СВ.

Среди работ, посвященных изучению свойств дисперсных кремнеземов, выделим научные исследования Алыкова Н.М. [15], Стрелкова А.К. [16], Климова Е.С. и Бузаевой М.С. [17], Убаськиной Ю.А. [18], зарубежных авторов [19-22] и др. [23, 24]. Представленные результаты однозначно показывают высокую эффективность полученных из дисперсных кремнеземов адсорбентов. Однако, согласно рекомендациям Каменика Л.Л. [25], любая технология, направленная на природоохранную деятельность, должна быть сбалансирована экологически и экономически для возможного ее широкого применения. Учитывая это положение, не удалось проследить полный жизненный цикл предлагаемых сорбентов от получения до их утилизации, оценить стоимость и экологическую безопасность отработанных материалов.

Таким образом, целью данной статьи является представление результатов исследования по получению безопасного для размещения в окружающей среде продукта утилизации – отработанного сорбента, после применения в процессе сорбционной очистки сточных вод нефтегазодобывающего предприятия. Проведенное исследование является частью нашей работы по получению экономически приемлемого и высокоэффективного сорбента на основе природного материала, снижающего экологическую нагрузку на всех стадиях своего жизненного цикла [26]. В качестве сорбционного материала предложено использовать опоку.

Известны различные способы утилизации отходов, содержащих нефтепродукты, ионы тяжелых металлов и другие загрязнители. Однако наметилась тенденция повторного применения обезвреженного отхода в качестве ВМР, что соответствует принципам НДТ [27, 28]. Наиболее подходящим для решения намеченных задач является метод литификации или реагентного капсулирования, который хорошо зарекомендовал себя как в нашей стране [29, 30], так и за рубежом [31] в виду его относительно недорогой и простой реализации.

Методология. Как правило, отработанные сорбенты, выгружаемые из фильтров доочистки нефтесодержащих сточных вод относят к III классу опасности согласно ФККО [32-34].

Нами была исследована механическая прочность (измельчаемость и истираемость) опок с нескольких месторождений РФ. Установлено, что она в большинстве случаев превосходит аналогичные характеристики известных отечественных фильтрующих

материалов. В таблице 1 показано сравнение с использованием данных [35].

Сорбционная способность опок успешно используется для удаления из воды растворенных

железа, марганца, других ИТМ, нефтепродуктов. В таблице 2 приведены основные сорбционные и фильтрующие свойства используемой в нашем исследовании Каменнорская опоки.

Таблица 1 – Механическая прочность фильтрующих материалов в соответствии с ГОСТ Р 51641-2000 (составлено по [36])

№ пп	Фильтрующий материал	Истираемость, %	Измельчаемость, %
1	Гидроантрацит марки А	0,28	2,83
2	Песок кварцевый месторождения «Гора Хрустальная»	0,15	2,60
3	Песок кварцевый Волгоградский	0,14	1,17
4	Песок кварцевый Криводановский	0,40	15,9
5	Дробленый керамзит	2,12	0,12
6	Шунгизит Карельский	0,22	1,53
7	Клиноптилолит Сокиринский	0,44	3,43
8	Гранатовый песок	0,12	1,42
9	Опока Каменнорская	0,08	0,20
10	Опока Саратовская	0,08	0,40
11	Опока Артемовская	0,08	0,20

Примечание. Нормативные значения, %: истираемость – 0,5 ; измельчаемость – 4,0

Таблица 2 – Сорбционные и фильтрующие свойства опоки Каменнорской

№ пп	Наименование показателя	Ед. измерения	Значение
1	Суммарный объем пор, V_{Σ}	см ³ /г	1,31
2	Объем сорбирующих пор, V_s	см ³ /г	0,25
3	Объем мезопор, V_{me}	см ³ /г	0,25
4	Объем микропор, V_{mic}	см ³ /г	0,003
5	Средний диаметр мезопор, D_{me}	нм	9,50
6	Средний диаметр микропор, D_{mic}	нм	1,30
7	Удельная поверхность (БЭТ), $S_{уд}$	м ² /г	91,41
8	Удельная поверхность (по Лэнгмюру), $S_{ул}$	м ² /г	158,66
9	Энергия адсорбции, E_0	кДж/моль	5,96
10	Оптимальный диаметр частиц сорбента, D_0	мм	0,8-1,7
11	Эффективный диаметр частиц, $D_{эф} = D_{10}$	мм	0,70
12	Средний диаметр частиц, $D_{cp} = D_{50}$	мм	1,3-1,4
13	Эквивалентный диаметр частиц, $D_{экв}$	мм	1,15
14	Коэффициент однородности частиц, D_{80}/D_{10}	мм	1,7
15	Плотность истинная материала	г/см ³	1,4-1,7
16	Плотность насыпная материала	т/м ³	0,6-0,8
17	Пористость	%	45
18	Расчетная скорость фильтрования: нормально форсировано	м/ч	10 12
19	Интенсивность промывки	л/с·м ²	8
20	Время промывки	мин	15

Проведено исследование физико-механических свойств опоки, отработавшей в условиях реального производства. Адсорбент (опока Каменнорского месторождения, Астраханская область) был применен в проекте по очистке химически загрязненных сточных вод на Уренгойском газоконденсатном месторождении, загружен и фильтр в 2016 году и проработал в качестве основной загрузки примерно пять лет. На данную технологию получен патент РФ [42]. Отработанный адсорбент имеет коричневатый цвет и содержит весь спектр компонентов, присутствующих в сточных водах предприятия: ионы цинка, меди, хрома, железа, стронция и др., углеводороды.

Эксперименты по литификации отработанного

сорбента проведены в научно-исследовательской лаборатории на базе ООО «Баромембранные технологии». Компания занимает лидирующие позиции в области промышленной водоподготовки и очистки сточных вод.

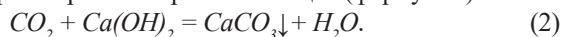
Основой реагентного метода является капсулирование твердых и пастообразных отходов с помощью щелочных и щелочноземельных металлов. Как правило применяют негашеную известь CaO , которая «упаковывает» в водонепроницаемые капсулы нефтесодержащие отходы [36].

Литификация происходит за счет протекания экзотермической реакции при гашении извести (1164 кДж/кг Ca) (формула 1), которая увеличивает свою

удельную поверхность в 20 и более раз, вовлекая в известковые оболочки (капсулы) разогретые нефтепродукты.



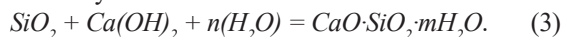
Для полного протекания процесса необходимо перемешивание, что способствует лучшему проникновению воды в оксид кальция и взаимодействию образующегося по реакции (1) гидроксида кальция с углекислым газом воздуха. При этом образуется нерастворимый карбонат кальция (формула 2):



Последовательное протекания реакций (1 и 2) способствуют образованию «капсул» – карбонатных оболочек вокруг загрязнений. В нашем случае это были нефтезагрязненные частицы. Дополнительный эффект гашения извести наблюдается при ее взаимодействии с ИТМ, которые превращаются в нерастворимые гидроксиды. Последние также обво-

лакиваются карбонатной гидрофобной капсулой [37].

Так как опоки более, чем на 80% состоят из кремнезема, то возможно протекание реакции образования гидратированных силикатов кальция (формула 3). Это способствует упрочнению образующихся капсул.



Для протекания реакций (1 и 3) необходима вода. Ее количество $V_{\text{H}_2\text{O}}$, мл, определяют по формуле (4):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = (18m_{\text{CaO}}) / 56 + W_C \cdot m_C \quad (4)$$

где m_{CaO} – масса оксида кальция, г; m_C и W_C – масса и влажность обрабатываемого отхода, г.

На рисунке 1 показана схема образования нерастворимых капсул. На начальном этапе необходимо перемешивание, при котором негашеная известь поглощает нефть и другие неполярные органические вещества и ИТМ гидрофобной поверхностью (рис. 1а).

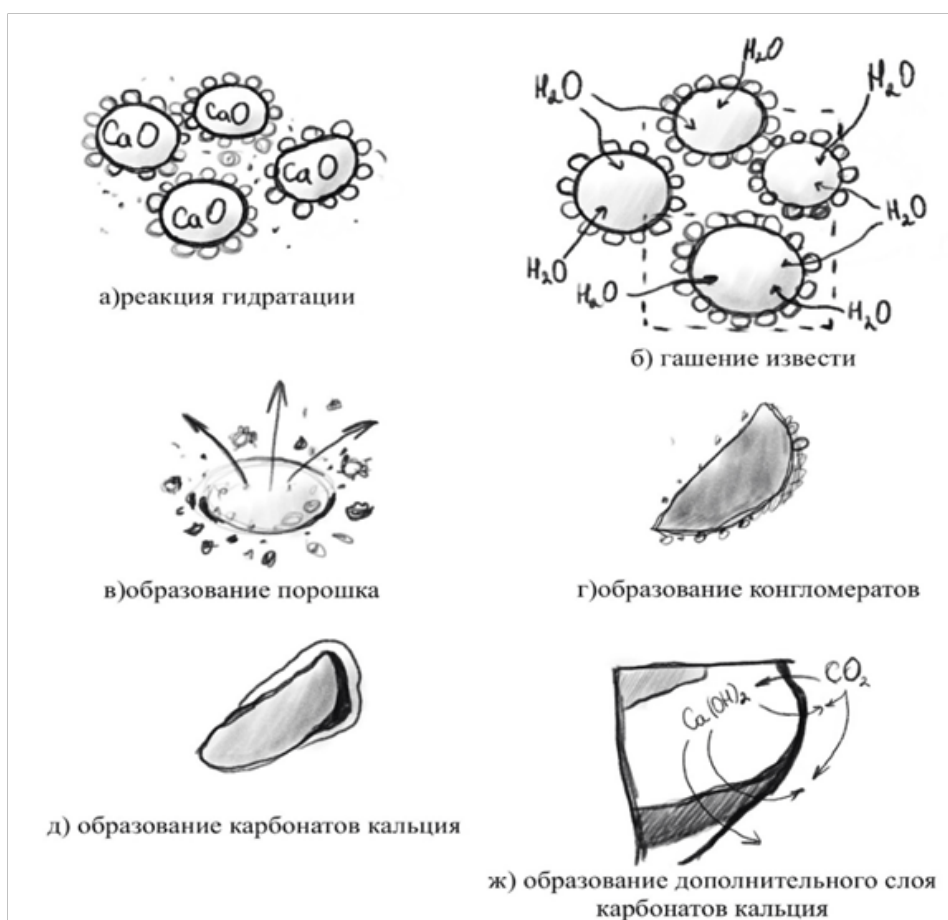


Рисунок 1 – Схема обезвреживания НСО литификацией (пояснения в тексте)

Дальнейшее перемешивание разрушает битумную пленку за счет абразивного воздействия частиц опоки. Появление микротрещин способствует проникновению воды внутрь частиц реагента (рис. 1б). Механическое перемешивание способствует ускорению экзотермической реакции (1). В результате бурного выделения тепла масса значительно увеличивается в объеме, образуется порошок (рис.

1в). Аналогичные результаты были получены в работах [36-38]. Далее гидроксид кальция по реакции (2) обволакивает каждую частицу шлама, продолжая образовывать капсулы. Следующим этапом происходит образование конгломератов из капсул (рис. 1г). Прочность оболочке придает взаимодействие гидроксида кальция с атмосферным или растворенным углекислым газом, которое

приводит к образованию нерастворимого карбоната кальция и труднорастворимого силиката кальция из кремнезема опоки (рис. 1д).

Продолжающиеся реакции (2) и (3) приводят к возникновению дополнительного слоя карбоната кальция и его упрочнению (рис. 1ж). Мы согласны с предложенной автором [36] интерпретацией, когда: «...каждая частица представляет собой капсулу, внутри которой находятся надежно изолированные токсиканты, сорбированные гидроксидом кальция под нерастворимой известковой оболочкой». Рассмотренные процессы капсулирования протекают достаточно медленно, непрерывно, и толщина карбонатной оболочки при этом увеличивается [36].

Анализ химических составов, с помощью которых производят литификацию нефтесодержащих отходов показывает, что в большинстве случаев используют двух-, трех- и более компонентные смеси. Оксид кальция является основой многих композиций. Далее добавляют различные гидрофобизирующие модификаторы, например, технические жиры и воски [29, 39], ПАВ и дорожные битумы [36, 40] или различные сорбенты. В качестве последних могут применяться активированный уголь, в том числе из отходов растительного происхождения, кремнеземсодержащие материалы, зола ТЭЦ и другие [37, 41].

В любом случае, выбор способа переработки НСО должен отталкиваться от его состава и возможности получения вторичного материального ресурса (ВМР) для использования в производствах: строительных и гидроизоляционных материалов, дорожном строительстве и др.

Физико-химические и механические свойства отработанного сорбента определяли по стандартным методикам [43-45].

Результаты. Подбор дозы отработанного сорбента для литификации. Для литификации был взят

образец отработанного сорбента, анализ которого представлен в таблице 3. Определены у образцов водопоглощение -13,5% и плотность насыпная – 810 кг/м³.

Литификацию проводили следующим образом. Расчетное количество извести и опоки перемешивали в течение 3 минут. Затем добавляли воду с учетом ее содержания в обрабатываемой пробе, перемешивали в течение 10 мин. В результате протекания реакции (1) смесь нагревалась до температуры 98±2°C и переходила из вязкого текучего в твердое порошкообразное состояние. Перемешивание продолжали 30-40 минут для более полного протекания процесса.

Для экспериментов брались разные соотношения извести и опоки. В таблице 4 приведены полученные результаты.

При сравнении литифицированных образцов были выбраны образцы с лучшими характеристиками и соотношением извести и опоки: 1:1, 1:0,9 и 1:0,8. С выбранными образцами были проведены дальнейшие исследования – поставлены десятикратные водные вытяжки, для этого взяли по 10г каждого образца и добавили по 100 мл дистиллированной воды. Емкость с водной вытяжкой закрыли пробкой и взбалтывали в течение 2 часов на лабораторном шейкере. Далее каждый образец был отфильтрован через воронку с фильтром белая лента. Фильтрат исследовали в аналитической лаборатории. Результаты представлены в таблице 5.

Определен класс опасности литифицированного образца расчетным методом, согласно методике [46], по вымываемости загрязняющих веществ в водную вытяжку по ГОСТ [47]. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 6.

Расчетная величина показателя степени опасности $K_i = 41,952$, согласно методике [46], позволяет отнести полученный отход к IV классу опасности.

Таблица 3 – Химический анализ отработанного сорбента

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерений	Значение
1	Al ₂ O ₃	мг/кг	51852,3
2	Si ₂ O ₃	мг/кг	722200,0
3	Fe ₂ O ₃	мг/кг	31362,2
4	CaO	мг/кг	30050,6
5	MnO	мг/кг	404,3
6	P ₂ O ₃	мг/кг	805,4
7	Медь (Cu ²⁺)	мг/кг	30,4
8	Никель (Ni ²⁺)	мг/кг	30,5
9	Цинк (Zn ²⁺)	мг/кг	99,1
10	Кобальт (Co ²⁺)	мг/кг	15,3
11	Свинец (Pb ⁴⁺)	мг/кг	28,5
12	Хром (Cr ³⁺)	мг/кг	92,2
13	Стронций (Sr ²⁺)	мг/кг	120,3
14	Нефтепродукты	мг/кг	52320,0

Таблица 4 – Результаты опыта по капсулированию отработанной опоки

(1 часть СаО:Х частей опоки) (1 часть = 25г)		Температура макс., °C	Результаты наблюдения	
Часть	Масса, г			
1	2	3	4	5
1	25,0	82		Литифицированный образец представляет собой рассыпчатую, порошкообразную, сухую смесь.
0,9	22,5	98		Литифицированный образец представляет собой рассыпчатую, порошкообразную, сухую смесь.
0,8	20,0	72		Литифицированный образец представляет собой рассыпчатую, порошкообразную смесь.
0,7	17,5	62		Литифицированный образец представляет собой рассыпчатую смесь с включениями среднего размера.
0,6	15,0	52		Литифицированный образец представляет собой влажную, но рассыпчатую смесь с включениями среднего размера.

Таблица 5 – Анализ водной вытяжки литифицированных образцов

№ п/п	Наименование показателей, единицы измерения	Водная вытяжка образца №1	Водная вытяжка образца №2	Водная вытяжка образца №3
1	2	3	4	5
1	pH, ед.	10,43±0,2	10,58±0,2	10,29±0,2
2	ХПК, мгО ₂ /дм ³	38,2±0,3	52,1±0,2	31,5±0,3
3	Солесодержание, мг/дм ³	3500±2	4200±8	3600±6
4	Нефтепродукты, мг/дм ³	1,79±0,3	1,80±0,3	1,76±0,2

Таблица 6 – Результаты расчета показателя степени опасности литифицированного образца

Наименование компонента	Концентрация i-го компонента, С _i , мг/кг	Коэффициент степени экологической опасности отхода, W _i , мг/кг	Показатель степени опасности отхода, K _i
1	2	3	4
Al ₂ O ₃	13725,61	630,957	21,754
SiO ₂	171212	1000000	0,171
Fe ₂ O ₃	11006,48	1501,311	7,331
CaO	641480,4	1000000	0,641
MnO	322	408,121	0,832
P ₂ O ₅	940,725	1676,833	0,561
Медь (Cu ²⁺)	49	2406,209	0,020
Никель (Ni ²⁺)	24	1929,005	0,012
Цинк (Zn ²⁺)	37	735,642	0,050
Кобальт (Co ²⁺)	54	1584,893	0,034
Свинец (Pb ⁴⁺)	14	630,957	0,022
Хром (Cr ³⁺)	284	2201,236	0,129
Стронций (Sr ²⁺)	2	4168,694	0,001
CaSiO ₃	247000	1000000	0,247
Нефтепродукты	12570	1232,847	10,196
Итого:			41,952

Обсуждение. Сорбенты на основе дисперсных кремнеземов достаточно часто применяются в процессах водоподготовки и водоочистки. Наиболее известные из них изготавливают под торговыми марками «Сорбент АС», «ОДМ-2Ф», «Сорбент СВ», «Диамикс». Первые три – из опок.

Как показали наши эксперименты, большинство задержанных экотоксикантов находятся в порах и на поверхности адсорбента, что обуславливает его III класс опасности. Традиционный способ размещения отработанного сорбента на специализированных полигонах не соответствует современным требованиям охраны окружающей среды.

Предложенный метод реагентного капсулирования отработанного адсорбента не требует сложного технического оборудования, в отличие от термоутилизации (пиролиза или сжигания), и позволяет на месте образования получить ВМР – технический грунт, пригодный для рекультивации шламонакопителей, отсыпки дорог и др. Образцы с лучшими результатами были направлены в аккредитованную лабораторию для установления класса опасности. Подтвержден IV класс (протокол испытаний №183-П/9 от 24.07.2023г., выполнены в лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по ЦФО», РОСС RU.0001.510627)

В настоящее время ведутся активные исследования по получению ВМР из продуктов утилизации НСО: в производстве бетона и бетонных плит, в качестве гидрофобизирующих добавок.

Выводы. Применение дисперсных кремнеземов – опок, в качестве адсорбентов в процессах очистки воды обусловлено их общедоступностью и свойствами, необходимыми для удаления коллоидных, молекулярных и ионно-растворенных веществ, а также возможностью достаточно простой утилизации отработанных материалов. Комплексный подход по обеспечению экологической безопасности предлагаемых технологий предусматривает решение вопроса переработки получающихся при доочистке производственных сточных вод нефтесодержащих твердых отходов – отработанного адсорбента. Предложен способ реагентного капсулирования, как наиболее распространенный и относительно простой, и недорогой в реализации; установлено соотношение оксида кальция и опоки (1:1, 1:0,9 и 1:0,8), которое является оптимальным для обезвреживания отработанного сорбента; расчетным методом получен IV класс опасности литифицированного образца.

В результате литификации отработанных адсорбентов из опоки получены продукты утилизации, пригодные в качестве ВМР в производстве строительных материалов и дорожном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- ГОСТ Р 55096-2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка отходов в целях получения вторичных материальных ресурсов. М.: Стандартинформ, 2013. – 70 с.
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и

требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утв. Гл. санитарным врачом РФ, постановление от 28.01.2021. – №2.

3. Приказ Минсельхоза РФ № 552 от 13.12.2016 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (с изм. на 22.08.2023 г.).

4. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. – 168 с.

5. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев, Наук.думка, 1981. – 208с.

6. Когановский, А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. – 256 с.

7. Int, Chem. (2019). Activated sludge combined with powdered activated carbon (PACT process) for the petroleum industry wastewater treatment: A review. 10.31221/osf.io/yr9mz.

8. Amari A, Noreen A, Osman H, Sammen SS, Al-Ansari N and Salman HM (2023). Investigation of the viable role of oil sludge-derived activated carbon for oily wastewater remediation. *Front. Environ. Sci.* 11:1138308. doi: 10.3389/fenvs.2023.1138308.

9. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Шайхиев И.Г., Воронина Ю.С., Иевлева Е.С. Использование отхода переработки макулатуры в качестве сорбционного материала для удаления красителя метиленовый голубой из модельных растворов / Российский химический журнал. – Т. 67. – 2. – 2023. – С. 67-73. DOI: 10.6060/rcj.20236728.

10. Shaikhiev, I.G., Sverguzova, S.V., Shaikhieva, K.I. et al. Using Rye (*Secale Cereale*) Processing Wastes as Sorption Materials for Removing Pollutants from Aquatic Environments. *Polym. Sci. Ser. D*. 16. – С. 651-656. (2023). <https://doi.org/10.1134/S1995421223030346>.

11. Олышанская Л.Н., Татаринцева Е.А., Бухарова Е.А., Технологические аспекты получения сорбционных материалов на основе терморасширенного графита и отходов полиэтилентерефталата // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. – 22. – № 2. – С. 4-7.

12. Mariana, M., Heps, A.K., Mistar, E.M., Yahya, E.B., Alfatah, T., Danish, M., et al. (2021). Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *J. Water Process Eng.* 43, 102221. doi:10.1016/j.jwpe.2021.102221

13. Misran E., Bani O., Situmeang E.M., and Purba A.S. (2022). Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: Isotherm, kinetics, and reusability. *Alexandria Eng. J.* 61, 1946-1955. doi:10.1016/j.aej.2021.07.022

14. Hu, R., Liu, Y., Zhu, G., Chen, C., Hantoko, D., and Yan, M. (2022). COD removal of wastewater from hydrothermal carbonization of food waste: Using coagulation combined activated carbon adsorption. *J. Water Process Eng.* 45, 102462. doi:10.1016/j.jwpe.2021.102462/

15. Н.Н. Алыков, Т.В. Алыкова, Н.М. Алыков и др. Опоки астраханской области. Астрахань: Астраханский университет, 2005. – 140 с.

16. A.K. Strelkov, P.G. Bykova, M.A. Gridneva. Filtration materials of natural origin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. – 2020. – V. 962. – № 2. – P. 022-038.

17. Климов Е.С., Бузаева М.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 201 с.

18. Убаськина Ю.А., Коростелева Ю.А. Исследование возможности практического применения диатомита для очистки сточных вод // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. – 2017. – №7. – С.92-96. DOI: 10.12737/article_5940f0199950b7.10091901.

19. Pytka-Woszczyło A, Różańska-Boczula M, Gizińska-Górna M, Marzec M, Listosz A, Józwiakowski K. Efficiency of Filters Filled with Rockfos for Phosphorus Removal from Domestic Sewage. *Advances in Science and Technology Research Journal.* 2022;16(4):176-188. doi:10.12913/22998624/152527.

20. Marina Valentukeviciene, Ramune Zurauskiene and Youssef Amine Boussouga. Fluoride removal from groundwater by technological process optimization // *ECOL. CHEM. ENG. S.* 2019;26(1):133-147. DOI: 10.1515/eces-2019-0010/

21. Shrestha, R.; Ban, S.; Devkota, S.; Sharma, S.; Joshi, R.; Tiwari, A.P.; Hak, Y.K.; Joshi, M.K. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021, 9, 105688.

22. Mullick A, Neogi S. Ultrasound assisted synthesis of Mg-Mn-Zr impregnated activated carbon for effective fluoride adsorption from water. *Ultrasonics - Sonochemistry.* 2019. – 50:126-137. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.010.

23. Ю.А. Коростелёва, Е.Г. Фетюхина, Л.М. Игнарина. Сорбент на основе диатомита Диамикс Аква-эффективная и выгодная альтернатива угольным фильтрам в очистке вод электростанций // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2020. – № 6. – С. 44-51.

24. Bus A., Karczmarczyk A. Properties of lime-siliceous rock opoka as reactive material to remove phosphorus from water and wastewater// *Infrastrukt. Ekol. Teren. Wj.* 2014, 1. – С. 227-238.

25. Каменник Л.Л. Эколого-экономическая сбалансированность - стратегия управления инновационным развитием общества XXI века // Вопросы инновационной экономики. – Т.8. – №1. – 2018. – С. 25-38.

26. Vurdova, N.G. (2024). Environmental and Economic Balance in the Refurbishment of the Sewage Treatment Plant. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 400. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47810-9_43.

27. ИТС 17-2016 «Размещение отходов производства и потребления».

28. ИТС 15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))».

29. Рудник М.И., Гаврилов Ю.Л., Резанова Е.Е. Технологии и оборудование ТЭК: Технологически-аппаратурные условия создания и применения комплексной переработки опасных отходов с использованием технологии «DCR процесс» // Экологический вестник России. – 2012. – №2. – С. 36-43.

30. Шпинькова М.С., Мещеряков С.В. Реагентное капсулирование нефтяных отходов с применением конических продуктов технологии в качестве товарной продукции // Экология и промышленность России. – 2013. – № 12. – С. 20-23.

31. Boelsing, F. Remediation of toxic waste sites – DCR technology in the field of immobilization and fixation of hazardous compounds. Hannover, Germany: Ministry of Economics, Technology and Traffic, Federal Republic of Germany. – 1988.

32. Приказ №242 Федеральной службы по надзору в сфере природопользования. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов (с изм. от 18.01.2024г.).

33. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды, утв. приказом МПР России от 15 июня 2001 г. №511. М.: МПР, 2001.

34. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Дьяков М.С. Исследования физико-химических свойств и термической деструкции отходов нефтеперерабатывающих предприятий // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т. 4. – № 3. – С. 21-27.

35. Падалкин Н.В., Евшин П.Н. Модифицированные сорбенты на основе опоки для очистки вод. // Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. – №1 (3). – С. 262-269.

36. Цокур О.С. Повышение ресурсосбережения утилизацией нефтесодержащих отходов реагентным способом с получением экологически безопасных продуктов: спец. 03.02.08; автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2015. – 26 с.

37. Ланина Т.Д. Комплексная утилизация нефтегазопромышленных отходов для обеспечения экологической безопасности и дополнительного извлечения минерального сырья: спец. 25.00.16; автореферат диссертации доктора технических наук. Ухта, 2009.

38. Герцберг Ю.М., Логунова Ю.В., Токарев В.В., Шалай В.В., Штриплинг Л.О. Разработка установки для обезвреживания углеводородсодержащих производственных отходов методом реагентного капсулирования // Машиностроение и машиноведение. Омский научный вестник. – №2 (68). – 2008. – С.76-81.

39. Ишков А.Г., Аكوпова Г.С., Козлов С.И., Стрекалова Л.В. Использование нефтесодержащих шламов при производстве активированных минеральных порошков для

асфальтобетонных смесей. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – 80 с.

40. Косулина Т.П., Кононенко Е.А., Цокур О.С. Утилизация нефтяных шламов реагентным методом и использование продуктов утилизации в качестве вторичных материальных ресурсов // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 2. – С. 187-192.

41. Сорбент для обезвреживания и утилизации токсичных нефте-маслозагрязнений: пат. 2281157 Рос. Федерация. №2004136530/15; заявлено 14.12.04; опубликовано 27.05.06. – 8 с.

42. Установка для очистки производственно-дождевых сточных вод / Москвичева Е.В., Юрьев Ю.Ю., Вурдова Н.Г., Брошко О.С., Бирман Ю.А. Пат. № 2812328 Российская Федерация, МПК C02F 1/465 (2006.01), C02F 1/52 (2006.01), C02F 9/00 (2006.01). № 2023113857; Заявлено 26.05.2023; Опубликовано 29.01.2024. – русский.

43. Основные свойства строительных материалов [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторным работам для студентов всех направлений подготовки, реализуемых НИУ МГСУ / сост. М.Б. Каддо, О.Б. Ляпидевская, С.М. Пуляев [и др.]. Москва: НИУ МГСУ, 2015. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>.

44. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2014. – 110 с.

45. Васильев В.П. Аналитическая химия. Кн. 2. Физико-химические методы анализа. М.: Дрофа. – 2002. – 384 с.

46. Методическое пособие по применению «Критериев отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды» // З.А. Васильченко, В.И. Ковалева, А.В. Ляшенко. М., 2003. – 48 с.

47. ГОСТ 26423-85. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.

Статья поступила в редакцию 11.06.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 331.451, 331.453

EDN: JOGGIW

**ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ
НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ШУНТИРУЮЩЕМ ЭКРАНИРУЮЩЕМ КОМПЛЕКТЕ ЭП-4(0)»**

©Автор(ы) 2024

SPIN: 2297-5903

AuthotID: 406676

ORCID: 0000-0002-6903-4327

ПЕРОВ Сергей Юрьевич, доктор биологических наук,
доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта (МИИТ)
(127994, Россия, г. Москва, улица Образцова, 9, стр. 9, info@rut-miit.ru)

SPIN: 7678-6947

AuthotID: 692507

ORCID: 0009-0002-6766-7873

МАКАРОВА-ЗЕМЛЯНСКАЯ Елена Николаевна, кандидат медицинских наук,
доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта (МИИТ)
(127994, Россия, г. Москва, улица Образцова, 9, стр. 9, info@rut-miit.ru)

SPIN: 1727-4659

AuthotID: 1179469

ORCID: 0000-0003-4138-1308

ДРЕМИН Алексей Игоревич, младший научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей

Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф.Измерова
(105275, Россия, г. Москва, проспект Буденного, 31 info@iriioh.ru)

ORCID: 0009-0004-9573-7343

КРАМАРЕНКО Павел Николаевич, магистрант кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта (МИИТ)
(127994, Россия, г. Москва, улица Образцова, 9, стр. 9, info@rut-miit.ru)

Аннотация. В статье рассмотрена принципиальная электрическая схема шунтирующего экранирующего комплекта Эп-4(0), применяемого как средство индивидуальной защиты электротехническим персоналом при проведении работ в условиях возникновения наведенного напряжения. Использование подобных средств индивидуальной защиты, являющихся дополнительными и обязательными, обеспечивает проведение работ в условиях опасного производственного фактора – поражение электрическим током наведенного напряжения. Для их усовершенствования в части контроля правильной эксплуатации, а также индикации наличия опасного производственного фактора предложено использование индикатора наведенного напряжения в составе средства индивидуальной защиты. Проведены лабораторные испытания типового средства индивидуальной защиты Эп-4(0) с использованием сигнализатора тока наведенного напряжения при имитации возникновения опасного фактора производственной среды при выполнении работы электротехническим персоналом на отключенных воздушных линиях электропередачи и контактной сети железной дороги переменного тока. Показана эффективность шунтирования тока до 30 А, обеспечивающая протекание безопасных уровней тока на испытательном манекене до 6 мА и сигнализация возникновения опасного производственного фактора.

Ключевые слова: наведенное напряжение, электротехнический персонал, охрана труда, средство индивидуальной защиты, сигнализатор наведенного напряжения.

**INDUCE VOLTAGE MONITORING DETECTOR OF SHIELDING SHUNTING
PROTECTIVE SUIT Ep-4(0)**

© The Author(s) 2024

PEROV Sergey Yurevich, doctor of Biological Sciences,
associate professor of Department of Safety Management in the Technosphere
Russian university of transport (MIIT)

(127994, Russia, Moscow, Ulitsa Obratsova, 9, e-mail: info@rut-miit.ru)

MAKAROVA-ZEMLYANSKAYA Elena Nikolaevna, candidate of Medical Sciences,
associate professor of Department of Safety Management in the Technosphere

Russian university of transport (MIIT)
(127994, Russia, Moscow, Ulitsa Obratsova, 9, e-mail: info@rut-miit.ru)

DREMIN Aleksey Igorevich, junior researcher of Electromagnetic field laboratory
Izmerov Research Institute of Occupational Health

(105275, Russia, Moscow, Prospect Budennogo, 31, e-mail: info@iriioh.ru)

KRAMARENKO Pavel Nikolaevich, master student of Department of Safety Management in the Technosphere
Russian university of transport (MIIT)

(127994, Russia, Moscow, Ulitsa Obratsova, 9, e-mail: info@rut-miit.ru)

Abstract. The paper discusses the electrical principal scheme of the EP-4(0) protective suit shielding shunting properties used by electrical personnel with carrying out work in conditions where induced voltage occurs. The use of such personal protective equipment is mandatory additional equipment and ensures the safety execution of work in dangerous occupational factor - electric shock from induced voltage. In order to improve them as monitoring correct operation, as well as indicating the presence of a dangerous occupational factor, it is proposed to use an induced voltage indicator as part of the personal protective equipment. Personal protective equipment Ep-4(0) laboratory tests using induced voltage current indicator were carried out simulate the occurrence of a dangerous occupational factor during the work of electrical personnel on disconnected overhead power lines and AC railway contact network. The effectiveness of shunting current up to 30 A, ensuring the flow of safe current levels on the test mannequin up to 6 mA, and signaling the occurrence of a dangerous occupational factor, was shown.

Keywords: induces voltage, electric personal, occupational safety, personal protective equipment, induced voltage signaling device.

Для цитирования: Перов С.Ю. Повышение электробезопасности применением устройства контроля наведенного напряжения в шунтирующем экранирующем комплекте ЭП-4(0)» / С.Ю. Перов, Е.Н. Макарова-Землянская, А.И. Дремин, П.Н. Крамаренко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 188-193. – EDN: JOGGIW.

Введение. При работах электротехнического персонала на отключенных воздушных линиях (ВЛ) электропередачи и контактной сети (КС) железной дороги переменного тока присутствует опасный производственный фактор – электрический ток наведенного напряжения [1-3]. Природа возникновения наведенного напряжения обусловлена нахождением незаземленного проводника в зоне влияния электрических и магнитных полей. Типовым примером может служить двухцепная ВЛ, где одна линия отключена, а вторая находится под рабочим напряжением; или двух и более путная электрифицированная железная дорога переменного тока, где на одном пути КС отключена, а остальные пути продолжают использоваться [4]. Кроме того, на железной дороге различают электростатическое (емкостное) и электромагнитное (индукционное) наведенное напряжение, различия возникновения которых определяются различными факторами, например, нагрузка в сети, рельеф местности, виды тягового электроснабжения и прочее [3, 5]. Регламентация работ на подобных объектах при вероятности возникновения наведенного напряжения устанавливается Правилам управления электроустановок и Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок, где основной защитой выступает защитное заземление рабочего места с обеспечением безопасного напряжения до 25 В [6, 7]. Оценка уровней наведенного напряжения указывает на значительные величины тока на рабочем месте линейных служб, что определяет использование защитного заземления на участке работы [3,9]. Однако, отмечается, что использование защитного заземления не обеспечивает необходимых безопасных условий труда на рабочем месте электротехнического персонала [8], что требует обязательного применения средств индивидуальной защиты (СИЗ) [9]. В качестве подобных средств

защиты выступают шунтирующие экранирующие комплекты типа Эп-4(0) [10, 11]. Применение СИЗ является дополнительным к использованию защитного заземления. Они подлежат обязательной сертификации [12, 13], однако некоторые авторы отмечают их низкую эффективность [14], несмотря на наличие требований к величине сопротивления [13, 15]. Поэтому эксплуатация защитных комплектов Эп-4(0) с наличием контроля сопротивления и индикацией наведенного напряжения является актуальной задачей при обеспечении безопасных условий труда электротехнического персонала при производстве работы на отключенных ВЛ и КС [16].

Целью работы являлось проведение испытаний типового защитного комплекта Эп-4(0) с сигнализатором напряжения в условиях моделирования возникновения наведенного напряжения и прохождения тока по пути «рука-рука» и «рука-нога» с оценкой уровней тока через манекен, имитирующий тело человека, для обеспечения безопасных условий труда электротехнического персонала.

Методология. Оценка основных защитных свойств экранирующих шунтирующих комплектов проводилась на типовом комплекте Эп-4(0) с сигнализатором наведенного напряжения в комплектации «куртка-брюки». Для подключения и дальнейшей работы сигнализатора наведенного напряжения у данного комплекта, помимо основных линий повышенной проводимости, имеется дополнительный электрический контур, все концы которого сводятся к левому рукаву в виде соединительных кнопок, куда в последствии и подключается сигнализатор наведенного напряжения. Без сигнализатора дополнительный контур представляет собой пять электропроводящих лент, проходящих через комплект к удаленным от него частям (накасник, два рукава и две штанины). Все пять лент имеют окончание, где в разрыв их с

шестым контактом подключен блок контроля/сигнализатора наведенного напряжения, отвечающий за соединение дополнительного контура с основным. При подключении сигнализатор замыкает собой электрическую цепь тем самым обеспечивая контроль подключения всех элементов комплекта.

В процессе проведения исследования оценивались величины электрического сопротивления сначала основных линий повышенной проводимости экранирующей шунтирующей одежды в сборе, а затем величины электрического сопротивления дополнительного защитного электрического контура. Для измерения величины электрического сопротивления использовался микроомметр ЦС-4105 (ПАО Уманский завод «Мегомметр», Украина). Измерение величины электрического сопротивления проводилось согласно методике по ГОСТ 12.4.172-2019 [18]. Для оценки сопротивления основной линии повышенной проводимости микроомметр подключался последовательно между электропроводящим контактным выходом (ЭПКВ) на касиника и остальными ЭПКВ одежды в сборе (ЭПКВ левого – правого рукава, левой – правой штанины, нагрудных контактов выравнивания/уравнивания потенциалов). Для измерения электрического сопротивления дополнительного электрического контура экранирующей шунтирующей одежды микроомметр подключался между кнопкой, расположенной на рукаве куртки и удаленной частью одежды, соответствующей данной кнопке.

Помимо измерения электрического сопротивления при проведении исследований проводилось измерение электрического тока на испытательном манекене для определения эффективности шунтирующих свойств комплекта с дополнительным электрическим контуром, а также определения минимального порога срабатывания сигнализатора при попадании работника под действие наведенного напряжения.

Исследования проводились с использованием стенда, описанного в ГОСТ 12.4.283-2019 [13], а также электропроводящего испытательного манекена с антропометрическими характеристиками взрослого человека с резистором номиналом 1 кОм, моделирующим сопротивление тела человека. Для контроля силы тока, который подавался на защитный комплект, использовались токовые клещи CEM DT-3341 (SHENZHEN EVERBEST MACHINERY INDUSTRY, Китай). Для контроля силы тока, протекающего через электропроводящий манекен, использовался мультиметр APPA-97 (Тайвань, Китай).

В процессе проведения исследований на манекене, одетом в защитный комплект, в соответствии с ГОСТ 12.4.283-2019 [13], обеспечивалось измерение силы электрического тока, протекающего сначала по пути «рука-рука», а затем по пути «рука-нога».

На защитный комплект от вторичной обмотки нагрузочного трансформатора «НТ-2500» (ООО «Техэнерго», Россия) при помощи автотрансфор-

матора «Латр-15» (Suntek, Россия) подавалось начальное напряжение. Поднимая напряжение, по показаниям амперметра устанавливалась сила тока, протекающая через комплект от 1 до 30 А с шагом 5А с регистрацией силы тока, протекающего через электропроводящий манекен, и температуры основных и дополнительных линий защитного контура при помощи пирометра CEM DT-8863 (SHENZHEN EVERBEST MACHINERY INDUSTRY, Китай).

Результаты. Используемый в исследовании комплект, помимо основных линий повышенной проводимости, также имел дополнительный электрический контур, который обеспечивал контроль подключения всех элементов одежды и обуви посредством оценки сопротивления по ГОСТ 12.4.172-2019 [17]. Полная электрическая схема комплекта представлена на рисунке 1, где оценка сопротивления осуществлялась относительно точки 3 для всех элементов комплекта в сборе. Исходя из требований, предъявляемых к таким СИЗ, сопротивление не должно превышать 10 Ом [12, 13, 17]. Учитывая, что сигнализатор напряжения не является средством измерения, в рамках работы были проведены измерения как основных линий повышенной проводимости комплекта, так и оценены проводимость дополнительных линий, участвующих в оценке комплектности и эффективности шунтирующих свойств СИЗ. На рисунке 1 электрическое сопротивление (R) представлено для основных линий повышенной проводимости, а также наличие сопротивления вспомогательных линий ($R/$) между элементами комплекта и точкой контроля 3, в которой подключается блок контроля наведенного напряжения. Результаты измерений сопротивления всех элементов по двум линиям представлены в таблице 1. Вспомогательные линии отсутствуют в контактных выводах уравнивания/выравнивая потенциала, т.к. они не имеют прямых защитных свойств, а используются при производстве работ под напряжением для выравнивания потенциала между линией под напряжением и комплектом СИЗ типа Эп-4(0).

Результаты измерений электрического сопротивления комплекта показывают соответствие исследуемого комплекта требованиям ГОСТ 12.4.283-2019, ГОСТ 12.4.172-2019 и требованиям ТР ТС 019/2011 в части электрического сопротивления [12, 13, 17]. Наличие различий в проводимости более чем в 2 раза основных линий комплекта по сравнению со вспомогательными обеспечивает эффективное протекание шунтирующих токов по основному контуру защиты. Использование сигнализатора напряжения с функцией контроля сопротивления позволяет обеспечить правильное подключение всех элементов комплекта, причем контроль подключения обеспечивается оценкой каждого элемента одежды. Это позволяет обеспечить контроль сопротивления всех элементов на требуемом нормативном значении 10 Ом, предъявляемым к СИЗ [13, 14, 18].

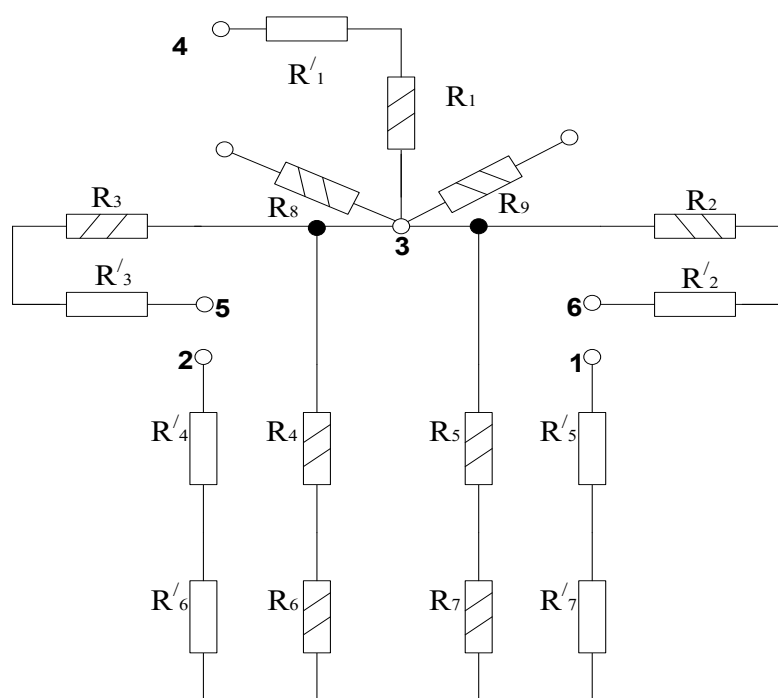


Рисунок 1 – Электрическая схема линий повышенной проводимости комплекта Эн-4(0)

Таблица 1 – Электрическое сопротивление элементов линий повышенной проводимости комплекта Эн-4(0)

Наименование элемента СИЗ	обозначение	Сопротивление основных линий повышенной проводимости, мОм	Сопротивление вспомогательных линий повышенной проводимости, мОм
Накашик	R_1	92,31	156,80
Левый рукав куртки	R_2	53,42	105,50
Правый рукав куртки	R_3	113,00	262,00
Низ куртки правый	R_4	115,20	248,60
Низ куртки левый	R_5	95,19	224,00
Правая брючина	R_6	131,80	306,10
Левая брючина	R_7	133,00	307,00
Правый контактный вывод	R_8	83,02	-
Левый контактный вывод	R_9	67,57	-

Шунтирование токов наведенного напряжения обеспечивается благодаря более низкому сопротивлению комплекта по сравнению с телом человека (более чем 105), а не наличию изоляционного слоя одежды и обуви, как указывалось ранее другими авторами [15]. Наличие хлопчатобумажного слоя, значение сопротивления которого не нормируются, обусловлено гигиеническими требованиями (токсикологическими и аллергологическими), предъявляемыми к специальной одежде в целом, а также невозможности их контроля в процессе эксплуатации. Даже в процессе работы персонала, устройство контроля наведенного напряжения позволяет обеспечивать эффективность применения СИЗ, а также сигнализировать о возникновении наведенного напряжения в случае неэффективности основной защиты.

Поэтому в ходе исследований были смоделированы условия прохождения токов наведенного напряжения от 1 до 30А через комплект, одетый на испытательный манекен. Оценивались токи, возникающие на модели тела человека, при прохождении контролируемых токов через защитный

комплект по пути «рука-рука» и «рука-нога». Такие схемы прохождения тока являются типовыми и используются при проверке шунтирующих свойств комплектов типа Эп. Время воздействия каждого уровня тока ограничивалось одной минутой, после чего снималось напряжение для каждого шага тока и существовала 5-ти минутная пауза для подачи следующего уровня тока на комплект [14]. Результаты испытаний комплекта представлены в таблице 2.

Полученные результаты прохождения тока по пути «рука-рука» показали эффективность защитных шунтирующих свойств комплекта вплоть до 30А при протекании тока на испытательном манекене 5,89мА. При возникновении тока наведенного напряжения 1 А, сигнализатор наведенного напряжения обеспечивал световую и звуковую сигнализацию возникновения опасного фактора, а также присутствовала вибрация сигнализатора, что является важной опцией при выполнении работ в условиях повышенного шума. При прохождении тока 25-30А в местах контакта токоведущих частей с защитными электропроводящими перчатками отмечалось повы-

шение температуры на 25°C по сравнению с исходной температурой, однако задымлений, повреждений и деформаций не наблюдалось. Кроме того, после проведения испытаний, электропроводящие перчатки также обеспечивали стабильную электрическую проводимость, не превышающую нормативных требований 30 Ом.

Прохождение тока наведенного напряжения по пути «рука-нога» до 30А также не превысили нормативных значений 6мА на манекене. Стоит отметить, что при шунтировании тока в 30А значения протекающего тока были ниже 3,5мА на

испытательном манекене. Это обусловлено более высоким сопротивлением по пути «рука-нога», а также отсутствием одной из контактных пластин стенда на одной из электропроводящей перчатке. Сигнализатор наведенного напряжения включился на звуковую и световую индикацию при токе через комплект при уровне 150мА. Из результатов испытаний следует, что более опасная схема прохождения тока наведенного напряжения при использовании СИЗ типа Эп-4(0) был путь «рука-рука», где воздействующий ток в 30А приближает ток через манекен к предельным значениям.

Таблица 2 – Значения воздействующих и протекающих токов в условиях имитации наведенного напряжения

Определяемые показатели	Величина тока, проходящего через комплект, А	Величина тока, проходящего через манекен, мА
Величины токов, протекающие через манекен, имитирующий тело человека, по направлению «токоведущая часть – правая рука с перчаткой - тело – левая рука с перчаткой – заземленная часть»	1	0,21
	5	1,14
	10	2,39
	15	3,56
	20	4,73
	25	5,19
	30	5,89
Величины токов, протекающие через манекен, имитирующий тело человека, по направлению «токоведущая часть – правый рукав - тело – левая нога – заземленная часть»	1	0,10
	5	0,56
	10	1,16
	15	1,68
	20	2,28
	25	2,86
	30	3,49

Обсуждение. Учитывая, что модель человека, используемая в экспериментах, имеет сопротивление 1 кОм, а тело человека выше 500 кОм, то у рассматриваемого комплекта существует еще коэффициент запаса, а использование сигнализатора наведенного напряжения обеспечивает не только правильность эксплуатации СИЗ, но и информирует персонал о возникновении опасного производственного фактора, что в целом повысит безопасность труда при проведении работ на отключенных линиях электропередачи контактной сети железной дороги.

Выводы. Опасный производственный фактор обуславливает усиленное внимание со стороны служб охраны труда к рабочим местам электротехнического персонала при производстве работ на отключенных воздушных линиях электропередачи и контактной сети железной дороги переменного тока. Использование средств индивидуальной защиты от поражения электрического тока наведенного напряжения является дополнительным средством обеспечения безопасных условий труда, т.к. в случае аварийных ситуаций, а также нарушений техники безопасности, экранирующий шунтирующий комп-

лект типа Эп-4(0) становится последним рубежом защиты человека от опасного производственного фактора, который невозможно идентифицировать без взаимодействия с ним. Как показали проведенные испытания, использование указателя наведенного напряжения повышает эффективность защиты экранирующего шунтирующего комплекта, что позволяет судить о совершенствовании мероприятий по обеспечению безопасных условий труда в целях сохранения здоровья персонала во вредных и опасных условиях труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляков Ю.С. Снова о наведенном напряжении // Энергетик. – 2010. – № 4. – С. 29-30.
2. Висящев А.Н., Клепиков С.А., Щербаков А.В., Каратаев Б.Н. О безопасности производства работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением // Энергетик. – 2010. – № 2. – С. 18-22.
3. Черепанов А.В., Пятова К.С. Анализ влияния наведенного напряжения на линии продольного электроснабжения с разработкой мероприятий по его снижению // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 2 (12). – С. 141-151.
4. Карпов И.П. Расчеты электрического и магнитного влияния тяговой сети системы 25 кВ в послеаварийный период // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – № 2. – С. 6-11.

5. Джунуев Т.А., Эралиева Г.Ш. О наведенных напряжениях на отключенных линиях электропередачи, проходящих параллельно либо вблизи действующих высоковольтных линий // Внедрение результатов инновационных разработок: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Казань, 10 января 2019 г.). Уфа: Азтерна, 2019. – С. 50-55.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание шестое, утв. Прик. Минэнерго России от 08.07.2002 №204. М.: Сфера, 2002.
7. ПОТ РМ-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. М.: НЦ ЭНАС, 2003
8. Оршков А.В., Королев И.В., Щербачева О.С. Применение защитного заземления для обеспечения электробезопасности проведения работ под наведенным напряжением // Вестник московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2021. – № 4. – С. 59-66.
9. Горшков А.В. Эмпирический метод определения максимального значения наведенного напряжения в рассматриваемой точке отключенной воздушной линии электропередачи // Электричество. – 2019. – № 11. С. 23-32.
10. Фараджев, В. Защита от переменных электромагнитных полей // Энергоназор. – 2015. – № 11(75). – С. 20-21.
11. Воробьев А.Ю., Отморский С.Г., Смекалов В.В., Горожакина Е.Н., Сосунов Н.Н., Большунов А.М. Экранирующие комплекты ЭП-4(0): новый подход к защите от наведенного напряжения // Электрические станции. – 2011. – № 3. – С. 42-46.
12. Воробьев А.Ю., Отморский С.Г., Смекалов В.В. К вопросу защиты от наведенного напряжения // Энергетик. – 2012. – № 3. – С. 5-10
13. Технический регламент Таможенного союза 019/2011 О безопасности средств индивидуальной защиты. Утв. Решением Комиссии Таможенного союза № 878 от 09.12.2011.
14. ГОСТ 12.4.283-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты и поражения электрическим током. Комплекты индивидуальные шунтирующие экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний - М.: Стандартинформ, 2019, 25 с
15. Монахов А.Ф., Дегтяренко Е.А. О возможности применения индивидуального (шунтирующего) комплекта при работе под наведенным напряжением // Новое в российской электроэнергетике. – 2015. – № 8. – С. 26-34.
16. Монахов А.Ф., Дегтяренко Е.А., Данилов Д.Б. Оценка эффективности защитного комплекта при работе под наведенным напряжением // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 2. – С. 5-9
17. Челахов А.А. Смарт-технологии в охране труда: спецодежда становится умнее // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 2(65). – С. 148-151.
18. ГОСТ 12.4.172-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты. Комплекты индивидуальные экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний - М.: Стандартинформ, 2019, 45 с.

Статья поступила в редакцию 26.06.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024

УДК 614.844.5

EDN: DDDGIC

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА CO₂-ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ КОМПРЕССИОННЫХ ПЕН

© Авторы 2024

SPIN: 9558-0619

AuthorID: 1212747

ORCID: 0009-0000-2414-3418

БУЛАТОВ Наиль Назимович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

(196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д. 149, e-mail: Nail-442@mail.ru)

Аннотация. В статье изучены коллоидно-химические и пожарно-технические свойства CO₂ газонаполненных компрессионных пен. Приведены результаты исследования коллоидно-химических и пожарно-технических свойств компрессионной пены, наполненной диоксидом углерода. Анализируются методы создания CO₂-газонаполненных компрессионных пен, их особенности и параметры. Описаны вероятные механизмы формирования пены, особенности ее структуры и физико-химических свойств. Кроме того, в статье рассмотрены способы модификации и улучшения свойств пены за счет комбинирования CO₂ и электрофизической (ЭФ) обработки водной среды. Оценено влияние газонаполнения на такие пожарно-технические свойства пены, как например: кратность, время тушения. Предложено инженерное оформление установки для ее получения, а также по модернизации пожарного автомобиля АГТ и создания опытной конструкции переносного ранцевого огнетушителя. Высказано предположение что CO₂-газонаполненные компрессионные пены стабилизируются за счет улучшения вязкости под действием электрофизической обработки водной среды. Вязкость таких пен была увеличена по сравнению с пенами полученными с использованием традиционной водной среды. Полученные результаты могут быть полезны для разработки новых пенных огнетушащих веществ (ОТВ) на основе воды.

Ключевые слова: коллоидно-химические свойства компрессионной пены, воздушно-механические пены, электрофизическая обработка воды, пожар, генератор переменного частотно-модулированного потенциала, газонаполненная компрессионная пена, кратность, пожаротушение, поверхностное натяжение.

COLLOIDAL-CHEMICAL AND FIRE-TECHNICAL PROPERTIES OF CO₂-GAS-FILLED COMPRESSION FOAMS

©The Author(s) 2024

BULATOV Nail Nazimovich, postgraduate student of the faculty of training of highly qualified personnel

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

(196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149, e-mail: Nail-442@mail.ru)

Abstract. The article studies the colloidal chemical and fire-technical properties of CO₂ gas-filled compression foams. The results of a study of colloidal chemical and fire-technical properties of compression foam filled with carbon dioxide are presented. The methods of creating CO₂-filled compression foams, their features and parameters are analyzed. The probable mechanisms of foam formation, the features of its structure and physico-chemical properties are described. In addition, the article discusses ways to modify and improve the properties of foam by combining CO₂ and electrophysical (EF) treatment of an aqueous medium. The influence of gas filling on such fire-technical properties of foam, such as: multiplicity, extinguishing time, is estimated. The engineering design of the installation for its production is proposed, as well as for the modernization of the AGT fire truck and the creation of an experimental design of a portable satchel fire extinguisher. It is suggested that CO₂-gas-filled compression foams are stabilized by improving viscosity under the action of electrophysical treatment of an aqueous medium. The viscosity of such foams has been increased compared to foams obtained using a traditional aqueous medium. The results obtained can be useful for the development of new foam extinguishing agents (OTV) based on water.

Keywords: colloidal and chemical properties of compression foam, air-mechanical foams, electrophysical water treatment, fire, variable frequency modulated potential generator, gas-filled compression foam, multiplicity, fire fighting, surface tension.

Для цитирования: Булатов Н.Н. Коллоидно-химические и пожарно-технические свойства CO₂-газонаполненных компрессионных пен / Н.Н. Булатов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 3(67). – С. 194-198. – EDN: DDDGIC.

Введение. Воздушно-механические пены (ВМП) являются одним из наиболее эффективных средств тушения пожаров, которые не только способствуют охлаждению зоны горения, но и изолируют ее от окислителя (кислорода, воздуха). Процесс получения

компрессионной газонаполненной пены состоит из двух стадий:

- 1) Стадия подготовки дисперсной среды, где происходит смешение воды с пенообразователем;
- 2) Стадия создания пены в пеногенераторе, где

вода вспенивается в диспергируемой фазе (CO_2).

Таким образом, можно заключить, что компрессионная газонаполненная пена является результатом сложного коллоидно-химического процесса.

Можно предложить, в качестве рабочей гипотезы альтернативную замену воздуха, содержащий окислитель – кислород на химически инертный диоксид углерода [1]. Другим вариантом управления пожарно-техническими характеристиками синтезируемых пен может быть снижение поверхностного натяжения дисперсионной среды (воды), открывающей возможности увеличения живучести и снижение величины критической концентрации мицеллообразования (ПАВ) [2], путем электрофизической обработки воды или раствора пенообразователя [3].

Опираясь на практический опыт и теоретические исследования, можно выделить ряд преимуществ применения компрессионных газонаполненных пен перед используемой ныне ВМП [4]:

1) малый вес рукава, что позволяет упростить действия ствольщика;

2) небольшую отдачу и лёгкость в удержании пожарного ствола при подаче огнетушащего вещества;

3) низкое парообразование, что улучшает видимость при тушении, а также повышает точность подачи пены, что ведет к снижению риска получения ожогов среди пожарных;

4) небольшая теплопроводность пены, которая позволяет работать при низких температурах.

5) сравнительно низкий расход воды при использовании пенных смесей.

Таким образом, исследование способов применения новых высокоэффективных ОТВ является целью данного исследования [5].

Методология. Проведение исследований физико-химических и коллоидно-химических свойств, CO_2 наполненной компрессионной пены, а также их сопоставление с аналогичными по показателям воздушно-механических пен (ВМП), были осуществлены при помощи известных методик [6] на экспериментальной установке схема которой представлена на рисунке 1.

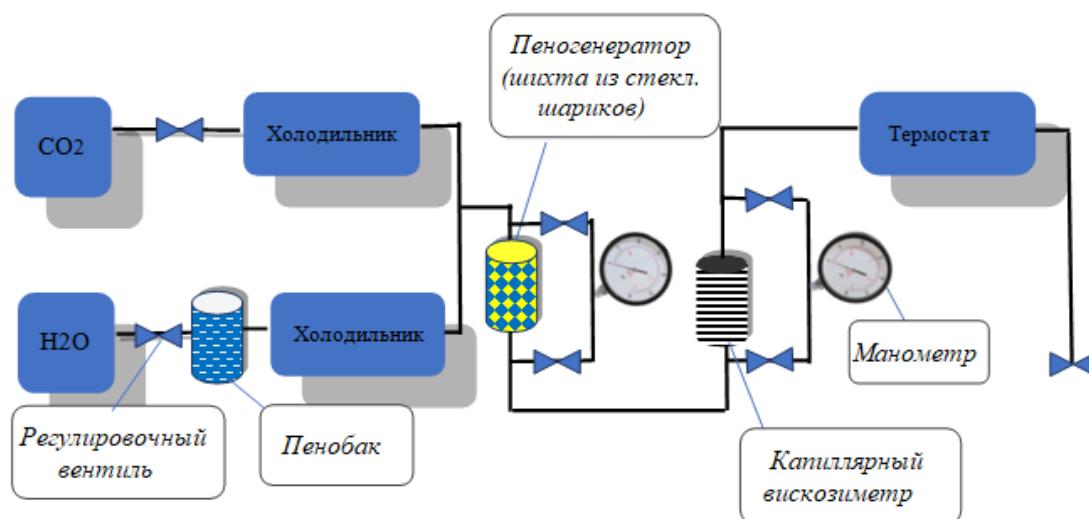


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Как и штатная среднекратная ВМП CO_2 -наполненная, компрессионная пена генерируется на основе водного раствора пенообразователя (ПО-6) имеющий объём 4-6% соответственно. В качестве пеногенератора использована емкость, наполненная шхта из стеклянных микросфер порозностью $0,45 \text{ см}^3/\text{см}^3$ слоя. Давление диоксида углерода, для генерирования пены составляло 3 атмосферы, что соответствовало давлению на выходе из редуктора, установленного на снаряженных CO_2 наполненных баллонах пожарного автомобиля АГТ-1. Вязкость пены измерялось капиллярным вискозиметром, а размер газовых внутрипенных пузырьков микроскопически [7].

Дальность подачи опытных (экспериментальных) механических пен определялось измерением рулеткой в условиях учебного полигона, а

огнетушащая способность по методике, для модельных очагов класса Б [8].

Результаты. Одной из задач была оценка воздействия электрофизической обработки на техническую воду, которая используется для приготовления ВМП. Было проведено сравнение величин поверхностного натяжения и вязкости необработанной воды, с водой которая была подвергнута электрофизической обработке, приведённые в таблице 1 [9-11].

Эффективность влияния электрофизической обработки воды была подтверждена экспериментальными данными. Динамическая вязкость (μ) уменьшилась на 2,68%, а поверхностное натяжение – (σ) снизилось на 28%, относительно необработанной дистиллированной воды. Данные об эксперименте представлены на рисунке 2.

Таблица 1 – Вязкость и поверхностное натяжение воды до и после ЭФ обработки

№	Вода	Динамическая Вязкость μ , Па*с	Поверхностное натяжение (при температуре 20°C) $\sigma \cdot 10^{-3}$, Н/м
1	Обработанная	0,920	51,1
2	Необработанная	0,895	72,75

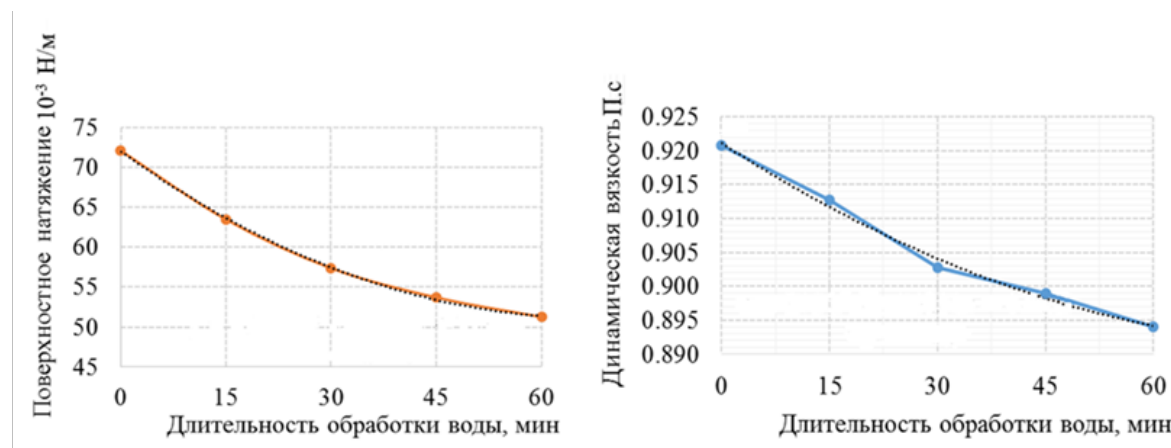


Рисунок 2 – Результаты проведения эксперимента по ЭФ обработке

Таким образом, возможность оказания влияния на физико-химические характеристики воды путем ЭФ обработки были доказаны. Ниже на таблице 2 представлено сравнение коллоидно-химических характеристик ВМП и CO_2 газонаполненных компрессионных пен.

Замена дисперсионной фазы ВМП (воздуха) на CO_2 позволяет увеличить более чем на 30% время до её 50% разрушения, увеличивая тем самым длительность изолирующего действия. Результаты оценки влияния давления дисперсионной фазы (воздуха, CO_2) генерации в ВМП (воздуха) и диоксида углерода – для газонаполненной компрессионной пены, как и учет влияния ЭФ обработки [11-14],

описывает таблица №3.

Данные таблицы 3 свидетельствуют о положительном влиянии этих параметров на дальность подачи струи (более чем 15%). В ходе исследования были проведены огневые испытания по тушению модельных очагов пожаров класса В штатной воздушно-механическими и опытными компрессионными CO_2 наполненными пенами. Ранг модельного очага пожара 1В с внутренним диаметром противня 200мм [15]. В таблице 4 представлены результаты экспериментов по тушению модельного очага пожара класса В. Данные включают: вид пены (ВМП и ГНКП), время тушения, интенсивность подачи.

Таблица 2 – Характеристики ВМП и CO_2 ГНП

Параметр	Кратность	Время разрушения 50% объема пены, с.
ВМП	12±0,1	9,3±1,0
CO_2 НМП	10±0,1	12,8±1,0

Таблица 3 – Дальности подачи из ГПС 600 штатной ВМП и опытной ГНПК в зависимости от давления и ЭФ обработки

№	Образец	$P_{\text{раб,в гидросистеме}}$ (атм)	ЭФ обработка ПЧМС	Дальность Выброса L, м
1	ВМП(атм.воздух)	4,0		10,1±0,1
2	ВМП(атм.воздух)	4,0	+	10,2±0,1
3	CO_2 ,наполненная(сжат.воздух)	5,0		12,2±0,1
4	CO_2 ,наполненная(сжат.воздух)	5,0	+	13,1±0,1

Таблица 4 – Результаты тушения модельного очага класса В экспериментальными ВМП и CO_2 ГНПК

№ п/п	Время тушения,с	Интенсивность подачи ОТВ(пены) л/(м ³ · с)
1 ВМП(без ЭФ обработки)	5±1.0	0,08
2 Газонаполненная(без ЭФ обработки)	3±1.0	0,07

Результаты огневых испытаний свидетельствуют о более чем двукратном сокращении времени тушения модельного очага класса В при практически одинаковой интенсивности подачи ОТВ. С целью оценки обеспечения имеющихся пожарных мотопомп и автомобилей возможностью получения компрессионной газонаполненной пены предложено масштабировать экспериментальную установку (рис. 1) в виде конструкции пилотной установки (рис. 3), открывающей возможности модернизации как имеющихся на вооружении пожарных автомобилей АГТ 1 (рис. 4), так и создания мобильных ранцевых огнетушителей (рис. 5).

Основным принципом работы опытной установки

является подача раствора пенообразователя (далее – ПО) от пожарной машины с помощью рукава. Перед попаданием в рукав, раствор проходит через регулировочный вентиль кратности. Он используется для достижения необходимой консистенции ПО. После прохождения вентиля, раствор попадает в пенообразователь, где смешивается с CO_2 под регулируемым давлением.

По предварительным подсчетам, необходимый объем CO_2 для создания пены низкой кратности – 4 баллона объемом 7 литров, а необходимое давление – 30 атм.

Полученного объема пены (кратность $K_n = 5$) хватает на 18 минут пенной атаки [16].

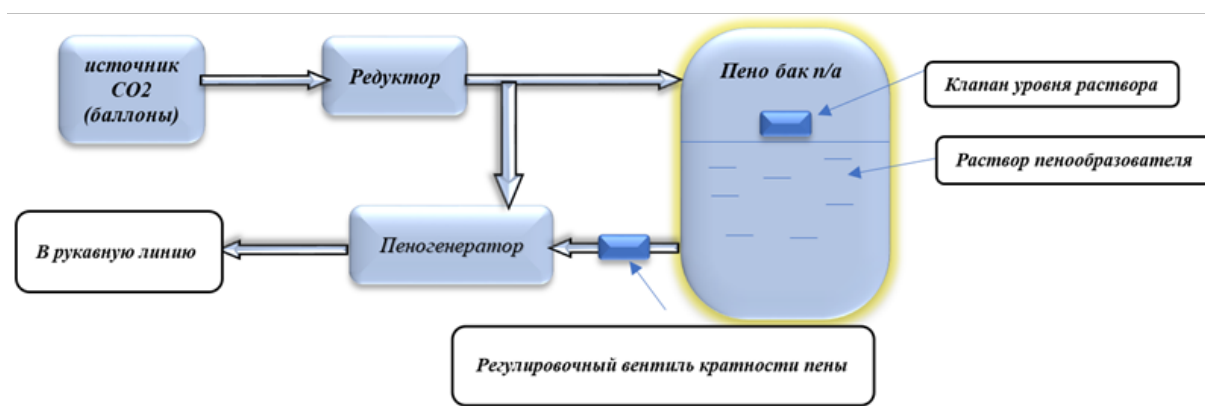


Рисунок 3 – Схема опытной установки получения компрессионной пены

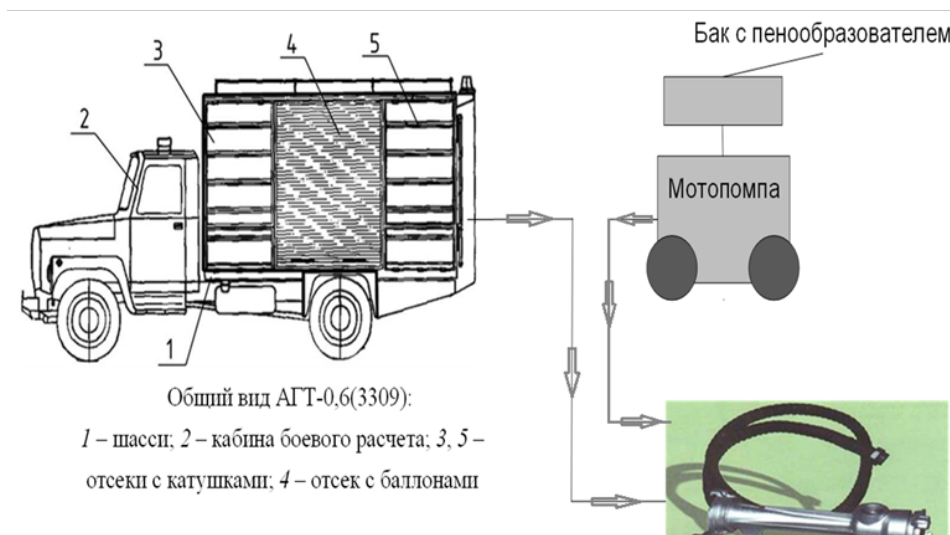


Рисунок 4 – Схема установки пенообразователя на АГТ

Обсуждение. Благодаря данной установке возможно расширение функционала АГТ.

С помощью пенного тушения, автомобиль может быть использован в нейтрализации пожаров классов А и В.

Пример комплектации АГТ пенообразователем указан на рисунке 4 [17].

Примечание: При использовании CO_2 -газо-

наполненной компрессионной пеной (CO_2 -ГНКП), необходимо исключить попадание атмосферного воздуха на эжектор пеногенератора, например (ГПС-600) [18].

Несомненно перспективными также следует считать разработку новой конструкции переносного ранцевого огнетушителя для ликвидации лесных пожаров (рис. 5) [19].

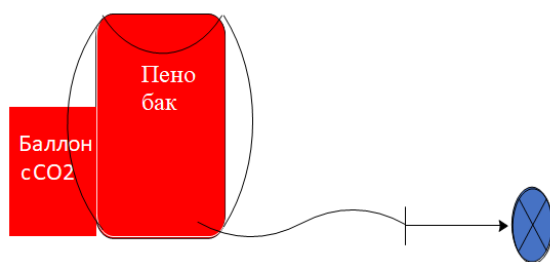


Рисунок 5 – Устройство ранцевого огнетушителя для ликвидации лесных пожаров

Подводя итоги, можно утверждать, что изменения физико-химических свойств воды путем электрофизической обработки приводят к улучшению пожарно-технических характеристик воздушно-механической пены и CO_2 ГНКП. Данный эффект может быть использован для расширения функционала существующих образцов пожарной техники [20].

Выводы. Определены пожарно-технические характеристики CO_2 наполненной компрессионной пены (стойкость, кратность, время разрушения).

Воздействие ЭФ обработки на коллоидно-химические характеристики ВМП и CO_2 газонаполненных компрессионных пен определено как положительное.

Установлены экспериментально существенные преимущества CO_2 наполненной компрессионной пены, перед штатной ВМП: кратности, дальности подачи, возможность транспортировки по рукавам.

Предложены инженерные решения по модернизации пожарного автомобиля АГТ и создания опытной конструкции переносного ранцевого огнетушителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волик А.С. Влияние электрического поля на огнетушащие свойства воздушно-механической пены / А.С. Волик, А.В. Квашнин, Г.К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 3(55). – С. 103-107. – EDN BZSSAC.
2. ГОСТ Р 50588-2012 Пенообразователи для тушения пожаров. Национальный стандарт РФ // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации.
3. Булатов, Н.Н. Получение компрессионной (газонаполненной) пены / Н.Н. Булатов // Синтез науки и образования как инструмент решения глобальных проблем современности: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Челябинск, 12 ноября 2023 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2023. – С. 119-121. – EDN PXPTKJ.
4. Скорупич, И.С. Экспериментальные исследования подачи струи компрессионной пены / И.С. Скорупич, А.В. Грачулин, К.Е. Шинкоренко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 201-210. – DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-2.201. – EDN IS-BVBU.
5. ГОСТ 17.1.1.04-80 Классификация подземных вод, по целям водопользования. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
6. Азимов Д.С., Колесников С.В., Ивахнюк Г.К., Шешина Н.И., Поляков А.И. «Электрофизические и нанохимические инновации в обеспечении энергоресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности».

7. Алексеик, Е.Б. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен / Е.Б. Алексеик, А.Е. Савенкова, З. Гемши // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2013. – № 4. – С. 44-48. – EDN RSMACZ.

8. Рекомендации по применению тактических возможностей подразделений пожарной охраны при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2023.

9. Бибик Е.Е. Сборник задач по коллоидной химии: Уч. пособие. СПб., СПбГТИ, 2019. – 57с. (№ 1410).

10. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Л.: «Химия». – 1984. – 368 с.

11. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1989. – 463с.

12. Spiridonov E.K., Khabarova D.F. Foam Fixer Hydrodynamics and Design Calculation // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 150. – С. 204-209.

13. Булатов, Н.Н. Газонаполненная CO_2 пена как эффективное средство пожаротушения / Н.Н. Булатов // Кооперация науки и общества как инструмент модернизации и инновационного развития: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 15 декабря 2023 года. – Стерлитамак: ООО "Агентство международных исследований", 2023. – С. 113-116. – EDN CLKSFI.

14. Цыбульский, А.С. Электрофизические методы очистки воды / А.С. Цыбульский, А.В. Черняев // Экология промышленного производства. – 2014. – № 2(86). – С. 27-31. – EDN ULWCZJ.

15. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная, огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

16. Шавалеев, М.Р. Переносная установка получения компрессионной (газонаполненной) пены / М.Р. Шавалеев, А.В. Кокшаров // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1-1(6). – С. 216-220. – EDN VONPGB.

17. Булатов, Н.Н. Влияние различных огнетушащих веществ на эффективность тушения пожара / Н.Н. Булатов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инновации: Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 15 декабря 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 131-134. – EDN CVGINF.

18. Иванов, А.В. Нанотехнологические решения при обеспечении пожарной и промышленной безопасности инновационных промышленных предприятий / А.В. Иванов, Г.К. Ивахнюк, Л.В. Медведева // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2016. – № 3(19). – С. 6-12. – EDN XHWFMF.

19. Коробейникова Е.Г., Чуприян А.П., Малинин В.Р., Ивахнюк, Г.К. Учебник «Химия Курс Лекций», 2011 г.

20. Свод правил СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90» (утв. приказом Министра России от 12 нояб. 2014 г. № 705/пр). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Статья поступила в редакцию 29.07.2024

Статья принята к публикации 13.09.2024