

18+

vek21.penzgtu.ru

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

ПЛЮС



2022

№4(60) Т.11



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:

Авроров 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
Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук
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 технических 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
Фатыхов Юрий Адгамович, доктор технических наук, профессор
Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент
Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент
Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

Основан в 2011 г.

18+

Том 11
№ 4 (60)
2022

Журнал выходит
4 раза в год

Входит в ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых 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 15.12.2022.

Выход в свет 23.12.2022.

Формат 60X84 1/8

Печать ризография.

Усл. печ. л. 26,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 192.

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, заведующий кафедрой «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)

Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Пожарная безопасность» (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, 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, профессор кафедры «Биотехнологий и производства

продуктов питания» (Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кемерово, Россия)

Баширов Мусса Гумерович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и

автоматика промышленных предприятий (Уфимский государственный нефтяной технический университет (филиал в г.

Салават), 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 автоматки 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, доцент кафедры биотехнологии (*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийский технологический институт (филиал), г. Бийск, 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*)

Фатыхов Юрий Адгамович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевых и холодильных машин» (*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, 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*)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И СКОРОСТИ ПРОТОКА ЭЛЕКТРОЛИТА НА ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ Варенцов Валерий Константинович, Кошев Александр Николаевич, Кузина Валентина Владимировна.....	10
РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ФОРМАТА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОГО ОБМЕНА Коновалов Владимир Викторович, Колобова Екатерина Александровна, Чигирева Ирина Валерьевна, Фомина Мария Владимировна.....	17
ОСОБЕННОСТИ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИИ 4.0 – ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРЕПЯТСТВИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ Климова Наталья Александровна, Чекайкин Сергей Васильевич, Назарова Инна Таджиддиновна, Зимняков Владимир Михайлович.....	26
К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВСТРАИВАЕМЫХ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ Мартышкин Алексей Иванович.....	33
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ Тихонов Мартин Робертович, Тихонов Роберт Робертович, Акуленок Марина Викторовна.....	38
МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ Щенникова Елена Владимировна, Макаров Олег Сергеевич.....	42
АНАЛИЗ ДЕПРЕССИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ» Зоткина Алена Александровна.....	52
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ: ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ЛИДЕРСТВОМ И ЗРЕЛОСТЬЮ Климова Наталья Александровна, Чекайкин Сергей Васильевич, Назарова Инна Таджиддиновна, Зимняков Владимир Михайлович.....	56
ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ БАНКОВСКОЙ СФЕРЫ Унковская Галина Александровна.....	63
УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ, МАСШТАБИРУЕМОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С АРХИТЕКТУРОЙ <i>NEUROMATRIX</i> С КОМПЛЕКСНЫМИ ДАННЫМИ Ручкин Владимир Николаевич, Костров Борис Васильевич, Ручкина Екатерина Владимировна, Фулин Владимир Андреевич.....	68
УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СИМУЛЯТОР СЕРДЕЧНОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Сидорова Маргарита Александровна, Чулков Валерий Александрович, Зюзин Сергей Олегович, Бочков Сергей Иванович.....	74
АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ Еремин Александр Александрович, Митрохин Максим Александрович, Щеголихин Ярослав Павлович, Сальников Егор Владимирович.....	80

МЕРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБМЕНЕ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	
Мартышкин Алексей Иванович, Киндаев Александр Юрьевич, Панфилова Марина Ивановна.....	85

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЖИТЕЛЕЙ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТНОШЕНИИ ОБОГАЩЕННОГО ТВОРОГА И ТВОРОЖНЫХ ПРОДУКТОВ	
Держапольская Юлия Игоревна, Лутова Юлия Владимировна, Грибанова Светлана Леонидовна.....	89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ АГАР-АГАР И АНТОЦИАНЫ, В КАЧЕСТВЕ СМАРТ УПАКОВКИ ДЛЯ РЫБНОГО СЫРЬЯ	
Чеснокова Наталья Юрьевна, Кузнецова Алла Алексеевна, Левчук Тамара Викторовна.....	94

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРУКТУРИРОВАННОГО СЫВОРОТОЧНОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ МОРСКОГО ПЕКТИНА (ЗОСТЕРИНА)	
Табакаева Оксана Вацлавовна, Валевиц Анастасия Леонидовна, Табакаев Антон Вадимович.....	101

О ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПЛАСТИКОВОЙ УПАКОВКИ	
Мурашкина Оксана Александровна, Авроров Валерий Александрович, Сарафанкина Елена Александровна, Федорова Мария Петровна.....	107

ВЛИЯНИЕ АДАПТАЦИИ ДРОЖЖЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ	
Обушниковая Елена Борисовна, Кузьмина Ольга Борисовна, Кузьмин Антон Алексеевич.....	114

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ НА РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОБНОЙ КУЛЬТУРЫ <i>STREPTOMYCES ANTIBIOTICUS</i>	
Марынова Марина Александровна, Маркина Милица Олеговна.....	122

КЛАССИФИКАЦИЯ И АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	
Гумаров Гали Сагингалиевич, Коновалов Владимир Викторович, Сагингалиева Аяжан Галиевна.....	128

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНАХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	
Моторьгин Юрий Дмитриевич, Куватов Валерий Ильич, Намчыл Луиза Кыргызовна, Ведзижев Магомед Иссаевич.....	137

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПРОЦЕССАХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ	
Мокряк Анна Васильевна.....	143

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ	
Семенов Владимир Всеволодович, Ивахнюк Сергей Григорьевич, Лугавцов Олег Валентинович.....	148

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЕ РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА	
Кириллин Александр Андреевич, Сачкова Оксана Сергеевна.....	154

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА Кольцова Екатерина Леонидовна, Нарусова Елена Юрьевна, Прокopcк Ивaн Сергеевич, Хaникян Захар Альбертович.....	158
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕК – ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА Сомова Юлия Васильевна, Лимарев Александр Сергеевич, Ларина Анастасия Анaтольевна.....	165
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ Зелинская Ирина Алексеевна.....	172
КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ НАГРЕВЕ Мокряк Анна Васильевна, Парийская Анна Юрьевна, Пьянкова Любовь Алексеевна.....	178
СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕТУШАЩИХ И ЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ Иванов Алексей Владимирович.....	185
МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ И ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ Леонтьева Мария Сергеевна.....	193
АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПУНКТА ПОДГОТОВКИ ГАЗА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ГАЛСТУК-БАБОЧКА Севостьянова Ольга Павловна, Климова Ирина Викторовна.....	200
ЭЛЕКТРОФЛОТООАГУЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ Антониу Давид Фернанду Малунгу, Ольшанская Любовь Николаевна.....	206
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИКОВ НАПРАВЛЕННОГО ЗВУКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СИГНАЛИЗАЦИИ ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Дмитриев Михаил Сергеевич, Руднев Валерий Валентинович, Хасанова Марина Леонидовна.....	213
ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРТНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ Манаева Алина Рамзиловна, Шарифуллина Лилия Ринатовна.....	220
ПРОБЛЕМА ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ АВТОСТОЯНОК И ЕЁ ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ Танклевский Леонид Тимофеевич, Таранцев Александр Алексеевич, Зыбина Ольга Александровна, Поташев Дмитрий Анaтольевич.....	225
РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ Ефремов Сергей Владимирович, Ульянов Алексей Игоревич, Ульянова Анна Георгиевна.....	233
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ СПЕЦИАЛЬНЫМИ ГАЗОВЫМИ ОГНЕТУШАЩИМИ СОСТАВАМИ Столярков Даниил Владимирович, Королева Тамара Ивановна, Михайлов Кирилл Андреевич.....	238
ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ПОТЕРИ МАССЫ СОСНОВЫХ ИГОЛОК ПРИ ПОЖАРЕ Фролова Нина Анaтольевна, Шапошникова Ирина Анaтолиевна.....	246

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE INITIAL IRON ION CONCENTRATION AND ELECTROLYTE FLOW RATE ON ELECTROREDUCTION PROCESSES ON A THREE-DIMENSIONAL FLOW ELECTRODE Koshev Alexander Nikolaevich, Varentsov Valery Konstantinovich, Kuzina Valentina Vladimirovna.....	10
DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF INFORMATION AND SOFTWARE COMPONENTS MODELS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE UNIVERSAL DATA TRANSMISSION FORMAT FOR INTRAREGIONAL EXCHANGE SYSTEM Konovalov Vladimir Viktorovich, Kolobova Ekaterina Aleksandrovna, Chigireva Irina Valer'evna, Fomina Maria Vladimirovna.....	17
FEATURES OF THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT – BENEFITS AND OBSTACLES TO IMPLEMENTATION Klimova Natalya Alexandrovna, Chekaykin Sergey Vasilyevich, Nazarova Inna Tajiddinovna, Zimnjakov Vladimir Michailovich.....	26
ON THE ISSUE OF ENSURING THE RELIABILITY OF EMBEDDED RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEMS Martyshkin Alexey Ivanovich.....	33
COMPARATIVE ANALYSIS OF MEMBERSHIP FUNCTION FOR PROBLEMS OF DETECTING PRECURSORS OF FAILURES Tikhonov Martin Robertovich, Tikhonov Robert Robertovich, Akulyonok Marina Viktorovna.....	38
BACKGROUND EXTRACTION METHOD USING THE SECOND DERIVATIVE FILTER IN THE GRADIENT DIRECTION Shchennikova Elena Vladimirovna, Makarov Oleg Sergeevich.....	42
ANALYSIS OF THE DEPRESSIVE STATE OF «BKOHTAKTE» SOCIAL NETWORK USERS Zotkina Alena Aleksandrovna.....	52
QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS: A STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN LEADERSHIP AND MATURITY Klimova Natalya Alexandrovna, Chekaykin Sergey Vasilyevich, Nazarova Inna Tajiddinovna, Zimnjakov Vladimir Michailovich.....	56
INTEGRATION OF THE METHOD OF MULTI-CRITERIA SELECTION OF ALTERNATIVES BASED ON FUZZY SETS INTO THE BUSINESS PROCESSES OF THE BANKING SECTOR Unkovskaia Galina Alexandrovna.....	63
UNIVERSALITY, SCALABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF DESIGN OF HARD AND SOFTWARE ARCHITECTURES NEURO MATRIX WITH COMPLEX DATES Ruchkin Vladimir Nikolaevich, Kostrov Boris Vasilevich, Ruchkina Ekaterina Vladimirovna, Fulin Vladimir Andreevich.....	68
EDUCATIONAL LABORATORY SIMULATOR OF CARDIAC AND RESPIRATORY ACTIVITY Sidorova Margarita Alexandrovna, Chulkov Valery Aleksandrovich, Zyuzin Sergey Olegovich, Bochkov Sergey Ivanovich.....	74
ANALYSIS OF NEURAL NETWORK METHODS FOR IMPROVING IMAGE QUALITY AND THEIR INFLUENCE ON THE OPERATION OF THE OBJECT RECOGNITION SYSTEM Eremin Aleksandr Aleksandrovich, Mitrohin Maxim Aleksandrovich, Shchegolihin Yaroslav Pavlovich, Salnikov Egor Vladimirovich.....	80

MEASURES AND RECOMMENDATIONS TO INCREASE THE LEVEL OF SECURITY DURING INFORMATION EXCHANGE IN A VIRTUALIZED DATA CENTER ENVIRONMENT Martyshkin Alexey Ivanovich, Kindaev Alexander Yuryevich, Panfilova Marina Ivanovna.....	85
--	----

FOOD TECHNOLOGY

RESEARCH OF CONSUMER PREFERENCES OF RESIDENTS OF THE AMUR REGION IN RELATION TO ENRICHED COTTAGE CHEESE AND COTTAGE CHEESE PRODUCTS Derzhapolskaya Yulia Igorevna, Lutova Yulia Vladimirovna, Gribanova Svetlana Leonidovna.....	89
--	----

USE OF FILMS CONTAINING AGAR-AGAR AND ANTHOCYANES AS SMART PACKAGING FOR FISH RAW Chesnokova Natalya Yurievna, Kuznetsova Alla Alekseevna, Levchuk Tamara Viktorovna.....	94
---	----

ORGANOLEPTIC EVALUATION OF THE QUALITY OF STRUCTURED WHEY DRINK WITH ADDITION OF MARINE PECTIN (ZOSTEROL) Tabakaeva Oksana Vatslavovna, Valevich Anastasia Leonidovna, Tabakaev Anton Vadimovich.....	101
---	-----

ABOUT THE TECHNOLOGY OF OBTAINING POLYMER SEMI-FINISHED PRODUCTS AND FINISHED PRODUCTS FROM USED PLASTIC PACKAGING Murashkina Oxana Aleksandrovna, Avrorov Valery Aleksandrovich, Sarafankina Elena Aleksandrovna, Fedorova Maria Petrovna.....	107
--	-----

IMPACT OF YEASTS ADAPTATION ON EFFICIENCY OF SPENT GRAIN BIOCONVERSION Obushnikova Elena Borisovna, Kuzmina Olga Borisovna, Kuzmin Anton Alekseevich.....	114
---	-----

STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS CONTENT IN NUTRITIONAL MEDIA FOR THE DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF MICROBIAL CULTURE <i>STREPTOMYCES ANTIBIOTICUS</i> Marynova Marina Alexandrovna, Markina Milianna Olegovna.....	122
---	-----

CLASSIFICATION AND ASPECTS OF APPLICATION OF ULTRASONIC TECHNICAL MEANS IN FOOD SYSTEMS Gumarov Gali Sagingalievich, Konovalov Vladimir Viktorovich, Sagingalieva Ayazhan Galievna.....	128
---	-----

TECHNOSPHERE SAFETY

FEATURES OF MANAGEMENT AND DECISION-MAKING IN CASE OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATIONS IN AREAS OF OIL POLLUTION Motorygin Yury Dmitrievich, Kuvatov Valery Ilyich, Namchyl Louise Kyrgyzsova, Vedzizhev Magomed Issaevich.....	137
--	-----

MORPHOLOGICAL FEATURES OF ALUMINUM CONDUCTORS DAMAGED DURING ELECTRIC ARC PROCESSES Mokryak Anna Vasievna.....	143
--	-----

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON THE POSSIBILITY OF OIL IDENTIFICATION BY THE METHOD OF ELECTROTHERMAL ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY Semenov Vladimir Vsevolodovich, Ivakhnyuk Sergey Grigorievich, Lugavtsov Oleg Valentinovich.....	148
--	-----

THE USE OF INNOVATIVE MATERIALS IN SPECIAL CLOTHING FOR EMPLOYEES OF THE TRACK COMPLEX Kirillin Alexander Andreevich, Sachkova Oksana Sergeevna.....	154
--	-----

IMPROVEMENT OF METHODS OF RETRAINING OF THE TRANSPORT COMPLEX'S EMPLOYEES TAKING INTO ACCOUNT THE HUMAN FACTOR Koltsova Ekaterina Leonidovna, Narusova Elena Yurievna, Procopchuk Ivan Sergeevich, Khanikyan Zakhar Albertovich.....	158
RESEARCH OF THE HUMAN FACTOR IN THE SYSTEM MAN – TECHNICAL SYSTEM – PRODUCTION SYSTEM WITH THE PURPOSE OF INCREASING LABOR SAFETY Somova Yuliya Vasilievna, Limarev Aleksandr Sergeevich, Larina Anastasia Anatolievna.....	165
INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF NANOMODIFIED COMPONENTS OF THERMAL PROTECTION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF HYDROCARBON FIRE Zelinskaia Irina Alekseevna.....	172
COMPREHENSIVE STUDY OF CHANGES IN THE PHASE COMPOSITION OF COPPER-ALUMINUM CONDUCTORS DURING HEATING Mokryak Anna Vasievna, Pariyskaya Anna Iurevna, Pyankova Liubov Alekseevna.....	178
SYSTEM FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF NANOMODIFIED FIRE EXTINGUISHING AND PROTECTIVE COMPOSITIONS Ivanov Alexey Vladimirovich.....	185
METHODOLOGY FOR CREATING SCENARIOS AND ASSESSING THE LEVEL OF FIRE HAZARDS DURING RAIL TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS Leontyeva Maria Sergeevna.....	193
SAFETY ANALYSIS OF GAS DISTRIBUTION AND GAS CONSUMPTION FACILITIES (USING THE EXAMPLE OF A GAS TREATMENT POINT) USING THE BOW TIE MODEL Sevostyanova Olga Pavlovna, Klimova Irina Viktorovna.....	200
ELECTROFLOT COAGULATION GROUND WATER PURIFICATION FROM OIL POLLUTION Antonio David Fernando Malungu, Olshanskaya Lyubov Nikolaevna.....	206
INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF PFRAMETRIC SPEAKERS FROM THE POINT OF VIEW OF THEIR APPLICATION IN THE TRUCKS REVERSE SIGNALS Dmitriev Mikhail Sergeevich, Rudnev Valery Valentinovich, Khasanova Marina Leonidovna.....	213
USE OF INERT ADDITIVES TO REDUCE THE FIRE HAZARD OF COMBUSTIBLE LIQUIDS Manaeva Alina Ramzilevna, Sharifullina Liliya Rinatovna.....	220
THE PROBLEM OF EXPLOSION AND FIRE HAZARD OF UNDERGROUND PARKING LOTS AND ITS POSSIBLE SOLUTION Tanklevsky Leonid Timofeevich, Tarantsev Alexander Alekseevich, Zybina Olga Aleksandrovna, Potashev Dmitry Anatolyevich.....	225
DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO ASSESSING THE EFFICIENCY OF OCCUPATIONAL RISK MANAGEMENT Efremov Sergey Vladimirovich, Ulyanov Aleksey Igorevich, Ulyanova Anna Georgievna.....	233
EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING FIRES OF LIQUID COMBUSTIBLE SUBSTANCES WITH SPECIAL GAS EXTINGUISHING COMPOSITIONS Stolyarov Daniil Vladimirovich, Koroleva Tamara Ivanovna, Mikhailov Kirill Andreevich.....	238
INVESTIGATION OF THE RATE OF HEAT RELEASE AND THE RATE OF MASS LOSS OF PINE NEEDLES IN A FIRE Frolova Nina Anatolyevna, Shaposhnikova Irina Anatolievna.....	246

УДК 519.6

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0001

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА
И СКОРОСТИ ПРОТОКА ЭЛЕКТРОЛИТА НА ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА
ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ**

© Автор(ы) 2022

SPIN-код: 4008-3010

AuthorID: 43826

ORCID: 0000-0001-8622-9364

ScopusID: 7004176778

ВАРЕНЦОВ Валерий Константинович, доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник лаборатории электрохимии гетерогенных систем
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
(630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18, e-mail: vvk@ngs.ru)

SPIN-код: 1569-1966

AuthorID: 47930

ORCID: 0000-0003-3057-4980

ResearcherID: AAD-1496-2021

ScopusID: 8900920000

КОШЕВ Александр Николаевич, доктор химических наук,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: koshev@pguas.ru)

SPIN-код: 9075-4096

AuthorID: 642415

ORCID: 0000-0003-4511-7176

ResearcherID: GOP-3388-2022

ScopusID: 57190165261

КУЗИНА Валентина Владимировна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: kuzina@pguas.ru)

Аннотация. Приводится численное исследование влияния различных параметров процесса электровосстановления ионов железа на проточном трехмерном электроде. Цель исследования – определение зависимости концентрации ионов трехвалентного железа и распределения поляризации для реакций $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ от исходного содержания ионов железа в электролите. С использованием метода математического моделирования процесса электровосстановления ионов железа на проточных трехмерных электродах из углеродных волокнистых материалов определяется интервал концентраций, при которых восстановление металлов происходит с наибольшей скоростью. Результаты расчетов подтверждены экспериментальными данными распределения поляризации и концентрации ионов металла, а также плотности тока в объеме электрода. Для определения оптимальных условий проведения регенерации электролитов, содержащих ионы $Fe(III)$, выполнена оценка эффективности процессов восстановления металлов на ПТЭ от исходной концентрации $Fe(III)$, скорости потока электролита, а также совместного восстановления кислорода, водорода и $Fe(III)$.

Ключевые слова: трехмерный проточный электрод, электровосстановление ионов железа, математическое моделирование, углеграфитовые волокнистые материалы, подбор параметров.

**NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE INITIAL IRON ION CONCENTRATION AND
ELECTROLYTE FLOW RATE ON ELECTROREDUCTION PROCESSES ON A THREE-DIMENSIONAL
FLOW ELECTRODE**

© The Author(s) 2022

VARENTOV Valery Konstantinovich, doctor of technical Sciences, professor,
leading researcher Laboratory of Electrochemistry of Heterogeneous Systems
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of Siberian branch of Russian Academy of Science
(630128, Russia, Novosibirsk, st. Kutateladze, 18, e-mail: vvk@ngs.ru)

KOSHEV Alexander Nikolaevich, doctor of Chemistry Science,
professor of the department «Information and computing systems»

KUZINA Valentina Vladimirovna, candidate of Technical Sciences,
associate professor of the department «Information and computing systems»

Penza State University of Architecture and Construction

(440028, Russia, Penza, German Titov St., 28, e-mails: koshev@pguas.ru kuzina@pguas.ru)

Abstract. A numerical study of the influence of various parameters on the process of electroreduction of iron ions on a three-dimensional flow electrode is given in this article. The purpose of the study is to determine the dependence of the concentration of ferric iron ions and the distribution of polarization on the initial content of iron ions in the electrolyte for reactions $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$. The range of initial concentrations of iron ions, at which the highest metal reduction rate is observed, was determined using the method of mathematical modeling of the process of electroreduction of iron ions on three-dimensional flow electrodes made of carbon fiber materials. The calculation results are confirmed by experimental data on the distribution of polarization and concentration of metal ions, as well as the current density in the electrode volume. Establishing the dependences of the efficiency of metal reduction processes on a three-dimensional flow electrode on the initial $Fe(III)$ concentration, the electrolyte flow rate, as well as the joint reduction of oxygen, hydrogen, and $Fe(III)$, is important for finding the best conditions for the regeneration of electrolytes containing $Fe(III)$ ions.

Keywords: three-dimensional flow electrode, electroreduction of iron ions, mathematical modeling, carbon-graphite fibrous materials, selection of parameters.

Для цитирования: Варенцов В.К. Численное исследование влияния исходной концентрации ионов железа и скорости потока электролита на процессы электровосстановления на проточном трехмерном электроде / В.К. Варенцов, А.Н. Кошев, В.В. Кузина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 10-16. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0001.

Введение. Многостадийные электродные процессы восстановления ионов до металлического состояния широко известны в электрохимии, например, детально исследованы процессы восстановления ионов трехзарядного хрома, шестизарядного иридия, двухзарядной меди. В литературе отражен ряд исследований, посвященных определению параметров электрохимических процессов восстановления ионов различных металлов, выполненных как экспериментальными, так и аналитическими методами [1-20]. Численные расчеты, выполняемые с использованием адекватных математических моделей [5-13], представляют собой наиболее доступный и универсальный способ определения зависимостей, определяющих условия регенерации электролитов.

Методология. Цель данного исследования – посредством численного моделирования определить зависимости концентрации ионов трехвалентного железа и распределения поляризации для реакций $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ от исходного содержания ионов железа в электролите. При этом выполняется оценка влияния исходной концентрации ионов трехвалентного железа в электролите на процесс электровосстановления двухвалентного железа на электроде из углеродных волокнистых материалов (УВМ).

Уравнение, описывающее процесс восстановления n компонентов в объеме пористого электрода, имеет вид:

$$j_i(x) = \frac{j_{i0}(e^{M_{i1}} - e^{M_{i2}})}{1 + j_{i0}e^{M_{i1}}/z_i F C_i(x) v(x)} \quad (1)$$

где j_{i0} – плотность тока обмена; j_i – плотность поляризующего тока; $e^{M_{i1}}$ и $e^{M_{i2}}$ – потенциалы; z_i – заряд i -го электроактивного компонента ($i=1, \dots, 4$); F – число Фарадея, Кл·моль⁻¹; D – коэффициент диффузии, см²/с; $C_i(x)$ – концентрация i -го электроактивного компонента ($i=1, \dots, 4$); $v(x)$ – вектор скорости конвективного переноса электролита по осям или линейная скорость потока электролита.

Вывод обобщенной математической модели нестационарного электролиза в ПТЭ и алгоритмы вычислений приводятся в работе [8].

Для исследования электрохимической системы, в которой на проточном трехмерном электроде реализуются реакции электровосстановления: $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$; $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$; $2H^+ \rightarrow H_2$, – выбран метод математического моделирования процесса электровосстановления ионов железа на проточных трехмерных электродах (ПТЭ), в том числе из УВМ [5]. Учитывалось, что восстановление на углеродистых волокнистых электродах (УВЭ) n компонентов в объеме пористого электрода происходит преимущественно за счет переноса массы и заряда путем принудительной конвекции, в то время как диффузия и естественная конвекция пренебрежительно малы.

Для проведения экспериментов выбран электролит, содержащий как ионы $Fe(II)$, так и ионы трехвалентного железа $Fe(III)$, причем концентрация двухвалентного железа составляла 2,5 моль/л, а концентрация трехвалентного железа выбиралась в пределах $1,8 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Электропроводность такого раствора $\chi_{ж} = 0,14$ См/см. Материалами катодов в ПТЭ являлись углеродистые волокнистые материалы известных марок: ВИНН-250, НТМ-100, НТМ-200, ВВП-66-95, КНМ, ВНГ-50, ТГН и ТВШ. Технические параметры таких материалов также известны: удельная реакционная поверхность электрода (S_v , см²/см³), электропроводность электрода (χ , См/см⁻¹) и пористость материала электрода (ϵ), которые приведены, например, в работах [11, 12]. Исследования проводились также, когда материал катода сжимали в два раза, в этом случае параметры электрода, соответственно, корректировались. Плотность тока (j , А/см²) и скорость потока электролита (u , см/с) выбирались в соответствии с планом исследований.

Расчеты выполнены в условиях проточной схемы, т.е. раствор однократно проходит сквозь объем электрода.

Исследование электродного процесса при различной концентрации Fe(III). Известно [8, 9, 12], что наибольшей эффективности процессов восстановления металлов на ПТЭ можно достигнуть при обработке растворов электролитов с невысокой концентрацией ионов извлекаемых металлов. Очевидно, что существует некоторый диапазон концентраций электроактивных компонентов, внутри которого процессы электровосстановления протекают с максимальной скоростью. Численные расчеты распределения поляризации, концентрации ионов металла и парциальных плотностей тока электроактивных компонентов позволяют оценить скорость того или иного процесса в ПТЭ и подобрать условия обработки электролитов железнения с целью их эффективной регенерации. Установлено, что при концентрации Fe(III) в электролите железнения в пределах $8,9 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-2}$ моль/л происходит снижение скорости восстановления трехвалентного железа (рис. 1). Компенсировать снижение скорости рассматриваемой реакции можно повышением плотности протекающего через ПТЭ тока до $1500 \dots 3000 \text{ А/м}^2$. Такой токовый режим позволяет получить приемлемую скорость реакции восстановления Fe(III).

Рисунок 2 показывает, что исходная концентрация ионов Fe(III) существенно влияет на распределение поляризации по толщине ПТЭ, причем для меньших значений концентрации наблюдается продвижение процесса электровосстановления в глубину ПТЭ, что повышает эффективность его работы. С другой стороны, при увеличении концентрации ионов трехвалентного железа процесс локализуется на краях электрода, средняя часть ПТЭ при этом практически не работает.

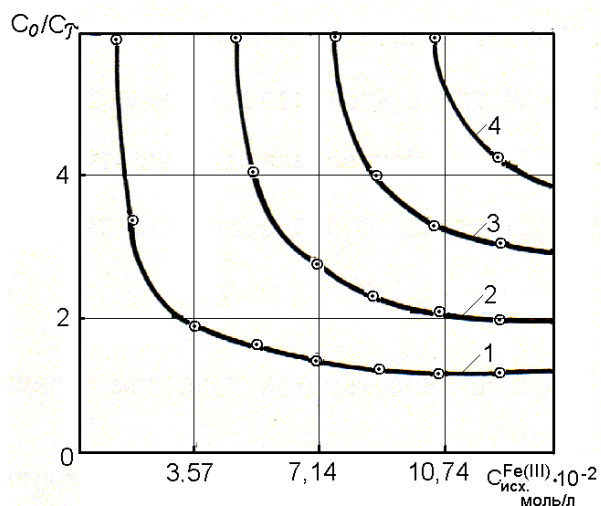


Рисунок 1 – Кривые зависимости концентрации ионов Fe(III) от исходного содержания Fe(III) в электролите.

Плотность поляризующего тока, А/м²:
 1 – 500; 2 – 700; 3 – 1000; 4 – 2000.

Материал электрода – ВИНН-250 при сжатии в 2 раза;
 скорость потока $u = 0,1 \text{ мл/с}$;
 толщина электрода $L = 0,5 \text{ см}$

Приведенные на рисунке 1 кривые зависимости концентрации ионов Fe(III) от исходного содержания Fe(III) в электролите показывают, что ПТЭ толщиной 0,5 см работает наиболее эффективно при $C^{Fe(III)} = 1,8 \cdot 10^{-3} \dots 5,36 \cdot 10^{-3}$ моль/л и $j = 500 - 1500 \text{ А/м}^2$, а при больших значениях концентрации ионов трехвалентного железа восстановление происходит практически только на краях электрода с некоторым сдвигом на фронтальную сторону.

Анализ распределения концентрации ионов Fe(III) по толщине электрода (рис. 2) показывает, что процессы восстановления протекают только в приповерхностных слоях электродов, причем более интенсивно с фронтальной стороны.

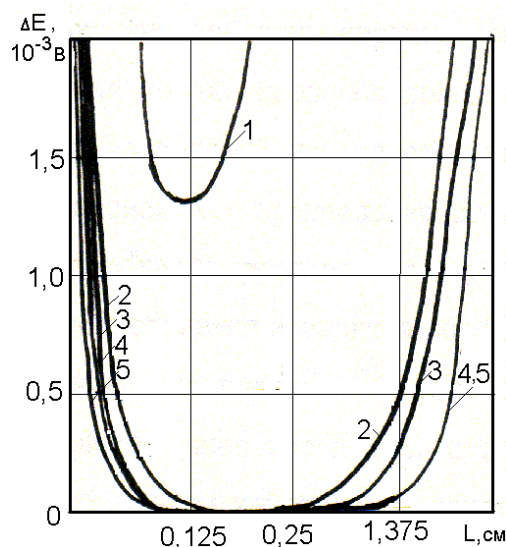


Рисунок 2 – Кривые распределения поляризации реакций $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ в зависимости от исходной концентрации ионов Fe(III), моль/л: 1 – $1,8 \cdot 10^{-3}$; 2 – $8,9 \cdot 10^{-3}$; 3 – $1,8 \cdot 10^{-2}$; 4 – $8,9 \cdot 10^{-2}$; 5 – $1,8 \cdot 10^{-1}$

Приведенные данные дают возможность заключить, что содержание ионов Fe(III) до $8,9 \cdot 10^{-2}$ моль/л и выше позволяет снизить толщину ПТЭ до 0,2 – 0,3 см. При этом сокращается область восстановления ионов Fe(III) на ПТЭ. Необходимо отметить, что регенерация происходит при постоянном снижении $C^{Fe(III)}$, при этом расширяется область электрода, где протекает изучаемая реакция. Очевидно, что при данном обстоятельстве необходимо увеличение толщины ПТЭ до 0,5 см и далее.

Исследование влияния скорости потока электролита на эффективность процесса. Проток раствора электролита сквозь ПТЭ представляет собой регулируемый технологический параметр, который можно использовать для управления процессом и повышать его эффективность. Анализ результатов расчетов с использованием математической модели обнаруживает некоторое противоречие: увеличение скорости потока электролита через ПТЭ приводит к замедлению скорости восстановления ионов Fe(III) до двухвалентного железа (рис. 3), в то время как базовые теоретические положения дают основание

предполагать возрастание скорости процесса из-за усиления интенсивности перемешивания раствора и, следовательно, уменьшения толщины диффузионного слоя. Такое несоответствие объясняется тем, что в реальных условиях не вся масса электролита при прохождении сквозь ПТЭ успевает прореагировать с электродом, что учитывается в математической модели и обуславливает результаты численных исследований.

Увеличение габаритной плотности тока не меняет характера зависимости концентрации ионов $Fe(III)$ к $Fe(II)$. Отметим, что на определенном участке ПТЭ электрод работает в условиях предельного диффузионного тока.

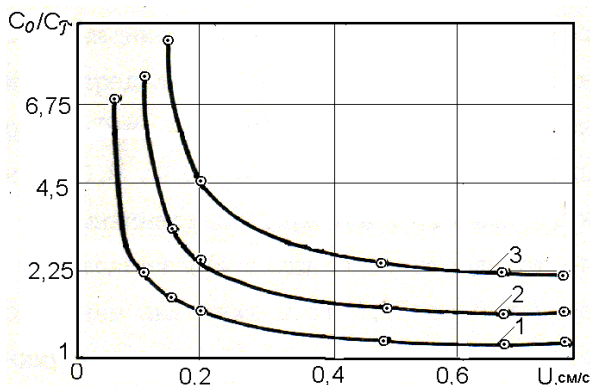


Рисунок 3 – Отношение концентрации ионов $Fe(III)$ к $Fe(II)$ в зависимости от скорости потока электролита при различной плотности поляризующего тока, A/m^2 :
1 – 500; 2 – 1000; 3 – 1500

На рисунке 4 приведены кривые распределения концентрации ионов $Fe(III)$, характеризующие работу ПТЭ в различных областях по его толщине. При увеличении скорости потока раствора от 0,05 до 0,10 см/с распределение концентрации представляет собой S-образную кривую, что свидетельствует о наличии в глубине ПТЭ области, где интенсивность процесса восстановления трехвалентного железа снижена относительно интенсивности процесса на краях электрода. Отметим, что такой характер распределения концентрации ионов $Fe(III)$ вполне коррелирует с кривыми распределения поляризации и плотности тока по толщине ПТЭ (рис. 4). Расчеты показывают, что величина скорости протока может рассматриваться как некоторый управляющий параметр, и при определенных ее значениях можно добиться интенсификации рассматриваемого процесса.

Исследование совместного восстановления кислорода, водорода и $Fe(III)$ в ПТЭ. На рисунке 5 приведены результаты численного исследования процесса совместного восстановления кислорода и $Fe(III)$ в ПТЭ с катодом из материала ВИНН-250 (сжатие в 2 раза), при следующих параметрах процесса $u = 0,36$ мл/с; $j_k = 500$ A/m^2 ; $E_p^{O_2} = 1,1$ В; $j_0^{O_2} = 10^{-8}$ A/cm^2 ; $z^{O_2} = 2$; $C_0^{O_2} = 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $L = 0,1$ – кривая 1; $L = 0,5$ – кривая 2. Анализ распределения поляризации реакции $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ (рис. 5В,

сплошные кривые 1, 2) свидетельствует о наличии минимума на кривой, который смещается к тыльной стороне электрода при увеличении его толщины. Это обуславливает соответствующее поведение кривой плотности тока (рис. 5В, пунктирные кривые 1, 2). Распределение концентрации ионов $C^{Fe(III)}$ (рис. 5Г) также коррелирует с кривой распределения парциальной плотности тока.

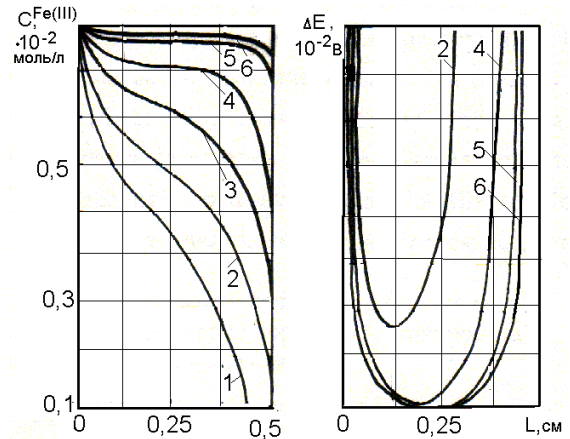


Рисунок 4 – Кривые распределения концентрации ионов $Fe(III)$ и поляризации электрода в объеме ПТЭ при различной скорости потока электролита, см/с:
1 – 0,05; 2 – 0,07; 3 – 0,1; 4 – 0,15; 5 – 0,5; 6 – 1,0

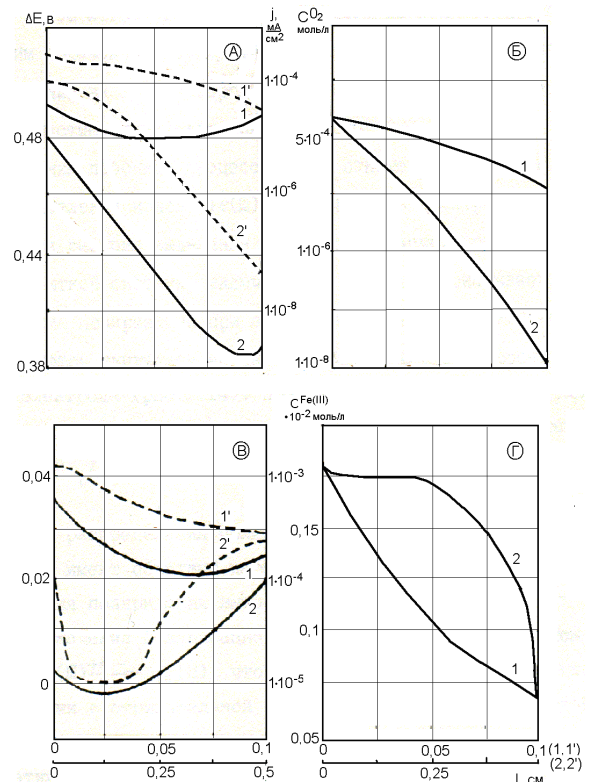


Рисунок 5 – А, В – кривые распределение поляризации и плотности тока реакции $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ (соответственно, сплошная линия и пунктир); Б, Г – распределение парциальных концентраций: восстановления кислорода (Б), ионов $Fe(III)$ (Г) по толщине ПТЭ, см: 1,1' – 0,1; 2,2' – 0,5

Кривые распределения поляризации и тока, идущего на реакцию восстановления кислорода (рис.

6А), показывают большую интенсивность процесса у тыльной стороны ПТЭ, при этом увеличение толщины электрода приводит к повышению интенсивности процесса восстановления кислорода (рис. 6Б).

На рисунке 6 приведены также результаты численных исследований процесса восстановления ионов $Fe(III)$ до $Fe(II)$ в электролите железения с учетом возможного выделения водорода на ПТЭ. В этом случае электрохимическая система является трехкомпонентной. Рисунок 6 показывает, что для такой системы кривая поляризации реакции $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ имеет тенденцию к снижению парциальной поляризации от тыльной к фронтальной стороне ПТЭ.

Для реакции восстановления железа до металлической формы характерно распределение поляризации (рис. 6Б), при котором ее значение на фронтальной стороне ПТЭ больше, чем на тыльной. Сравнение величин парциальной поляризации реакций $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$ и $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ показывает, что поляризация электрода при первой реакции меньше, чем при второй, что обуславливает преимущественное протекание реакции $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$ относительно реакции $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ при их совместной реализации. Следует отметить, что в рассматриваемых условиях при увеличении габаритной плотности тока, подаваемого на ПТЭ, до значений, достаточных для протекания побочных реакций, наряду с основными, распределение $C^{Fe(II)}$ по толщине электрода меняется незначительно. При этом $C^{Fe(II)}$ при увеличении габаритного тока равномерно падает от тыльной к фронтальной стороне электрода.

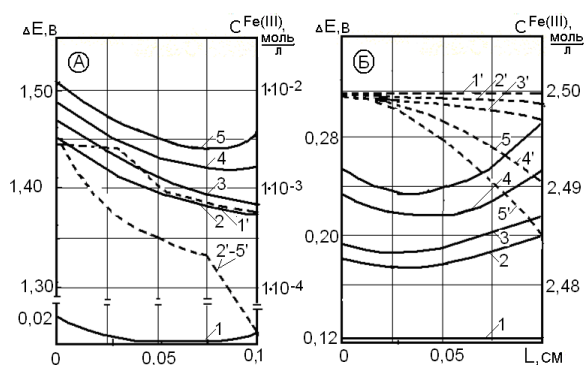


Рисунок 6 – Распределение поляризации (кривые 1...5) и концентрации (кривые 1'...5') по реакциям $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ (А) и $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$ (Б) при изменении плотности тока, в A/m^2 : 100 – кривые 1 и 1'; 500 – 2 и 2'; 700 – 3 и 3'; 1500 – 4 и 4'; 3000 – 5 и 5

Расчетные данные, приведенные на рисунке 7А, показывают равномерное снижение парциальной плотности тока реакции $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$ от тыльной к фронтальной стороне ПТЭ, при этом при плотностях габаритного тока, равных и больших 500 A/m^2 , распределение плотности тока рассматриваемой реакции остается неизменным.

Анализируя результаты численных расчетов, представленных на рисунке 7Б, следует отметить,

что выделение водорода на электроде начинается при плотностях габаритного тока 500 A/m^2 и усиливается при больших его значениях. Это обуславливается высоким перенапряжением рассматриваемой реакции на графитовых катодах [4].

При габаритных плотностях тока до 500 A/m^2 и в заданных условиях, согласно расчетам, не происходит выделения водорода, что можно объяснить высоким перенапряжением его выделения на поверхности графита [4]. При $j_{заб} = 700 A/m^2$ водород начинает выделяться преимущественно на тыльной стороне электрода, и с дальнейшим повышением плотности тока он восстанавливается во всем объеме, причем на фронтальной стороне больше, чем на тыльной. Кривые распределения плотности тока, идущего на реакцию выделения водорода, имеют минимум, находящийся ближе к тыльной поверхности УВЭ. Таким образом, протекание всех рассматриваемых реакций имеет различный независимый характер, причем восстановление ионов $Fe(III)$ до $Fe(II)$ происходит более интенсивно на тыльной стороне УВЭ, а два остальных процесса, связанных с выделением металлического железа и водорода, – на фронтальной.

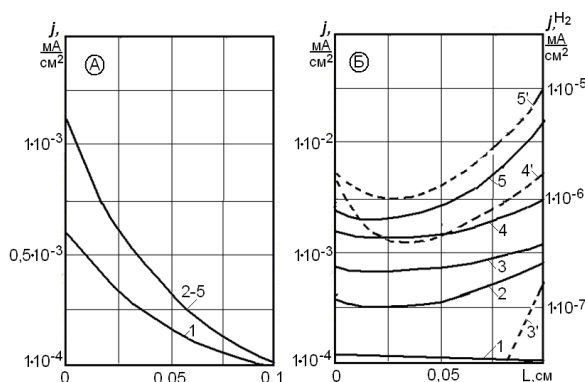


Рисунок 7 – Кривые парциальных плотностей тока реакций: А – $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$; Б – $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$; пунктир, Б – выделения водорода.

Плотность габаритного тока, A/m^2 :

1 – 100; 2 – 500; 3, 3' – 700; 4, 4' – 1500; 5, 5' – 3000

Результаты. В результате исследования электрохимической системы, в которой реализуются реакции электровосстановления: $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$; $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$; $2H^+ \rightarrow H_2$ и выделения молекулярного кислорода на ПТЭ методами математического моделирования и численных расчетов выявлены следующие закономерности.

Концентрация ионов $Fe(III)$ в объеме подаваемого на ПТЭ электролита, существенно влияет на распределение процесса электроосаждения по толщине ПТЭ, причем при малых значениях концентрации процесс электровосстановления реализуется по всему электроду, в том числе и в глубине ПТЭ. Использование этого обстоятельства способствует повышению эффективности работы системы с проточным трехмерным электродом. При значительном увеличении концентрации ионов

трехвалентного железа происходит локализация процесса электровосстановления на краях электрода, что приводит к снижению эффективности процесса, так как срединная часть ПТЭ практически не работает. Следует сделать вывод, что существуют оптимальные сочетания концентрации ионов $Fe(III)$ и толщины ПТЭ, при которых изучаемый процесс протекает наиболее интенсивно.

Увеличение скорости потока раствора в определенных пределах приводит к возникновению в глубине ПТЭ области со сниженной интенсивностью процесса восстановления трехвалентного железа относительно интенсивности процесса на краях электрода.

Анализ численных экспериментов показывает, что значение скорости потока может рассматриваться как управляющий параметр, при оптимальных значениях которого можно добиться наибольшей интенсивности процесса восстановления ионов железа до металлической формы.

Результаты численного исследования процесса совместного восстановления $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$; $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$; $2H^+ \rightarrow H_2$ и кислорода в ПТЭ с катодом из углеродистого волокнистого материала показывают существенное влияние побочных процессов восстановления водорода и кислорода на ПТЭ, не способствующих повышению эффективности основного процесса.

Установлено, что интенсивность и распределение по толщине ПТЭ основных и побочных процессов в рассматриваемой электрохимической системе существенно зависит от плотности габаритного тока, который, следовательно, также должен рассматриваться в качестве технологического управляющего параметра. Аналогичные выводы можно сделать и относительно толщины ПТЭ.

Из анализа результатов проведенных исследований следует, что создание технологических условий, снижающих реализацию побочных факторов и интенсификацию основных процессов, является актуальной задачей при разработке технологических процессов восстановления железа до металлической фазы в электролизерах с проточными трехмерными электродами.

Решению задачи оптимального управления электрохимическим реактором с ПТЭ способствует применение методов математического моделирования.

Обсуждение. В настоящей работе представлены результаты математического моделирования и исследования последовательно-параллельных реакций на проточных трехмерных электродах в многокомпонентных системах. В известной литературе не нашли отражения вопросы методологии исследования таких сложных систем, где параллельно протекают реакции восстановления трехвалентного железа до двухвалентного с последующим восстановлением двухвалентного железа до металлического, а также выделения молекулярного кислорода и водорода. Это обусловлено, видимо, тем, что экспериментальные

исследования таких систем в полном объеме затруднены, а математических моделей, описывающих многокомпонентные электрохимические системы в динамике, до сих пор не создано.

Выводы. Численные исследования влияния концентрации $Fe(III)$, скорости потока электролита, а также совместного восстановления кислорода, водорода и $Fe(III)$ в проточном трехмерном электроде, описанные в настоящей работе, получены путем математического моделирования распределения электроактивных компонентов в многокомпонентных системах с последовательно-параллельными основными реакциями $Fe(III) + e \rightarrow Fe(II)$, $Fe(II) + 2e \rightarrow Fe^0$, а также с побочными реакциями выделения кислорода и водорода.

Следует особо отметить, что протекание всех четырех рассмотренных реакций имеет характерную специфику, например, восстановление ионов трехвалентного железа до двухвалентного происходит более интенсивно на тыльной стороне ПТЭ, а три остальных процесса, связанные с выделением металлического железа, кислорода и водорода, – на фронтальной.

Показано, что при различных значениях исходной концентрации ионов железа в растворе электролита можно, меняя скорость потока, обеспечить наилучшие условия для практической реализации процесса восстановления ионов $Fe(III)$ до $Fe(II)$ в электролитах железнения.

Представленные результаты свидетельствуют о необходимости и возможности разработки и применения детерминированных математических моделей сложных электрохимических процессов, в том числе и в проточных трехмерных электродах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Варенцов, В.К. Электроосаждение металлов и их оксидов на электрохимически модифицированные углеродные трехмерные материалы / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова // Физико-химия поверхности и защита материалов. – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 616-622.
2. Варенцов В.К., Варенцова В.И. Электролиз с углеродными волокнистыми электродами в процессах извлечения платиновых металлов из минерального и техногенного сырья // Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93. – Вып. 7. – С. 1033-1042.
3. Варенцов В.К. Электролиз с проточными объемно-пористыми электродами в гидрометаллургии благородных металлов // Известия СО АН СССР. Серия хим. наук. – 1984. – Том 17. – № 6. – С. 106-120.
4. Ковалева О.В. Электрохимическое исследование редокс-процессов в железодержащих водных растворах // Revista științifică a Universității de Stat din Moldova «Studia Universitatis», Seria «Științe ale Naturii». – 2009. – № 6 (26). – Pp. 195-203.
5. Варенцов В.К., Кошев А.Н., Сухов И.Ф. Процессы совместного электроосаждения золота и серебра из сернокислых растворов на проточном электроде // Теоретические основы химической технологии. – 2018. – Т. 52. – № 4. – С. 391-402.
6. Кошев А.Н. Математическое моделирование и теория распределения поляризации в электрохимических реакторах с проточными объемно-пористыми катодами / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина, В.Г. Камбург // Математическое моделирование. – 2011. – Т. 23, № 8. – С. 110-126.
7. Кошев А.Н., Кузина В.В. Разработка и исследование

математических моделей нестационарных процессов в электрохимических реакторах с проточными трехмерными электродами: моногр. Пенза: ПГУАС, 2011. – 119 с.

8. Окислительно-восстановительные процессы на трехмерных электродах. Математическое моделирование, теория, эксперимент: моногр. / В.К. Варенцов, А.Н. Кошев, В.И. Варенцова, В.В. Кузина. Пенза: ПГУАС, 2020. – 172 с.

9. Варенцов В.К., Кошев А.Н., Варенцова В.И. Современные проблемы электролиза и задачи оптимизации процессов в реакторах с трехмерными углеродными электродами: моногр. Пенза: ПГУАС, 2015. – 286 с.

10. Композиционные и нанокompозиционные материалы на основе углеродных волокнистых материалов: моделирование и эксперимент / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова, А.Н. Кошев, В.В. Кузина // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4 (45). – С. 73-79.

11. Углеродные волокнистые электроды: свойства, модификация, процессы и электролизеры. Математическое моделирование и оптимизация: моногр. / В.К. Варенцов, А.Н. Кошев, В.И. Варенцова, В.В. Кузина. – Пенза: ПГУАС, 2021. – 176 с.

12. Варенцов В.К., Жеребилов А.Ф., Малей М.Д. Углеродные волокнистые материалы – новые электроды для извлечения металлов из разбавленных растворов. 1. Нетканые углеродные волокнистые материалы. // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1984. – № 17. – Вып. 6. – С. 120-127.

13. Гвоздева И.Г. Программный комплекс для расчета параметров электрохимического процесса в проточных углеродных волокнистых электродах / И.Г. Гвоздева, А.Н. Кошев, А.А. Воронцов // Св. о регистрации программы для ЭВМ 2022616439, 08.04.2022. Заявка № 2022614434 от 24.03.2022.

14. Янилкин В.В. Роль материала электрода в электрохимии. Бутлеровские сообщения. – 2021. – Т. 65. – № 2. – С. 63-86.

15. Graphite felt as a versatile electrode material: Properties, reaction environment, performance and applications. / L. Fabián, F.C. Walsh, J.L. Nava, C.P. de León // *Electrochimica Acta*. 2017. – p. 258. DOI:10.1016/j.electacta.2017.11.165.

16. Review – Carbon Cloth as a Versatile Electrode: Manufacture, Properties, Reaction Environment, and Applications / M.I. León, L.F. Castañeda, A.A. Márquez, F.C. Walsh, J.L. Nava // *Journal of the Electrochemical Society*. – 2022. – 169(5), 053503.

17. Catalytic graphitization of residual carbon from gasification fine slag with ferric chloride as catalyst / X. Zhao, K. Liu, F. Guo, Y. Zhang, J. Wu // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2022.

18. Mathematical modeling and simulation of electrochemical reactors: A critical review / F.F. Rivera, T. Pérez, L.F. Castañeda, J.L. Nava // *Chemical Engineering Science*. – 2021. – V. 239 – 116622. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116622>.

19. Saleh M. Mathematical modeling of gas evolving flow-through porous electrodes // *Electrochimica Acta*. – 1999. – № 45(6). – Pp.: 959-967. DOI:10.1016/S0013-4686(99)00296-0.

20. Ferreira B.K. Three-dimensional electrodes for the removal of metals from dilute solutions: A review // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. – 2008. – № 29(4). – Pp. 330-371. DOI:10.1080/08827500802045586.

Статья поступила в редакцию 13.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.912

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0002

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО
И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО
ФОРМАТА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОГО ОБМЕНА**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 6039-6718

AuthorID: 617338

ORCID: 0000-0002-5011-5354

ResearcherID: P-7520-2018

ScopusID: 57193789361

КОНОВАЛОВ Владимир Викторович, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения»
Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 1582-8706

AuthorID: 663020

ORCID: 0000-0002-9569-2526

ResearcherID: GWR-0645-2022

ScopusID: 57119699800

КОЛОБОВА Екатерина Александровна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры прикладной информатики

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, пр-д Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: kea@penzgtu.ru)

SPIN: 3048-3299

AuthorID: 473970

ORCID: 0000-0001-7466-1256

ResearcherID: GWR-1639-2022

ScopusID: 57216872224

ЧИГИРЕВА Ирина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры прикладной информатики

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, пр-д Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: ichigireva@yandex.ru)

SPIN: 9566-7720

AuthorID: 676086

ORCID: 0000-0003-3529-8049

ResearcherID: ABC-8800-2021

ScopusID: 57206371454

ФОМИНА Мария Владимировна, младший разработчик
ООО "КСК ТЕХНОЛОГИИ"

(107076, г. Москва, вн.тер.г. МО Преображенское, ул. Краснобогатырская, д. 89 стр. 1, помещ. 532)

Аннотация. В наши дни преобразование муниципальных и государственных услуг в онлайн формат, переход к их оказанию в электронном виде является очень важным этапом значимых изменений в формате государственного и муниципального управления, так как это существенно влияет на сроки и качество предоставления услуг, а также устраняет административные барьеры и экономит время населения. Процесс электронного взаимодействия между информационными системами подразумевает наличие формализованных форматов передачи данных. Целью исследования является разработка и анализ моделей компонентов программного и информационного обеспечения для реализации универсального формата передачи данных для системы внутрирегионального обмена данными с целью организации предоставления ответов на межведомственные запросы по сведениям, находящимся в ведении региональных органов исполнительной власти и органов местного самоуправления. Методика исследований предусматривала использование, в том числе, элементов системного и сравнительного анализа архитектур информационных систем для нескольких клиентов, объектно-ориентированное моделирование информационных систем, а также теории и проектирования баз данных с применением структурного подхода. В статье представлены результаты анализа способов реализации серверной части приложения и обосновано применение мультитенантной архитектуры с общей базой данных и разными схемами под отдельные взаимодействия, что позволяет реализовать универсальный формат передачи данных, поскольку маркером различия будет служить отдельно взятая услуга или тип взаимодействия. Разработанная структура информационного обеспечения на основе объектно-ориентированных моделей позволяет реализовать работу системы с универсальной схемой формата вида сведений.

Ключевые слова: межведомственное взаимодействие, мультитенантная архитектура, универсальный формат сведений, архитектура системы, информационные и программные компоненты, модель использования, объектно-ориентированные поведенческие модели, структура базы данных.

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF INFORMATION AND SOFTWARE COMPONENTS MODELS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE UNIVERSAL DATA TRANSMISSION FORMAT FOR INTRAREGIONAL EXCHANGE SYSTEM

© The Author(s) 2022

KONOVALOV Vladimir Viktorovich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of Mechanical engineering technology
KOLOBOVA Ekaterina Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the chair «Application Informatics»
CHIGIREVA Irina Valer'evna, candidate of technical sciences,
associate professor of the chair «Application Informatics»
Penza state technological University
(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11,
e-mails: konovalov-penza@rambler.ru, kea@penzgtu.ru, ichigireva@yandex.ru)
FOMINA Maria Vladimirovna, junior developer
LLC "KCK TECHNOLOGY"

(107076, Moscow, Preobrazhenskoye, Krasnobogatyrskaya str., building 89/1, room. 532, e-mail: topstar11@mail.ru)

Abstract. Nowadays, the transformation of municipal and state services into an online format, the transition to their provision in electronic form is a very important stage of significant changes in the format of state and municipal administration, as this significantly affects the timing and quality of service provision, as well as eliminates administrative barriers and saves time for the population. The process of electronic interaction between information systems implies the presence of formalized data transmission formats. The purpose of the study is to develop and analyze software and information support components models for the implementation of a universal data transmission format for an intraregional data exchange system. The research methodology included using of elements of system and comparative analysis of information system architectures for several clients, object-oriented modeling, and structural approach in theory and database design. The article presents the research results of the ways to implement the server application and justifies the using of a multi-tenant architecture with a common database and different schemes for individual interactions. This method allows us to implement of a universal data transmission format, since a single service or type of interaction will serve as a marker of the difference. The developed structure of database and object-oriented models make it possible to implement the operation of the system with a universal scheme of the information type format.

Keywords: interdepartmental interaction, multitenant architecture, universal data format, system architecture, information and software components, use case model, object-oriented behavioral models, database structure.

Для цитирования: Коновалов В.В. Разработка и анализ моделей компонентов программного и информационного обеспечения для реализации универсального формата передачи данных для внутрирегионального обмена / В.В. Коновалов, Е.А. Колобова, И.В. Чигирева, М.В. Фомина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 17-25. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0002.

Введение. Большинство государственных учреждений создают, собирают, обрабатывают, распространяют, хранят, управляют, извлекают, поддерживают и утилизируют огромные объемы электронной информации. Система межведомственного взаимодействия позволяет автоматизировать процессы, происходящие между ведомствами, повысить соответствие нормативным требованиям, минимизировать дублирование информации, а также повысить скорость доступа к необходимой информации [1, 2].

Процесс электронного взаимодействия между информационными системами подразумевает наличие формализованных форматов передачи данных. На данный момент каждое отдельное взаимодействие проходит процедуру индивидуальной регистрации формата [3, 4].

Реализация указанного способа требует больших временных и финансовых затрат, существенную

временную задержку от появления необходимости организации какого-либо взаимодействия до её фактического появления в информационной системе. Конечному пользователю не видно разницы между форматами различных видов взаимодействий, так как перед ним стоит задача заполнить лишь конкретный перечень полей, представленных ему на портале. Далее в системе происходит приведение этих заполненных полей к формату, который позволит передать сообщение другой информационной системе. Эти форматы в данный момент различны [5, 6]. Каждый из них проходит процедуру регистрации на технологическом портале системы межведомственного взаимодействия (СМЭВ)[7-10]. И для каждого из них необходима разработка отдельного алгоритма обработки, то есть отдельной программы, чем и занимаются государственные и коммерческие структуры.

В работе предлагается использование универсаль-

ного вида сведений, в котором будут применяться элементы, позволяющие не акцентировать внимание на конкретной информации, а передавать различные виды данных в одной и той же структуре, независимо от сути поступающих данных. В этом случае за счет прямых контактов получателей и отправителей упрощается возможность модернизации форматов и ускоряется процесс реализации взаимодействия.

Целью исследования является разработка и анализ моделей компонентов программного и информационного обеспечения для реализации универсального формата передачи данных для системы внутрирегионального обмена данными.

Методология. Решение задачи осуществляется различными методами, в том числе, с использованием элементов системного и сравнительного анализа архитектур систем для нескольких клиентов, объектно-ориентированного моделирования информационных систем, а также теории и проектирования баз данных (БД) с применением структурного подхода.

Результаты. При разработке универсального формата передачи данных для внутри регионального обмена данными возникают проблемы, связанные с хранением и обработкой такой универсальной информации.

Одним из существующих направлений, обеспечивающих при своей работе универсальность, являются облачные решения. В данном направлении довольно широко распространена мультитенантная архитектура [11].

Это архитектура, в которой один экземпляр программного приложения обслуживает нескольких клиентов. В отличие от нее архитектура с одним клиентом *single-tenant* (изолированная модель) — это единая архитектура для каждой организации, где приложение имеет собственную инфраструктуру, аппаратную и программную экосистему (рис. 1). Все это подразумевает большие затраты, больше обслуживания и уровень сложности обновления в разных средах [12].

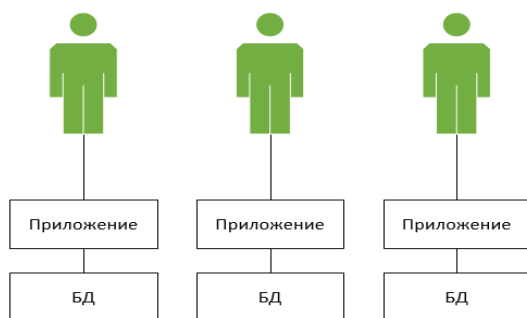


Рисунок 1 – Схема *single-tenant* архитектуры

Потенциальные преимущества *single-tenant* включают:

– **Безопасность:** один клиент и один сервер часто содержатся на защищенном оборудовании, используемом ограниченным числом людей.

– **Надежность:** с целой средой, посвященной одному клиенту, ресурсы в изобилии и доступны в любое

время.

– **Настройка:** контроль над всей средой позволяет настраивать и добавлять функциональность, если это необходимо.

Потенциальные недостатки *single-tenant*:

– **Обслуживание:** один клиент обычно означает большее количество задач и регулярное обслуживание.

– **Настройка / управление:** не такая быстрая как для многопользовательских сред.

– **Стоимость:** один клиент обычно позволяет использовать больше ресурсов, но по более высокой цене, учитывая, что есть только один клиент для всей среды [12].

Многопользовательская архитектура *multi-tenancy* — это экосистема или модель, в которой одна среда может обслуживать несколько клиентов, используя масштабируемую, доступную и устойчивую архитектуру. Базовая инфраструктура является полностью общей, логически изолированной и с полностью централизованными службами. Несмотря на то, что они совместно используют ресурсы, клиенты не знают друг о друге, и их данные хранятся совершенно отдельно. *Multi-tenancy* является важным компонентом облачных вычислений; без него облачные сервисы были бы гораздо менее практичными [13].

Применение мультитенантной архитектуры принесет значительные преимущества для приложения в части снижения затрат на серверную инфраструктуру с использованием стратегии многопользовательской архитектуры, так как вместо создания среды для каждого клиента, используется одна среда приложения для всех клиентов.

По сравнению с *single-tenancy*, *multi-tenancy* дешевле, имеет более эффективное использование ресурсов, меньшие затраты на техническое обслуживание, а также потенциал для большей вычислительной мощности. С архитектурой с несколькими клиентами поставщик должен делать обновления только один раз. При использовании архитектуры с одним клиентом поставщик должен коснуться нескольких экземпляров программного обеспечения, чтобы сделать обновления [12].

Потенциальные преимущества *multi-tenant*:

– **Доступная стоимость:** несколько клиентов означают, что стоимость среды является общей, и это обычно переносится на стоимость программного обеспечения.

– **Интеграция:** позволяют упростить интеграцию с другими приложениями за счет использования *API*.

– **Техническое обслуживание** общее для всех клиентов.

Потенциальные недостатки *multi-tenant*:

– **Ограниченное управление / настройка:** хотя имеются дополнительные преимущества интеграции, пользовательские изменения в базе данных обычно невозможны.

– **Безопасность:** другие клиенты не увидят ваши данные. Однако несколько пользователей могут под-

ключаться к одной базе данных. Этот более широкий доступ снижает контроль над безопасностью.

– Обновления / изменения: интеграция с другими продуктами может вызвать проблемы с подключением приложений [14].

В *Multi-tenancy Data Architecture* системе (рис. 2) представлены три мультитенантные архитектуры уровня данных [15]:

- Независимая база данных.
- Общая база данных, независимая схема.
- Общая база данных, общая схема, общая таблица данных.

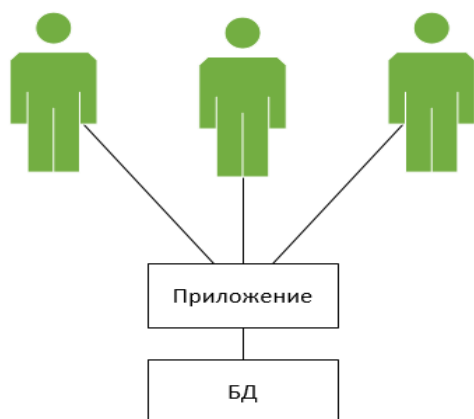


Рисунок 2 – Схема multi-tenancy архитектуры с общей БД

Архитектура типа «Общая база данных, независимая схема» связывает каждого клиента с собственной схемой в рамках одной и той же базы данных. В разных схемах данные между арендаторами невидимы друг для друга.

Это позволяет разделить взаимодействия и их данные между собой. Техническое обслуживание при этом будет общим для всех клиентов сразу.

При этом приложение может быть размещено на нескольких серверах для масштабирования, но экраны пользовательского интерфейса, логика и настройки арендаторов остаются идентичными, так как дублируются в целях отказоустойчивости [5].

Такой подход к организации работы с данными вполне логично вписывается в реализацию информационной системы с обработкой универсального формата данных, в котором маркером различия будет служить отдельно взятая услуга или тип взаимодействия.

Поскольку мультитенантный подход к проектированию архитектуры в данном случае большей частью затрагивает подход к организации хранения данных, было проведено исследование, какая СУБД больше всего подойдет для такой реализации и насколько правильным будет использование мультитенантной архитектуры в межведомственном взаимодействии.

На сегодняшний день в организации единой информационной системы предоставления государственных и муниципальных услуг существуют ряд проблем как инфраструктуры информационных технологий, так и организационных. У многих ведомств нет единых источников аутентичной информации, то есть крайне сложно установить соответствие между классификаторами в рамках различных систем электронного документооборота. В части улучшения организационной структуры взаимодействия целесообразна разработка универсального регламента взаимодействия для нескольких государственных информационных систем [3, 16]. Проведенный анализ видов сведений межведомственного регионального взаимодействия показал наличие разнообразия предоставляемых сведений и их постоянное изменение/обновление. Разработкой видов сведений в основном занимаются компании-подрядчики, которые не заинтересованы в модернизации систем, а только в выполнении своих контрактов. Поэтому перспективна разработка универсального формата передачи данных, которая позволяет передавать любые сведения через один разработанный формат.

Для обеспечения его работы необходима соответствующая программная поддержка, обеспечивающая одновременную работу по нескольким взаимодействиям как в рамках различных систем, так и одновременно в рамках различных взаимодействий. Такое взаимодействие сможет обеспечить мультитенантный подход к реализации архитектуры, который позволит изолированно обслуживать разных пользователей, в рамках одного сервиса. Поскольку основополагающей частью мультитенантной архитектуры является реализация на уровне данных, в рамках исследования был проведен обзорный анализ СУБД. По рейтингу популярности баз данных в пятерку наиболее используемых входят следующие СУБД (рис. 3): *Oracle, MySQL, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Mongo DB* [17].

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Feb 2022	Jan 2022	Feb 2021			Feb 2022	Jan 2022	Feb 2021
1.	1.	1.	Oracle +	Relational, Multi-model	1256.83	-10.05	-59.84
2.	2.	2.	MySQL +	Relational, Multi-model	1214.68	+8.63	-28.69
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server +	Relational, Multi-model	949.05	+4.24	-73.88
4.	4.	4.	PostgreSQL +	Relational, Multi-model	609.38	+2.83	+58.42
5.	5.	5.	MongoDB +	Document, Multi-model	488.64	+0.07	+29.69
6.	6.	↑ 7.	Redis +	Key-value, Multi-model	175.80	-2.18	+23.23
7.	7.	↓ 6.	IBM Db2	Relational, Multi-model	162.88	-1.32	+5.26
8.	8.	8.	Elasticsearch	Search engine, Multi-model	162.29	+1.54	+11.29
9.	9.	↑ 11.	Microsoft Access	Relational	131.26	+2.31	+17.09
10.	10.	↓ 9.	SQLite +	Relational	128.37	+0.94	+5.20

Рисунок 3 – Рейтинг популярности баз данных [17]

Дополнительные подробные исследования взаимодействия взаимодействия и организации хранения данных проводились для *MySQL* и *PostgreSQL* и показали, в свою очередь, эффективность использования multi-tenancy архитектуры для разработки нагруженных систем межведомственного регионального взаимодействия, а также преимущества выбора СУБД *PostgreSQL* по сравнению с СУБД *MySQL*.

Для определения полного функционала программного обеспечения системы межведомственного

взаимодействия на стороне ведомства, которая предназначена для отправки межведомственных сообщений, учета сообщений различных типов (поставщик / клиент / рассылка), ранжирования поступивших сообщений по дате и времени приема, ранжирования отправленных сообщений по времени и дате отправки, фильтрации сообщений по коду взаимодействия, фильтрации сообщений по коду ведомства, с которым идет взаимодействие, было выполнено объектно-ориентированное моделирование в нотации *UML* и разработана диаграмма вариантов использования (рис. 4).

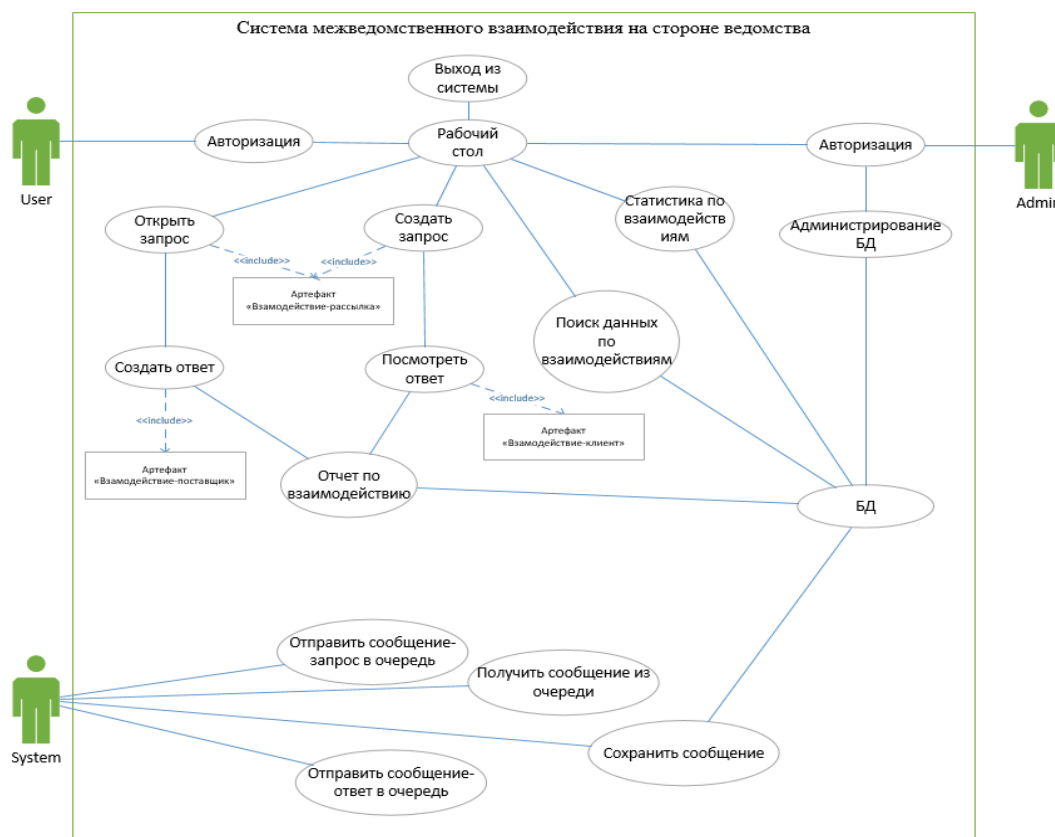


Рисунок 4 – Диаграмма вариантов использования для системы межведомственного взаимодействия на стороне ведомства

В результате анализа модели прецедентов были выделены функциональные требования к системе. Таким образом, система должна обеспечивать:

- вход в систему для разных категорий пользователей;
- многопользовательский режим работы;
- регистрацию новых пользователей;
- удаление пользователей;
- возможность изменения статуса пользователя;
- просмотр данных взаимодействия;
- создание запроса к другому ведомству;
- просмотр ответа от ведомства;
- просмотр запроса от другого ведомства;
- добавление ответа другому ведомству;
- передачу запросов и ответов между ведомствами;
- поиск по взаимодействиям с фильтрацией;
- просмотр полного списка взаимодействий;
- возможность администрирования системы для пользователей типа «Администратор»;

- запись данных в БД;
- отображение сообщений о возникших ошибках в системе;
- выход из системы с сохранением данных для всех категорий пользователей.

Далее представлены сценарии ключевых вариантов использования системы «Создание запроса к поставщику» и «Просмотр ответа от поставщика» в виде диаграмм последовательностей (рис. 5, 6).

Для реализации выделенного функционала системы и в соответствии с исследованиями формата, определяющего структуру сообщения в блоке данных запроса, разработана модель базы данных.

Описание с указанием имен, назначения, типов и ограничений значений полей представлено в таблице 1.

Схема физической модели данных для схемы «messages» в формате СУБД *PostgreSQL* представлена на рисунке 7.

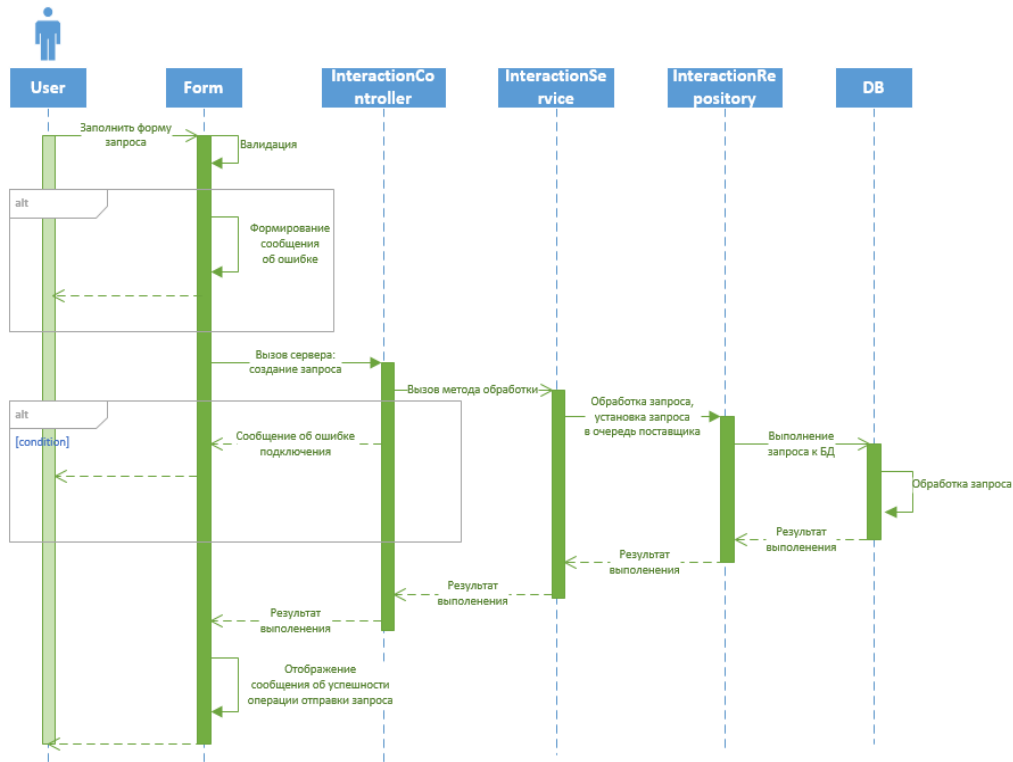


Рисунок 5 – Диаграмма последовательностей для прецедента «Создание запроса к поставщику»

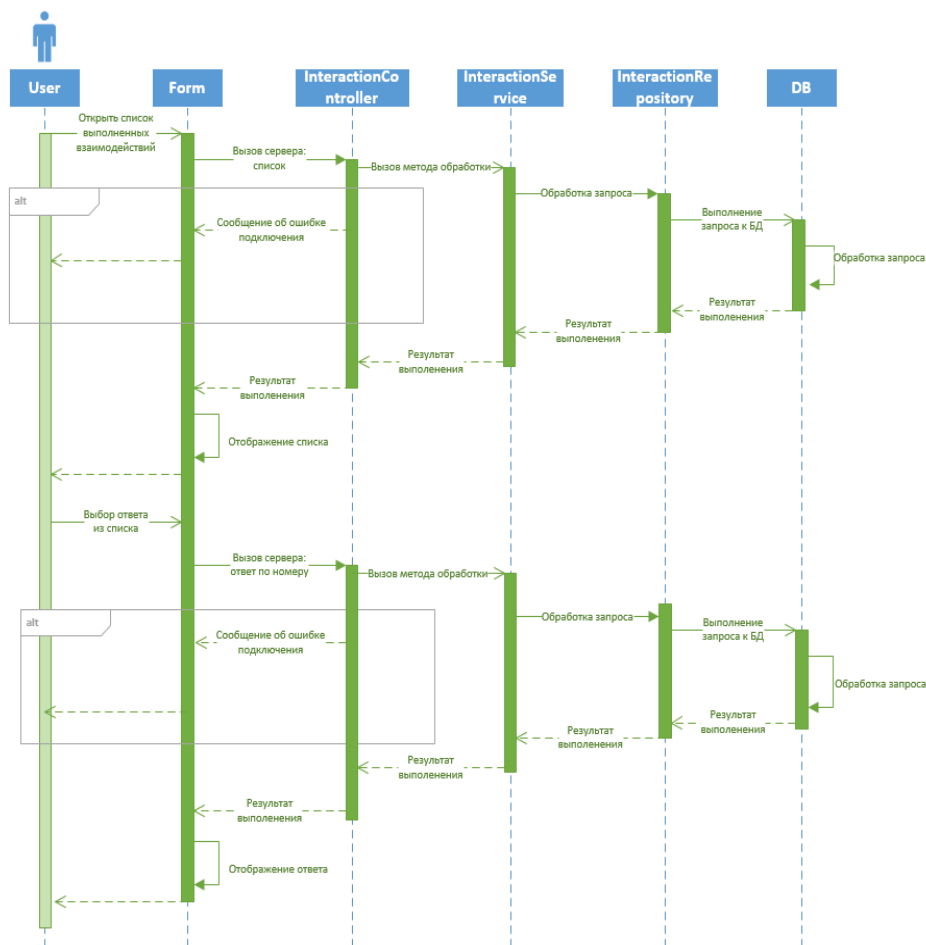


Рисунок 6 – Диаграмма последовательностей для прецедента «Просмотр ответа от поставщика»

Таблица 1 – Описание полей таблиц модели данных для схемы «messages»

Название	Назначение	Тип	Ограничение
interaction (Взаимодействие)			
id	Первичный ключ	long	
reduction_id	Внешний ключ: идентификатор вида сведений	long	
type	Тип сообщения (запрос / ответ)	Строка до 20 символов	REQUEST RESPONSE
consumer_code	Идентификатор системы отправителя запроса	Строка	≤50
producer_code	Идентификатор системы получателя запроса	Строка	≤50
record_date	Дата записи	currentdate()	timestamp
client_number	Номер взаимодействия на клиенте	Строка	≤20
reduction (Вид сведения)			
id	Первичный ключ	long	
ServiceCode	Код вида сведений	Строка	≤50
ServiceName	Наименование вида сведений	Строка	≤5000
type	Тип взаимодействия	Строка до 20 символов	CONSUMER PRODUCER BROADCAST
attachment (приложенные файлы)			
id	Первичный ключ	long	
interaction_id	Внешний ключ: идентификатор взаимодействия	long	
file_name	Наименование файла	Строка	≤255
code_document	Код файла	Строка	≤50
attachment	Файл	Byte[]	
interaction_parameters (Параметры сообщения)			
parameters_key	Первичный ключ	Строка	≤100
parameters	Значение параметра	Строка	≤5000
interaction_id	Внешний ключ: идентификатор взаимодействия	long	

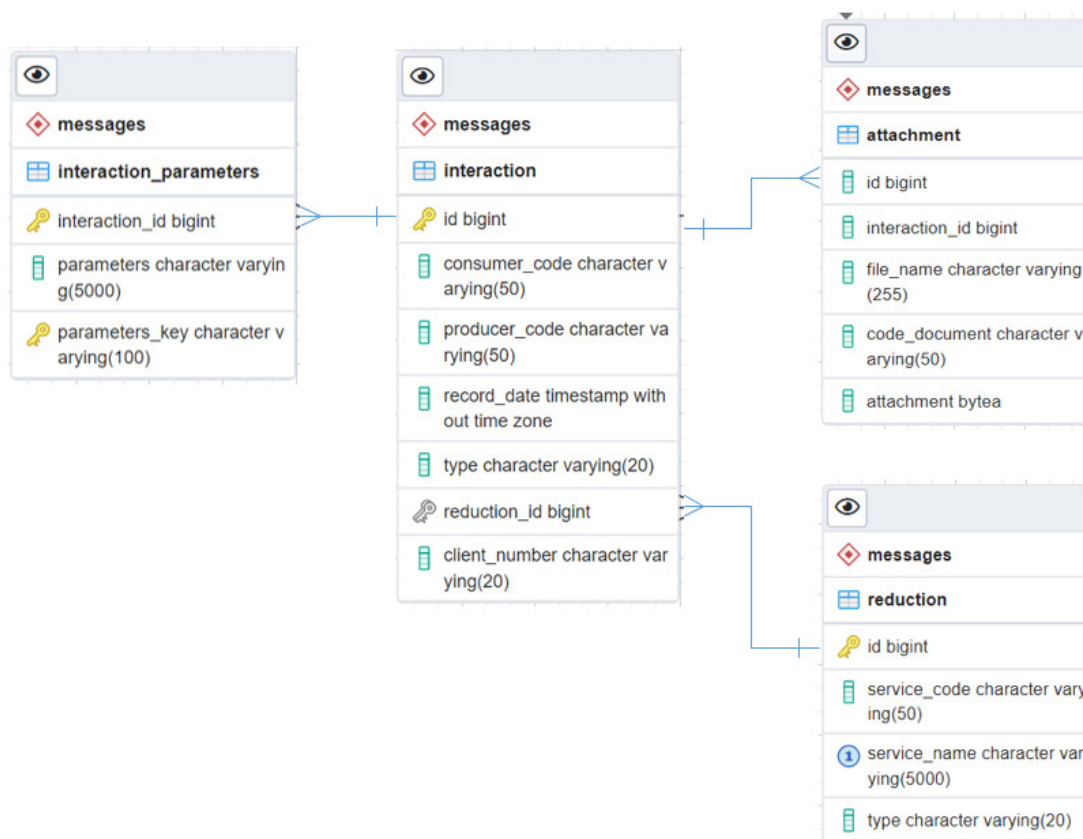


Рисунок 7 – Физическая модель данных для СУБД PostgreSQL

Обсуждение. Автоматизация различных государственных структур происходила в разное время и на различном уровне, и, кроме того, с применением самых разнообразных решений. Поэтому до сих пор вопрос передачи сведений между ведомствами является непростым и требует внимания. Необходимо отметить, не всегда нужные данные можно с легкостью за-

просить и получить, а механизм передачи полностью отлажен. На сегодняшний день утверждено порядка 40 видов сведений для каждого региона для передачи в электронном формате от региональных к федеральным органам власти. Видов сведений, которые федеральные органы власти должны предоставлять в электронном виде региональным органам и органам

местного самоуправления в рамках оказания государственных услуг, в настоящее время больше сотни. Поэтому необходимо, чтобы информационные системы ведомств, обмениваясь всей необходимой информацией, использовали универсальное взаимодействие.

Это означает, что следует различать, запрос какого типа будет отправлен. Для этого в структуре данных предусмотрен определенный перечень полей для передачи в блоке данных запроса, а именно, обязательные элементы *service_name* (Наименование взаимодействия) и *service_code* (Код взаимодействия) в таблице *reduction* (Вид сведения).

Так как несколько информационных систем могут использовать один и тот же вид сведений, то для этого необходимы обязательные элементы *consumer_code* (Код ИС – отправителя запроса) и *producer_code* (Код ИС – отправителя ответа на запрос) таблицы *interaction* (Взаимодействие). Включение этих полей в состав универсального вида сведений позволит производить взаимодействия в рамках табличной маршрутизации, то есть будет обеспечено взаимодействие не только между ИС, являющейся собственником вида сведений, но и между другими системами-участниками данного взаимодействия.

Кроме того, наличие необязательного блока *parameters* в таблице *interaction_parameters* (Параметры сообщения) обеспечит информационным системам-участникам по согласованию между собой передачу перечня параметров и не потребует регистрации нового вида сведений.

Включение таблицы *attachment* (Приложенные файлы) в состав структуры данных необходимо для описания файлов, входящих в блок вложений для сведений. В нем могут передаваться как отдельные файлы, так и *zip*-архивы, причем файлы могут быть структурированными (*xml*), так и неструктурированными (*doc*, *pdf*, *txt* и др.). При этом передача структурированных файлов является еще одним вариантом обеспечения передачи информации между информационными системами.

Разработанное серверное приложение для работы с пользователями в системе ведомственного взаимодействия является отдельным программным продуктом и при необходимости запускается на операционных системах *Windows* и *Linux* с предустановленным пакетом *JDK 11*.

Выводы. Для реализации серверной части приложения целесообразно применять мультитенантную архитектуру с общей базой данных и разными схемами под отдельные взаимодействия, поскольку такой подход к организации работы с данными отвечает требованиям к реализации информационной системы с обработкой универсального формата данных, в котором маркером различия будет служить отдельно взятая услуга или тип взаимодействия. Представленные объектно-ориентированные модели системы явились основой для формирования требований к функционалу и перечня пользователей, а также источником для определения в дальнейшем состава и структуры клас-

сов при разработке программного обеспечения. Разработанная структура информационного обеспечения реализует работу системы с универсальным форматом вида сведений, программное обеспечение которой велось в среде разработки *IntelliJ IDEA* компании *JetBrains* [18]. Положительным эффектом данной разработки является сокращение организационных работ по взаимодействию (регистрация и тестирование новых форматов), единовременная регистрация и тестирование одного универсального формата обмена данными. При возникновении необходимости передачи новых видов данных не требуется изменение формата обмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Совершенствование государственного управления: [портал административной реформы]. – URL: <http://www.admreforma.ru>. (дата обращения: 30.09.2022).
2. Кефели И.Ф., Мальмберг С.А. Информационный потенциал государства как основа информационного суверенитета // Управленческое консультирование. – 2019. – №1 (121). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnyy-potentsial-gosudarstva-kak-osnova-informatsionnogo-suvereniteta> (дата обращения: 30.05.2022).
3. Костина С.Н. Организация предоставления государственных и муниципальных услуг: учеб. пособие / С.Н. Костина, Г.А. Банных, Л.И. Воронина; [под общ. ред. С.Н. Костиной]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 123 с. [Электронный ресурс] – URL: https://elar.ufu.ru/bitstream/10995/78091/1/978-5-7996-2668-6_2019.pdf (дата обращения: 30.05.2022).
4. Мальмберг С.А. Сущность информационного потенциала государства // Сборник статей по материалам VII Международной научно-практической конференции Инновации в науке и практике (28 апреля 2018 г., г. Барнаул). В 5 ч. Ч. 5. Уфа: Дендра, 2018. – С. 111-115.
5. Мицкевич Л.А. Представление публичных услуг как вид государственного управления // Публичные услуги: правовое регулирование (российский и зарубежный опыт). М.: Волстер Клувер, 2007. – 461 с. [Электронный ресурс] – URL: <https://mylektsii.ru/2-60539.html> (дата обращения: 04.09.2022).
6. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [офиц. сайт]. – URL: <http://minsvyaz.ru>. (дата обращения: 30.09.2022).
7. Постановление Правительства РФ от 08.09.2010 N 697 (ред. от 24.06.2021) "О единой системе межведомственного электронного взаимодействия" (вместе с "Положением о единой системе межведомственного электронного взаимодействия") (дата обращения: 30.09.2022).
8. Постановление Правительства РФ от 19 ноября 2014 г. N 1222 "О дальнейшем развитии единой системы межведомственного электронного взаимодействия" (ред. от 20.11.2018) (дата обращения: 30.09.2022).
9. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 313 (ред. от 02.06.2022) "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Информационное общество" (дата обращения: 30.09.2022).
10. Система межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ) [Электронный ресурс] // Портал Tadviser. Государство. Бизнес. Технологии. – 2022. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Система_межведомственного_электронного_взаимодействия_\(СМЭВ\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Система_межведомственного_электронного_взаимодействия_(СМЭВ)) (дата обращения: 30.09.2022).
11. Sagi Rodin. Multi-Tenancy Trends in SaaS Applications [Электронный ресурс] // Frontegg. – 2021. URL: <https://frontegg.com/blog/multi-tenancy-trends-in-saas-applications> (дата обращения: 30.09.2022).
12. Lydia Pert. Single-Tenant Vs. Multi-Tenant Cloud Services [Электронный ресурс] // OpenVPN. – 2019. URL: <https://openvpn.net/blog/single-tenant-vs-multi-tenant-cloud-services/> (дата обращения: 30.09.2022).
13. Multitenancy and Google App Engine (GAE) Java [Электронный ресурс] // CoderLessons.com. – 2018. URL: <https://>

coderlessons.com/articles/veb-razrabotka-articles/multitenancy-i-google-app-engine-gae-java (дата обращения: 30.09.2022).

14. Oro Team. Single- vs Multi-Tenant: Everything You Need to Know About Cloud Application Environments [Электронный ресурс] // OroCommerce. – 2022. URL: <https://oroinc.com/b2b-ecommerce/blog/single-tenant-vs-multi-tenant/> (дата обращения: 30.09.2022).

15. Microsoft. Multi-Tenant Data Architecture. [Электронный ресурс] // Microsoft. – 2022. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/microsoft-365/education/deploy/design-multi-tenant-architecture> (дата обращения: 30.09.2022).

16. Пономарева Т.А., Супрягина М.С. Качество услуг: качественные параметры оценки [Электронный ресурс] // Маркетинг в России и за рубежом. – 2005. – № 1. – URL: <http://www.mavriz.ru/articles/2005/1/3539.html> (дата обращения: 30.09.2022).

17. DB-Engines Ranking [Электронный ресурс] // 2022. URL: <https://db-engines.com/en/ranking> (дата обращения: 30.09.2022).

18. IntelliJ IDEA: Функциональная и эргономичная IDE для профессиональной разработки на Java, Scala, Kotlin и других языках. [Электронный ресурс] // JetBrains. – URL: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/idea/> (дата обращения: 30.09.2022).

Статья поступила в редакцию 10.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 658.5.011

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0003

ОСОБЕННОСТИ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИИ 4.0 – ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРЕПЯТСТВИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ

© Авторы 2022

ORCID: 0000-0002-5920-3633

КЛИМОВА Наталья Александровна, магистрантка

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: natashaklimova1996@mail.ru)

SPIN-код: 4787-8777

AuthorID: 665599

ORCID: 0000-0002-1300-943X

ResearcherID: H-2986-2018

ЧЕКАЙКИН Сергей Васильевич, кандидат технических наук,

заведующий кафедрой «Техническое управление качеством»

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: cheksv@mail.ru)

SPIN-код: 9705-8113

AuthorID: 959084

ORCID: 0000-0003-2526-1699

НАЗАРОВА Инна Таджидиновна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техническое управление качеством»

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: uncate@yandex.ru)

Author ID РИНЦ: 647979

Author ID Scopus: 57222150264

Researcher ID WoS: B-4525-2019

ORCID: 0000-0003-3227-0884

SPIN: 5471-2269

ЗИМНЯКОВ Владимир Михайлович, доктор экономических наук,

профессор кафедры «Переработка сельскохозяйственной продукции»

Пензенский государственный аграрный университет

(440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, д. 30, e-mail: zimnyakov.v.m@pgau.ru)

Аннотация. С момента введения термина «Индустрия 4.0» в 2011 году цифровая трансформация, необходимая для Индустрии 4.0, сразу же привлекла внимание промышленников и правительств во всем мире. Большинство стран мира сталкиваются с трудностями производства большого количества товаров из ограниченных и исчерпаемых природных ресурсов для удовлетворения постоянно растущего потребительского спроса во всем мире с первой промышленной революцией в 18 веке из-за экологических и жизненно важных проблем. Таким образом, влияние Индустрии 4.0 на стабильность и то, как она способствует устойчивому экономическому, экологическому и социальному развитию, привлекают все больше и больше внимания. Сегодня Индустрия 4.0 – это цифровизация всех промышленных и потребительских рынков, от интеллектуальных производственных систем до всех каналов сбыта. Цифровая трансформация предполагает цифровизацию и интеграцию всей цепочки создания стоимости жизненного цикла продукта. Индустрия 4.0 – это технологическая концепция, способствующая устойчивости бизнеса в современных условиях. Индустрия 4.0 меняет организацию, бизнес-модели, продукты, цепочки поставок и стратегии компаний. Индустрия 4.0 позволяет компаниям быть более динамичными и гибкими за счет интеграции людей, машин и данных. В настоящее время такие страны, как Германия, Соединенные Штаты Америки, Индия, Китай, Япония, Великобритания и Бразилия, разрабатывают политику внедрения Индустрии 4.0. Однако адекватность и внедрение технологий Индустрии 4.0 могут быть трудными как для представителей отдельных отраслей, так и для стран в целом. Целью данной статьи является освещение основных преимуществ и препятствий на пути внедрения Индустрии 4.0 на основе изучения основных работ, касающихся исследования перспектив развития Индустрии 4.0. Были изучены работы Радж А., Да Силвы в части описания основных препятствий для Индустрии 4.0. Последние исследования в области преимуществ и приложения принципов Индустрии 4.0 изучались по работам Броцци Р. Т Бючи Г.

Ключевые слова: индустрия 4.0, киберфизическая система, промышленные, революция, технологии, автономные работы, моделирование, аналитика.

FEATURES OF THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT – BENEFITS AND OBSTACLES TO IMPLEMENTATION

© The Author(s) 2022

KLIMOVA Natalya Alexandrovna, student
CHEKAYKIN Sergey Vasilyevich, candidate of technical sciences,
head of the department "Technical Quality Management"
NAZAROVA Inna Tajiddinovna, candidate of technical sciences
docent of the department "Technical Quality Management"
Penza State Technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11,
e-mails: natashaklimova1996@mail.ru, cheksv@mail.ru, uncate@yandex.ru)
ZIMNJAKOV Vladimir Michailovich, doctor of echnomical sciences
professor of the department "Processing of agricultural products"
Penza State Agrarian University
(440014, Russia, Penza, Botanicheskaya st., 30, e-mail: zimnyakov.v.m@pgau.ru)

Abstract. Since the introduction of the term Industry 4.0 in 2011, the digital transformation required for Industry 4.0 has immediately captured the attention of industry and governments around the world. Most of the world's countries face the challenge of producing more goods from limited and exhaustible natural resources to meet the ever-increasing consumer demand around the world since the first industrial revolution in the 18th century due to environmental and vital concerns. Thus, the impact of Industry 4.0 on sustainability and how it contributes to sustainable economic, environmental and social development is gaining more and more attention. Today, Industry 4.0 is the digitalization of all industrial and consumer markets, from smart manufacturing systems to all distribution channels. Digital transformation involves the digitalization and integration of the entire value chain of the product life cycle. Industry 4.0 is a technological concept that contributes to the sustainability of business in today's environment. Industry 4.0 is changing the organization, business models, products, supply chains and strategies of companies. Industry 4.0 enables companies to be more dynamic and agile by integrating people, machines and data. Currently, countries such as Germany, the United States of America, India, China, Japan, the United Kingdom and Brazil are developing policies to implement Industry 4.0. However, the adequacy and implementation of Industry 4.0 technologies can be difficult both for representatives of individual industries and for countries as a whole. The purpose of this article is to highlight the main advantages and obstacles to the implementation of Industry 4.0 based on the study of the main works related to the study of the prospects for the development of Industry 4.0. The works of Raj A., Da Silva were studied in terms of describing the main obstacles to Industry 4.0. Recent research on the benefits and application of the principles of Industry 4.0 has been studied through the work of Brozzi R. T Buchi G.

Keywords: industry 4.0, cyber-physical system, industrial, revolution, technology, autonomous work, modeling, analytics.

Для цитирования: Климова Н.А. Особенности концепции Индустрии 4.0 – преимущества и препятствия при внедрении / Н.А. Климова, С.В. Чекайкин, И.Т. Назарова, В.М. Зимняков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 26-32. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0003.

Введение. Внедрение смарт-технологий в производственную среду выявило Индустрию 4.0 как четвертую промышленную революцию. Индустрия 4.0 представляет собой бизнес-среду, в которой машины, устройства, сотрудники и корпоративные системы связаны через киберфизические системы и Интернет. Технологии, обеспечивающие Индустрию 4.0, значительно улучшают качество продукции и услуг, предоставляемых фирмами с самостоятельными и динамичными производствами. Эти технологические инновации сделали устойчивую работу ключевой особенностью умных фабрик, обеспечивая эффективное использование ресурсов.

Индустрия 4.0 – это новая парадигма, которая глубоко меняет взаимодействие человека и машины в производственной среде. Индустрия 4.0 – это новая производственная концепция, направленная на интеграцию промышленной автоматизации и новых производственных технологий для улучшения условий труда, повышения производительности и качества. Фирмы могут развиваться с помощью Индустрии 4.0, увеличивая свою гибкость и прибыльность,

улучшая взаимодействие техники, продуктов, цепочек поставок и клиентов, а также используя расширенные возможности систем для принятия решений. Вполне вероятно, что с использованием Интернета вещей, киберфизических систем и облачных вычислений будет достигнут недостижимый ранее уровень операционной производительности.

Формулировка «Индустрия 4.0» впервые было использовано на Ганноверской ярмарке в 2011 году. Индустрия 4.0 была принята правительством Германии в 2013 году как стратегическая попытка произвести революцию в обрабатывающей промышленности. В последнее время растет интерес к Индустрии 4.0 из-за многочисленных преимуществ, которые она предоставляет производственным предприятиям. Индустрия 4.0 определяется как четвертая промышленная революция.

Этапы промышленных революций можно увидеть в таблице 1.

Индустрия 4.0 – это высокоразвитые операции по автоматизации и оцифровке, а также использование информационных технологий и электроники в сфере

услуг и производства. Индустрия 4.0 позволяет сделать заводы более гибкими, интеллектуальными и динамичными за счет оснащения производственной среды автономными системами и датчиками. Индустрия 4.0 обеспечивает вертикальную и горизонтальную интеграцию добавленной стоимости на этапе производства. Производственный процесс

в Индустрии 4.0 требует большего количества микрочипов, датчиков и автономных систем из-за быстрого развития технологий. Интеграционная структура, которая выражает взаимодействие Индустрии 4.0 с цифровыми технологиями, такими как машины, люди, датчики и автоматизация, можно увидеть на рисунке 1.

Таблица 1 – Этапы промышленных революций

Первая промышленная революция	Вторая промышленная революция	Третья промышленная революция	Четвертая промышленная революция
Развитие гидроэнергетики и паровой энергетики	Внедрение технологий массового производства с использованием электрической энергии	Применение электронных систем и информационных технологий для повышения автоматизации производства	Использование киберфизических систем



Рисунок 1 – Интеграционная структура взаимодействия Индустрии 4.0 с цифровыми технологиями

Технологии, лежащие в основе концепции «Индустрия 4.0», направлены на снижение затрат, повышение гибкости, повышение скорости и улучшение качества продукции. Принцип оцифровки Индустрии 4.0 и данные датчиков, полученные из физической среды, открывают очень важные возможности для оптимизации производственных процессов. Использование промышленной робототехники, автоматизации и аддитивного производства для развития принципа модульности Индустрии 4.0 способствует созданию гибкой и децентрализованной производственной среды, которая эффективно адаптируется к постоянно меняющимся потребностям клиентов.

Если распространение Индустрии 4.0 не будет географически однородным, это отрицательно скажется на экономически и социально неблагополучных странах. В результате такой ситуации разрыв

между развитыми и развивающимися странами будет постепенно увеличиваться. Очень важно указать преимущества и препятствия в применении Индустрии 4.0, чтобы устранить этот разрыв между странами и равномерно распределить Индустрию 4.0. В этом статье предприняты попытки объяснить преимущества Индустрии 4.0 и барьеры на пути ее реализации.

Методология. В большинстве интернет-энциклопедий указано, что индустрия 4.0 может быть выражена как сочетание различных новых концепций и новых технологий, таких как большие данные, интеллектуальные датчики, робототехника, облачные вычисления, машинное обучение, дополненная реальность, искусственный интеллект и Интернет вещей. Передовые технологии, включенные в Индустрию 4.0, позволяют реструктурировать все производственные системы путем преобразования

централизованных и аналоговых рабочих процессов в децентрализованные и цифровые производственные операции. Индустрия 4.0 – это революция, которая позволяет общаться между людьми и машинами с помощью автоматизированных систем, таких как облачные вычисления, киберфизические системы, Интернет вещей и т. д.

Основные элементы Индустрии 4.0 описаны в работах Чофии [5] как облачные вычисления, киберфизическую систему, интернет вещей, дополненную реальность, 3D-принтеры, искусственный интеллект и машинное обучение, моделирование, анализ больших данных и автономные роботы.

Основные составляющие Индустрии 4.0 приведены ниже.

Киберфизическая система. Киберфизические системы – это технологии преобразования для управления системами, взаимосвязанными между физическим присутствием и вычислительными возможностями. В современных промышленных приложениях киберфизические системы интегрированы с производством, логистикой и услугами, что позволяет преобразовать сегодняшние заводы в завод Индустрии 4.0 со значительным экономическим потенциалом.

Интернет вещей. В последнее время развитие беспроводных технологий привело к появлению новой парадигмы, называемой Интернетом вещей. Интернет вещей применяется во многих областях, таких как здравоохранение, интеллектуальное строительство, логистика и окружающая среда. Благодаря Интернету вещей у предприятий есть возможность собирать и анализировать очень разные и большие объемы данных, которые они могут использовать для развития своей производственной деятельности.

Трехмерные принтеры (аддитивное производство). Аддитивное производство выражается в объединении материалов в трехмерных принтерах в виде слоев для создания объектов из трехмерных данных.

Облачные вычисления. Технологии облачных вычислений предоставляют услуги вычислений, хранения и сети на целых объектах в системе Интернета вещей. Модели частных облачных сервисов не являются приемлемым вариантом для малого и среднего бизнеса, поскольку создание центров обработки данных и наем технического персонала требует больших затрат. Тем не менее, крупные и транснациональные компании предпочитают технологии частных облачных вычислений для обеспечения безопасности, защиты конфиденциальности информации, борьбы с кражей промышленной информации и получения конкурентного преимущества.

Дополненная реальность. Технологии дополненной реальности (AR) помогают промышленному персоналу во время сложных процессов, таких как сложные промышленные продукты, сборка/разборка машин и критически важных систем. Технологии дополненной реальности позволяют отслеживать

рабочих и машины во время операций, а также мгновенно вносить изменения или уведомления, чтобы свести к минимуму ошибки. Промышленная дополненная реальность – один из фундаментальных элементов концепции промышленной оцифровки, которая накладывает цифровую информацию и связывает сотрудников с физическим миром.

Искусственный интеллект и машинное обучение. Искусственный интеллект и машинное обучение – это технологическая революция для компаний в разных секторах. Вместе с методами машинного обучения искусственного интеллекта он позволяет автоматизировать производственный процесс, повышая производительность, эффективность, оптимизируя производственные затраты и уменьшая количество ошибок. Сегодня развитие машинного обучения как направления искусственного интеллекта идет достаточно быстро. В последнее время использование машинного обучения получило широкое распространение в таких областях, как интеллектуальное производство, медицина, фармакология, сельское хозяйство, археология и так далее.

Автономные роботы. В наше время роботизированные технологии используются в различных областях, таких как производство, транспорт, электронная коммерция и здравоохранение. В настоящее время эти роботы наконец-то начали взаимодействовать друг с другом, слаженно и безопасно работать с операторами, оказывать поддержку операторам. Ожидается, что в будущем эти роботы станут более экономичными и будут иметь больше возможностей и функций, чем используемые в настоящее время модели.

Аналитика больших данных. Аналитика больших данных – это технологии и методы, используемые для извлечения неизвестной и достоверной информации из различных приложений для анализа крупномасштабных и сложных данных. По этой причине аналитика больших данных включает в себя экосистему сложных, взаимосвязанных и многоуровневых сетей с высокой пропускной способностью, пользователей, приложений и сервисов, необходимых для хранения, визуализации, обработки и доставки результатов из различных источников данных в целевые приложения.

Моделирование. Моделирование широко используется в бизнес-моделях для моделирования реальной рабочей среды в виртуальной экосистеме с использованием доступных данных в реальном времени. Данные, собранные и обработанные из больших данных и облачных систем, можно использовать в виртуальной модели для анализа всех возможных ситуаций, связанных с разработкой, исследованием и производством продукта. Предприятия могут видеть риски, время настройки, затраты, которые могут возникнуть в бизнес-процессах, и вносить улучшения в будущие операции и услуги с помощью моделирования.

Результаты. Индустрия 4.0 имеет большое преи-

мущество в ускорении производства с более высокой производительностью и меньшими затратами. Она создает интеллектуальную промышленную среду. Индустрия 4.0 направлена на разработку и модернизацию производственных технологий путем интеграции физических систем завода с киберфизическими системами, Интернетом вещей и облачными вычислениями. Интегрированная структура помогает отслеживать движение людей, машин, материалов и аналогичные параметры и процессы посредством связи в режиме реального времени и позволяет делать умные выводы.

Возможности Индустрии 4.0 можно разделить на шесть основных категорий. Это: гибкость производства, возникающая при производстве небольших партий, большая производительность, скорость серийных прототипов, более высокое качество продукции и меньшее количество брака, более низкие затраты на настройку и меньшее количество ошибок и простоев оборудования, а также улучшение отношения клиентов к продукту. Преимущества Индустрии 4.0 представлены далее. Это: инновации, эффективная глобализация, оптимальное использование ресурсов, бесперебойный поток продуктов, эффективный непрерывный мониторинг в режиме реального времени, эффективное энергопотребление, автономное управление, большая гибкость для удовлетворения самых последних изменений в последнюю минуту, безопасное облачное хранилище и надежное резервное копирование.

Индустрия 4.0 может предоставить возможности для социальной и экологической устойчивости помимо экономических преимуществ. Также к преимуществам внедрения Индустрии 4.0 можно отнести: сокращение ошибок, управление логистикой, экономия времени, снижение нагрузки партнеров, снижение затрат, сокращение рабочей силы, устойчивость, уменьшение воздействия на окружающую среду.

Несмотря на многочисленные преимущества технологий Индустрии 4.0, существуют некоторые препятствия в их применении. Барьеры на пути внедрения Индустрии 4.0 можно классифицировать как отсутствие управленческой поддержки, финансовые ограничения, сопротивление изменениям, юридические проблемы, отсутствие опыта, отсутствие государственной политики и поддержки, недостаточные методы исследований и разработок, отсутствие инфраструктуры, отсутствие цифровых технологий.

Радж А. и др.[7] изучили барьеры на пути применения технологий Индустрии 4.0 в производственной отрасли как в развитых, так и в развивающихся странах. В ходе исследования 15 барьеров были оценены с использованием методов реляционного анализа. Выявленные барьеры: необходимость больших вложений при приложении Индустрии 4.0, отсутствие уверенности в экономической выгоде, риск нарушения безопасности, сложность интег-

рации, нерегулярность, низкий уровень качества желаемой технологии, сбой в существующем бизнесе, отсутствие стандартов, правил и сертификации формы, отсутствие инфраструктуры, трудности с обеспечением качества данных, отсутствие цифровых навыков, внутренняя цифровая культура и отсутствие обучения, неэффективное управление изменениями, сопротивление изменениям и нехватка ресурсов, а также отсутствие цифровой стратегии. Такие препятствия, как отсутствие цифровой стратегии и нехватка ресурсов являются наиболее важным барьерами как в развитых, так и в развивающихся странах.

Да Силва и др. [6] описали иные барьеры реализации Индустрии 4.0. Это были: отсутствие государственного регулирования и политики, слабая технологическая инфраструктура фирм, путаница технологий, отсутствие специализированных и диверсифицированных поставщиков, плохое организационное управление, отсутствие знаний с междисциплинарной точки зрения, отсутствие методологических процессов для принятия концепции Индустрии 4.0, понимания фирмами и поставщиками потенциальных выгод и сотрудничества между организациями, внутреннего сопротивления организационным изменениям, нехватки квалифицированной рабочей силы, новых навыков и потребностей в обучении, финансовой неопределенности в отношении инвестиций, отсутствия финансовой инфраструктуры, безопасности данных.

Также выделяют такие барьеры в применении Индустрии 4.0 как краткосрочные корпоративные цели, недостаточное законодательство и контроль, недостаточная осведомленность об Индустрии 4.0, отсутствие управления отходами и неэффективная структура производительности.

Важно отметить, что независимо от выявленных препятствий, преимущества несут в себе огромные возможности как для развития бизнеса, так и для развития целых промышленных кластеров и даже стран.

Обсуждение. В статье отмечено, что важными преимуществами Индустрии 4.0 в ее применении являются: гибкость производства, эффективность, улучшение качества, бесперебойный поток продукции, оптимальное использование ресурсов, снижение затрат и ошибок, устойчивое развитие, ускоренный рост предприятия, экономия времени, инновации и повышение удовлетворенности клиентов. И эти преимущества эффективно используются в России. Правительством сформирован технологический трек «Технет», который призван обсуживать ожидаемую в 2025 – 2035 гг. промышленную революцию.

Наиболее важные барьеры при внедрении Индустрии 4.0: правовые проблемы, недостаточная практика исследований и разработок, отсутствие инфраструктуры, отсутствие цифровой культуры, нехватка ресурсов, отсутствие государственных

постановлений и политик, низкое качество данных, слабая технологическая инфраструктура компаний, плохое организационное управление, внутреннее сопротивление организационным изменениям, отсутствие квалифицированной рабочей силы, потребности в новых навыках и обучении, финансовая неопределенность в отношении возврата инвестиций. Поэтому предполагается, что промышленная цифровизация в России в ближайшее время будет носить скачкообразный характер и повлияет главным образом на технологию управления производством.

Развитые и развивающиеся страны должны приложить больше усилий для облегчения применения Индустрии 4.0. При оценке с этой точки зрения понятно, что компании должны использовать новые технологии вместе с Индустрией 4.0, чтобы добиться успеха в этом секторе. Предприятия должны разрабатывать стратегии для удовлетворения потребности в квалифицированных кадрах в технологических компонентах Индустрии 4.0, таких как облачные вычисления, искусственный интеллект, машинное обучение. Более того, понятно, что интеграция информации, машин, людей и технологий имеет большое значение для успешного применения Индустрии 4.0.

Выводы. Рассмотренные и систематизированные в данной работе преимущества и препятствия при внедрении концепции Индустрии 4.0 позволяют прогнозировать дальнейшее развитие развитых и развивающихся стран с точки зрения цифровизации, прогнозировать изменения в конкурентоспособности, производительности и технологической мощности того или иного бизнеса. Можно сделать вывод о большой заинтересованности концепцией Индустрии 4.0 на государственном уровне в таких странах как США, Германия, Китай, Япония. В Российской Федерации также существует технологический трек «Технет» и государственная программа «Цифровая экономика 2024», целью создания которых является минимизация рисков, которые неизбежно возрастут в бизнесе и технологическом кластере в период новой промышленной революции.

Сегодня многие предприятия хотят применять технологические и организационные инновации. Технологические разработки, такие как Интернет вещей, машинное обучение, моделирование и облачные вычисления, позволяют создавать решения для нужд клиентов. Развитие предприятий представляет собой сложный и динамичный процесс, интегрированный между человеком и машиной. Технологии Индустрии 4.0 обеспечивают повышение качества продукции. Помимо удобства, которое она обеспечивает в приложении, Индустрия 4.0 приносит компаниям несколько серьезных сложностей с точки зрения технологического, организационного и управленческого характера. Определение преимуществ и барьеров в реализации Индустрии 4.0 очень важно для устойчивости предприятий в глобальной конкурентной среде. Исследование по-

может компаниям и организациям в будущем при внедрении Индустрии 4.0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андерл, Р. *Industrie 4.0* – передовая разработка интеллектуальных продуктов и интеллектуального производства. Материалы 19-го Международного семинара по высоким технологиям, Пирасикаба /Бразилия, 9 октября 2014 г. – С. 1-15.
2. Броцци, Р., Форти, Д., Раух, Э., и Мэтт, Д.Т. Преимущества приложений Индустрии 4.0. Устойчивое развитие: результаты выборки компаний-производителей. 12(9). – С.1-19. <https://doi.org/10.3390/su12093647>
3. Бючи, Г., Куньо, М., и Кастаньоли, Р. Производительность умного завода и Индустрия 4.0. Технологическое прогнозирование и социальные изменения, 150. – С. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
4. Чалмета, Р., и Сантос-деЛеон, Нью-Джерси (2020) Устойчивая цепочка поставок в эпоху Индустрии 4.0. Большие данные: систематический анализ литературы и исследований. – 12(10). – С. 1-24. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019039022>
5. Чоффи Р., Травальони М., Писцителли Г., Петрилло А. и Феличе Ф.Д. Искусственный интеллект и приложения машинного обучения в интеллектуальном производстве: прогресс, тенденции и направления. – 12(2). – С. 1-26. <https://doi.org/10.3390/su12020492>
6. Да Силва, В.Л., Ковалески, Дж.Л., Пагани, Р.Н., Де Матос Силва, Дж., и Корси, А. Реализация концепция Индустрии 4.0 в компаниях: эмпирические данные, Международный журнал компьютерного интегрированного производства, 33(4). – С.325-342. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1699258>
7. Радж, А., Дживеди, Г., Шарма, А., Джаббур, АБЛС, и Раджак, С. Барьеры для принятия технологии индустрии 4.0 в производственном секторе: межстрановой сравнительный анализ. Международный журнал экономики производства, 224. – С. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.1075468>
8. Розин Ф., Форжет П., Ламури С. и Пеллерин Р. Влияние технологий Индустрии 4.0 на бережливое производство принципы. Международный журнал производственных исследований, 58(6). – С. 1644-1661, DOI: 10.1080/00207543.2019.1672902
9. Шафик С.И., Санин С. и Щербицкий Э. (2020) Виртуальное моделирование и имитация производственные процессы для Индустрии 4.0. Кибернетика и системы, 51(2). – С. 84-102. <https://doi.org/10.1080/01969722.2019.1705546>
10. Сильвейра Ф.Д., Нето И.К., Сантос, Б.М.Д. Гаспаретто, RMDO, Мачадо, Ф.М. Родригес, Р.С.С. и Амарал, Ф.Г. (2021). Перспективы Индустрии 4.0 в секторе здравоохранения Бразилии. Независимый журнал менеджмента и производства (IJM&P). – 12(1). – С. 1-14. DOI: 10.14807/ijmp.v12i1.1289
11. Тарасов И.В., Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития. Журнал Стратегия бизнеса, 6(50), 2018. <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya/viewer>
12. Ван Кеменаде, Э., и Харджоно, Т.В. Тотальное управление качеством двадцать первого века: Эмерджентная парадигма. Журнал TQM, 31(2). – С. 150-166. 2019. <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2018-0045>.
13. Барбоза, Ф.М., Гамби, Л.Д.Н., и Джероламо, М.К. Лидерство и управление качеством: исследование взаимосвязи между моделями лидерства и принципами управления качеством. Журнал Управление и производство 24(3). – С. 438-449. – 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2278-16>.
14. Макфадден, К.Л., Сток, Г.Н., и Гоуэн, Ч.Р. Лидерство, климат безопасности и постоянное улучшение качества: влияние на качество процесса и безопасность пациентов. Обзор управления здравоохранением, 40(1). – С. 24-34. – 2015. <http://dx.doi.org/10.1097/HMR.000000000000006>. PMID:24566246.
15. Насименто, А.П., Оливейра, М.П.В., Ладейра, М.Б., и Занкетто, Х.Ф. Точки перехода: восхождение к зрелости систем управления качеством Журнал Управление и производство, 23(2). – С. 250-266. – 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2222-15>.
16. Насименто, А.П., Валадарес, М.П., и Занкетто, Х.

Зрелость систем управления качеством как конструкции второго порядка. Журнал Управление и технологии, 13(3) – С. 23-50. – 2013. <http://dx.doi.org/10.20397/2177-6652/2013.v13i3.483>.

17. Кросби, Ф. Качество бесплатно. Нью-Йорк: Макгроу-Хилл. 1979

18. Аволио, Б., и Басс, Б. Многофакторный опросник лидерства (MLQ). Вашингтон: Американская психологическая ассоциация. 1995

19. Кук-Дэвис, Т., и Арзиманов, А. Зрелость управления проектами в различных отрасли: исследование различий между моделями управления проектами. Международный журнал управления проектами, 26(1). – С. 471-478. – 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00084-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00084-4).

20. Международный стандарт ISO 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования https://ntp-ts.ru/upload/iblock/b0d/standart-iso-9001_2015.pdf

Статья поступила в редакцию 02.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.75+004.052

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0004

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВСТРАИВАЕМЫХ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

© Автор 2022

SPIN: 5470-1289

AuthorID: 650911

ORCID: 0000-0002-3358-4394

МАРТЫШКИН Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Программирование»

*Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: mai@penzgtu.ru)*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения надежности встраиваемых реконфигурируемых вычислительных систем. Целью данной работы является разработка методика выбора метода синтеза и исследования модели встраиваемой системы. Выполнен обзор области и предмета исследования, определена ее актуальность. Определено понятие надежности системы и приведены существующие методы технической диагностики цифровых устройств, среди которых выделены визуальные методы и электрическое тестирование. Предметом исследования настоящей статьи является процесс определения критериев, которые влияют на выбор методов разработки моделей компонентов и формализация процесса выбора конкретного метода. Рассмотрены основные составляющие надежности и методы ее повышения. Рассмотрены методы создания моделей для проведения технической диагностики и определены основные требования и качества этих методов. Проведена формализация системы выбора методов на основании их требований и качеств, определенных в исследовании. Предложенная в статье методика развивает общую методологию разработки моделей цифровых модулей как процесса обеспечения надежности встраиваемых систем, что в свою очередь позволит проводить быструю оценку применимости методов разработки моделей компонентов системы для осуществления тестирования согласно набору критериев и осуществить выбор оптимального метода. В заключении сформулированы основные выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: безотказность, встраиваемые системы, долговечность, компонент, модель, надежность, реконфигурируемые вычислительные системы, ремонтпригодность, сохраняемость, язык описания аппаратуры.

ON THE ISSUE OF ENSURING THE RELIABILITY OF EMBEDDED RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEMS

© The Author 2022

MARTYSHKIN Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent,
head of sub-department «Programming»

*Penza state technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: mai@penzgtu.ru)*

Abstract. The article discusses the issues of ensuring the reliability of embedded reconfigurable computing systems. The purpose of this work is to develop a methodology for selecting a synthesis method and researching an embedded system model. An overview of the field and subject of the study is carried out, its relevance is determined. The concept of system reliability is defined and the existing methods of technical diagnostics of digital devices are given, among which visual methods and electrical testing are highlighted. The subject of this article is the process of determining the criteria that influence the choice of methods for developing component models and formalizing the process of choosing a specific method. The main components of reliability and methods of its improvement are considered. Methods of creating models for technical diagnostics are considered and the main requirements and qualities of these methods are determined. The formalization of the method selection system based on their requirements and qualities defined in the study was carried out. The methodology proposed in the article develops a general methodology for developing models of digital modules as a process of ensuring the reliability of embedded systems, which in turn will allow for a quick assessment of the applicability of methods for developing models of system components for testing according to a set of criteria and to select the optimal method. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

Keywords: reliability, embedded systems, durability, component, model, reliability, reconfigurable computing systems, maintainability, persistence, hardware description language.

Для цитирования: Мартышкин А.И. К вопросу обеспечения надежности встраиваемых реконфигурируемых вычислительных систем / А.И. Мартышкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 33-37. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0004.

Введение. Понятие надежности любой системы, в том числе и реконфигурируемой вычислительной системы (РВС), включает в себя совокупность дополняющих друг друга терминов, среди которых безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, каждое из которых имеет определенный набор характеристик [1-7]. Согласно этому, немаловажным параметром для обеспечения надежности РВС является время их обслуживания и восстановления для обслуживаемых и восстанавливаемых систем, что входит в определение ремонтпригодности.

Растущая сложность встраиваемых РВС [8, 9] оказывает негативное влияние на данные показатели надежности. Для противодействия негативному влиянию сложности систем на ремонтпригодность активно применяются различные технологии, включающие внутрисхемное сканирование, граничное сканирование, функциональное тестирование при соответствующей методической организации применения технологий. Одной из активно применяемых технологий является интерфейсное сканирование посредством специальных аппаратно-программных комплексов контроля на основании тестовых наборов. Данные тестовые наборы можно получить с использованием реального объекта контроля, либо его модели. Использование реальных объектов контроля ограничено в связи с вероятностью их повреждения, а также недоступностью объектов контроля на этапе разработки теста. По этим причинам распространена разработка тестовых наборов методом исполнения цифровых моделей объектов контроля в среде симуляции под воздействием входных тестовых векторов.

Цель данной работы – разработка методики выбора метода синтеза и исследования модели встраиваемой системы. В статье предприняты попытки решения следующих задач:

1. Провести анализ основных составляющих надежности и методов ее повышения, связанных с тестированием и диагностикой.

2. Предложить методику выбора метода синтеза и исследования модели встраиваемой системы.

Методология. Имеются различные пути получения моделей реальных РВС, однако в статье область исследования ограничена процессом построения схемы из HDL моделей компонентов согласно документации, что связано с необходимостью получения сведений о протекающих в РВС процессах для определения степени покрытия РВС тестом и локализации неисправности, следующей за определением ее наличия.

Поскольку модели компонентов зачастую оказываются недоступны, требуется их разработка, при этом разработка моделей компонентов со сложной, либо изменяемой логикой функционирования, таких как микропроцессоры, элементы программируемой логики и т.д., бывает несколько затруднена.

Предметом исследования является определение критериев, влияющих на выбор методов разработки моделей компонентов и формализация процесса выбора данного метода.

Согласно ГОСТ 27.002-89 [1] в понятие надежности в общем случае входят следующие составляющие:

1. Безотказность.
2. Долговечность.
3. Ремонтпригодность.
4. Сохраняемость.

Термины безотказность и долговечность относятся к состоянию, при котором объект способен выполнять заданные функции, т.е. активному, работоспособному состоянию с соблюдением необходимых допусков по характеристикам.

Сохраняемость характеризует способность объекта к сохранению характеристик при хранении.

Ремонтпригодность характеризует пригодность аппаратуры для обслуживания, диагностики и ремонта.

В настоящее время применяются следующие методы технической диагностики цифровых устройств [10, 11]:

- визуальные методы: автоматическая оптическая инспекция; автоматическая рентгеновская инспекция;
- электрическое тестирование: внутрисхемное тестирование при помощи поля контактов или «летающих щупов»; внутрисистемное тестирование методом JTAG [12]; функциональное тестирование методом интерфейсного сканирования [13-14].

Визуальные методы предназначены для выявления структурных нарушений, возникших при производстве и эксплуатации аппаратуры, таких как наплывы припоя, микротрещины.

Электрические методы применяются для выявления проблем монтажа, а также неисправностей элементов аппаратуры, связанных с их некорректным функционированием по причине электрических повреждений, исчерпания ресурса и т.д.

Тестирование при помощи поля контактов, либо «летающих щупов» позволяет провести снятие показаний с большого числа точек схемы, однако на данный момент их использование затруднено в связи с активным использованием многослойных плат и BGA-компонентов, не имеющих доступных для подключения в диагностических целях точек [15-17].

Тестирование при помощи JTAG является одним из наиболее эффективных видов диагностики аппаратуры, однако требует реализации соответствующих аппаратных возможностей в элементной базе. На данный момент далеко не вся аппаратура оснащена данным интерфейсом. Особенно это касается до сих пор находящейся в эксплуатации старой аппаратуры, требующей повышенного внимания с точки зрения диагностики вследствие износа [18-19].

Далее речь пойдет о методе интерфейсного тестирования, как об одном из наиболее универсальных и доступных для реализации, однако требующего довольно сложных методических подходов для обеспечения достаточной эффективности. Интерфейсный метод диагностики относится к функциональным динамическим методам диагностики оборудования и подразумевает разбиение входов тестируемой ап-

паратуры на типовые входные интерфейсы согласно выполняемым функциям и внутренней структуре аппаратуры и подготовку соответствующих тестовых наборов. При диагностике интерфейсным методом объект контроля подключается к автоматизированному тестовому оборудованию под управлением персонального компьютера, посредством которого на него подаются предварительно подготовленные входные вектора и снимаются выходные реакции, которые сравниваются с ожидаемыми выходными реакциями. По этим реакциям определяется наличие неисправностей и, при возможности, диагностируется их причина. Дальнейшая диагностика может быть связана со снятием сигналов на контрольных точках объекта контроля и их анализом.

Есть несколько методов получения ожидаемых выходных реакций:

1. С использованием эталонного объекта контроля.
2. С использованием диагностической модели.

На данный момент первый способ имеет ограниченное применение в связи с возможностью повреждения объекта контроля и недостаточной доступностью

объектов контроля на этапе разработки теста. Второй способ лишен этих недостатков, но требует разработки модели объекта контроля с последующей ее верификацией [20].

Используемая методика осуществления тестирования требует построение электронных цифровых моделей объектов контроля на языке *Verilog HDL*. Модель цифрового модуля представляется системой, которая характеризуется информацией, представленной на рисунке 1, из которого можно резюмировать, что при правильно синтезированной системе корректность функционирования модели напрямую зависит от правильности применяемых в модели модулей компонентов. Случается, что *HDL*-модели компонентов не всегда доступны. Возникают ситуации, когда составляющие устройство компоненты представляются «черными ящиками», для которых есть описание логики функционирования и образования выходных сигналов в ответ на конкретные входные сигналы. В этом случае можно написать собственную *HDL*-реализацию модели на любом из доступных языков описания аппаратуры (*VHDL*, *Verilog* и т.п.).



Рисунок 1 – Представление модели цифрового модуля

Компоненты со сложной логикой функционирования являются частными случаями при синтезе моделей. Наиболее характерные для данных компонентов свойства: множество различных подсистем, память, содержащая исполняемые коды программ, разветвленный автомат состояний. Для моделирования таких компонентов можно применять ряд подходов, среди которых синтез полной модели компонента на функциональном уровне. В этом случае реализуется компонентная модель, которая максимально соответствует документации на компонент. Условия, характерные для применения данного метода: наличие подробной документации; для корректной симуляции требуется полный функционал компонента.

Кроме того, для моделирования компонентов со сложной логикой функционирования возможно применять метод синтеза усеченной (неполной) модели, который предполагает, что функционал компонента объекта контроля анализируется на избыточность с точки зрения ограниченности использования функций микропрограммой, планируемой к применению при тестировании объекта контроля, либо ограничений, накладываемых прин-

ципальной схемой. Данный анализ позволяет отказаться от реализации неволеванной части функционала и упростить реализацию модели.

Условия, характерные для применения данного метода: наличие подробной документации; число воздействий на компонент, либо используемых функций компонента ограничено.

Непосредственно внутри самой модели фиксируется последовательно подаваемый на выходы при изменениях входных сигналов массив значений, позволяющий протестировать работу компонентов, расположенных после моделируемого, при этом для реального компонента разрабатывается тестовая микропрограмма, реализующая выдачу данной последовательности, при этом изначальная логика функционирования реального компонента подменяется тестовой. Характерные для применения данного метода условия: имеется документация на программирование компонента; возможно программирование компонента, т.е. конфигурирование его собственным управляющим программным кодом.

Результаты. Методика выбора метода синтеза и исследования модели. Проведем формализацию рассмотренных подходов. Вектором D обозначим

множество путей, необходимых для синтеза компонентной модели:

$$D = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n\}, \quad (1)$$

где n – число допустимых альтернатив.

При отсутствии для исследования РВС необходимой синтезированной модели и потребности ее создания, имеется набор альтернатив, который может расширяться в частных случаях. В общем случае имеются следующие основные альтернативы:

δ_1 – полная модель;

δ_2 – независимая модель.

Конкретный альтернативный вариант выбирается согласно некоторым условиям U :

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}, \quad (2)$$

где k – количество условий;

u_1 – необходима полная модель;

u_2 – имеется вся требуемая документация;

u_3 – ограничено число воздействий на модель;

u_4 – допускается изменение микропрограммы для компонента;

u_5 – допускается снятие входных сигналов и необходимых реакций компонента;

u_6 – оборудование доступно во время тестирования.

При необходимости приведенный выше список возможных условий вполне можно уточнить и расширить, добавив нужные условия.

Приведем выражения для аналитического описания методики выбора способа синтеза модели. Для общего случая имеем:

$$M_1 = u_1 \& u_2; \quad (3)$$

$$M_2 = u_2 \& u_3; \quad (4)$$

$$M_3 = u_2 \& u_4; \quad (5)$$

$$M_4 = u_3 \& u_5 \& u_6 \quad (6)$$

где M_i – i -функция выбора δ_i альтернативы для компонента. Логическая 1 дает понять, что i -ю альтернативу вполне возможно реализовать.

Чтобы определить и выбрать единственную альтернативу синтеза модели выстроим в приоритетном порядке и представим в виде системы уравнений:

$$M_i = \bigcap_{j=1}^{i-1} \overline{M_j} \& M_i \quad (7)$$

Частным случаем решения этих уравнений будут выражения, представленные ниже:

$$M_1 = \overline{M_1} \& u_1 \& u_2; \quad (8)$$

$$M_2 = \overline{M_1} \& M_2 = \overline{M_1} \& u_2 \& u_3; \quad (9)$$

$$M_3 = \overline{M_1} \& \overline{M_2} \& M_3 = \overline{M_1} \& \overline{M_2} \& u_2 \& u_4; \quad (10)$$

$$M_4 = \overline{M_1} \& \overline{M_2} \& \overline{M_3} \& M_4 = \overline{M_1} \& \overline{M_2} \& \overline{M_3} \& u_3 \& u_5 \& u_6, \quad (11)$$

где M_i – функция выбора δ_i альтернативы для компонента. Логическая 1 означает, что i -я альтернатива оптимальна для реализации.

Приведенная методика позволит проводить оценку применимости методов разработки моделей компонентов системы для осуществления тестирования согласно набору критериев и осуществить выбор оптимального метода.

Обсуждение. Итак, в работе приведен достаточ-

но информативный обзор области исследования. Рассмотрены базовые составляющие надежности и способы ее повышения. Проведена формализация системы выбора методов на основании их требований и качеств. Проведенное исследование позволило представить методику выбора метода синтеза и исследования модели РВС. Представленная методика позволяет проводить тестирование согласно набору критериев и осуществлять выбор наиболее оптимального для конкретных условий метода.

Выводы. По результатам исследований, представленных в статье, можно сделать выводы. Проведен подробный обзор области исследования, определено понятие надежности системы, показаны известные методы диагностики цифровых устройств, среди которых особо отмечены визуальные методы и электрическое тестирование. В статье описаны базовые составляющие надежности и показаны методы ее повышения. Приведены основные методы создания моделей для проведения диагностики и определены базовые требования и качества этих методов. Проведена формализация системы выбора методов на основании их требований и качеств, определенных в исследовании. Предложенная методика развивает общую методологию разработки моделей цифровых модулей как процесса обеспечения надежности встраиваемых систем, что в свою очередь позволит проводить быструю оценку применимости методов разработки моделей компонентов системы для осуществления тестирования согласно набору критериев и осуществить выбор оптимального метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.11.89 № 3375: дата введения 1990-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004984> (дата обращения: 24.10.2022). – Текст: электронный.
- Ширяев М.В., Андреева О.Н. Направление повышения надежности специального программного обеспечения встраиваемых систем // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014. – № 2 (3). – С. 176-183.
- Ширяев М.В., Лавров К.Ю., Андреева О.Н. Совершенствование способа повышения надежности специального программного обеспечения встраиваемых систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 5. – С. 38-45.
- Соловьев Ю.И., Сальников В.Ю. Методы контроля встраиваемых систем управления и прилегающего оборудования на примере корабельной системы управления // Радиопромышленность. – 2018. – № 2. – С. 94-98.
- Генринович Е.Л., Волошин А.А. Надежность цифровых решений в электроэнергетике // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 6 (75). – С. 98-100.
- Мельник Э.В., Клименко А.Б., Иванов Д.Я., Гандурин В.А. Мультиагентный метод повышения надежности реконфигурируемых сетевых информационно-управляющих систем с кластеризацией на основе репликации данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 9 (194). – С. 53-63.
- Юрков Н.К. Современное состояние исследований в области создания высоконадежной бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Надежность и качество сложных систем. – 2021. – № 4 (36). – С. 5-12.
- Мартышкин А.И. Исследование математических моделей реконфигурируемых вычислительных систем

для цифровой обработки сигналов: монография. Пенза: Издательство Пензенского государственного технологического университета, 2022. – 172 с.

9. Горшков Б.М., Самохина Н.С., Бобровский Н.М., Полянсков Ю.В., Худобин Л.В., Савельев А.В., Епифанов В.В., Денисенко А.Ф. Обзор исследований в области реконфигурируемых производственных систем // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 21. – № 5 (91). – С. 52-56.

10. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26.12.89 № 4143; дата введения 1991-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481> (дата обращения: 23.10.2022). – Текст: электронный.

11. Как тестировать электронику на производстве: анализ современных технологий / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/promwad/blog/185356/> (дата обращения: 25.09.2022).

12. IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture. IEEE Std. 1149.1 – 2001.

13. Степанов Ю.Л. Обеспечение адекватности моделей электронных цифровых модулей при создании контролируемых тестов // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и студентов магистерской подготовки ОАО «Авангард», вып. 4. СПб.: ОАО «Авангард», 2012. – С. 229–240.

14. Белова Н.С., Брейман А.Д. Модели и методы оценки характеристик надежности систем встраиваемых баз данных // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. – 2009. – № 17. – С. 86-97.

15. Камкин А., Чупилко М. Обзор современных технологий имитационной верификации аппаратуры // Программирование. – 2011. – № 3. – С. 42–49.

16. Машин Д.А., Белов С.А., Нехорошев В.В., Горшков Б.М. Аналитический обзор технических решений существующих автоматических производственных систем для исследования методов обеспечения надежности // Синергетика природных, технических и социально-экономических систем. – 2017. – № 14. – С. 132-135.

17. Мистрюков Д.В., Горшков Б.М. Аналитический обзор технических решений рабочих позиций гибких производственных систем // Наука – промышленности и сервису. – 2015. – № 10. – С. 56-58.

18. Правитель А.С., Мамбеталиев Н.А. Применение ПЛИС с динамической реконфигурацией для создания отказоустойчивой системы на кристалле // Перспективы развития информационных технологий. – 2014. – № 22. – С. 61-66.

19. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Экспериментальное исследование опытного образца реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала на базе ПЛИС // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-2. – С. 313-316.

20. Чупилко М.М. Динамическая верификация цифровой аппаратуры на основе формальных спецификаций: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.13.11/ Чупилко Михаил Михайлович; Институт системного программирования Российской академии наук. Москва, 2012. – 24 с.

**Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 21-71-00110, [https://
rscf.ru/project/21-71-00110/](https://rscf.ru/project/21-71-00110/).**

Статья поступила в редакцию 05.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.891:681.5

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0005

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 9941-2749

AuthorID: 850287

ORCID: 0000-0001-6050-6781

ResearcherID: Y-7691-2018

ScopusID: 57223090853

ТИХОНОВ Мартин Робертович, кандидат технических наук, доцент института СПИНТех

Московский институт электронной техники «МИЭТ»

(124482, Россия, Москва, город Зеленоград, 352-23, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru)

SPIN: 1482-1952

AuthorID: 1167947

ORCID: 0000-0001-5977-0323

ТИХОНОВ Роберт Робертович, старший преподаватель кафедры Экономики, Менеджмента и Финансов

Московский институт электронной техники «МИЭТ»

(124482, Россия, Москва, город Зеленоград, 352-23, e-mail: expert-economist@mail.ru)

SPIN: 3862-5922

AuthorID: 501959

ORCID: 0000-0002-1226-8018

АКУЛЕНОК Марина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент института СПИНТех

Московский институт электронной техники «МИЭТ»

(124482, Россия, Москва, город Зеленоград, 340-152, e-mail: amv@s2q.ru)

Аннотация. При построении экспертных систем, в том числе обеспечивающих выполнение задач обнаружения предвестников отказов, могут быть использованы различные функции принадлежности. К общепринятым относятся следующие функции: треугольная, трапециевидная, Гауссова, сигмоидальная, Z-образная, S-образная, линейная Z-образная, линейная S-образная, U-образная и синглтонная. В данной статье рассмотрены общепринятые функции и оценена их точность на основе сопоставления и расчета функции разброса по экспертным данным. Функции сгруппированы в зависимости от положения терма, принадлежность к которому они описывают. Проведен сравнительный анализ функций принадлежности и выбраны обеспечивающие большую точность (минимальное значение функции разброса) для граничных и центральных термов. Используемая функция разброса схожа с функцией квадратичного отклонения и представляет собой сумму модуля разностей значений в точках. Применен расчет разброса для нескольких точек, выбираемых с шагом, достаточным для установления графика функции. Представлена графическая интерпретация данных по экспертным значениям и их корреляции с значениями типовых функций принадлежности.

Ключевые слова: экспертная система, отказ, индикаторный показатель, предвестники отказов, функции принадлежности, сравнительный анализ, автоматизированное управление.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEMBERSHIP FUNCTION FOR PROBLEMS OF DETECTING PRECURSORS OF FAILURES

© The Author(s) 2022

TIKHONOV Martin Robertovich, candidate of technical sciences, associate professor of the SPINTEch institute

TIKHONOV Robert Robertovich, senior lecturer of the Department «Economics, Management and Finance»

AKULYONOK Marina Viktorovna, candidate of technical sciences,

associate professor, associate professor of the SPINTEch institute

National Research University of Electronic Technology «MIET»

(124482, Russia, Moscow, Zelenograd, 352-23,

e-mails: kurotenshi91@yandex.ru, expert-economist@mail.ru, amv@s2q.ru)

Abstract. When building expert systems, including those that ensure the fulfillment of the tasks of detecting failure precursors, various membership functions can be used. Common functions include the following: triangular, trapezoidal, Gaussian, sigmoidal, Z-shaped, S-shaped, linear Z-shaped, linear S-shaped, U-shaped and singleton. In this article, the generally accepted functions are considered and their accuracy is estimated based on comparison and calculation of the scatter function according to expert data. The functions are grouped according to the position of the term they describe. A comparative analysis of membership functions has been carried out and those providing greater accuracy (the minimum value of the scatter function) for boundary and central terms have been chosen. The scatter function used is similar to the square deviation function and is the sum of the modulus of the differences in the values at the points. Scatter calculation is applied for several points selected with a step sufficient to establish the graph of the function. A graphical

interpretation of data on expert values and their correlation with the values of typical membership functions is presented.

Keywords: expert system, failure, indicators, failure precursors, membership functions, comparative analysis, automated control.

Для цитирования: Тихонов М.Р. Сравнительный анализ функций принадлежности для задач обнаружения предвестников отказов / М.Р. Тихонов, Р.Р. Тихонов, М.В. Акуленок // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 38-41. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0005.

Введение. При построении экспертных систем могут быть использованы различные функции принадлежности, задающие зависимость значений и вероятности их принадлежности к термам. Каждая из этих функций описывает свой тип неопределённости: «приблизительно равно», «среднее значение», «расположен в интервале», «подобен объекту», «похож на предмет», «малое количество», «небольшое значение», «большое количество», «большое значение», «значительная величина», «приблизительно в пределах от и до», «примерно равно», «около» или другие. Однако для выбора функции принадлежности при решении задач обнаружения предвестников отказов данной информации недостаточно. Существует необходимость в проведении сравнительного анализа функций с экспертными знаниями, которые в последующем будут заложены в саму экспертную систему.

Методология. Целью данной работы является выбор функций принадлежности для задач обнаружения предвестников отказов в составе автоматизированной системы управления.

В общей практике применяются следующие функции принадлежности [1-6]:

- треугольная: $\mu(x; a, b, c) = \{0, x \leq a; (x-a)/(b-a), a \leq x \leq b; (c-x)/(c-b), b \leq x \leq c; 0, c \leq x\}$;
- трапециевидная: $\mu(x; a, b, c, d) = \{0, x \leq a; (x-a)/(b-a), a \leq x \leq b; 1, b \leq x \leq c; (d-x)/(d-c), c \leq x \leq d; 0, d \leq x\}$;
- Гауссова: $\mu(x; a, b) = e^{-[x-a]^2/(2b^2)}$;
- сигмоидальная: $\mu(x; a, b, c) = 1/(1+e^{(b[x-a+c])})$;
- Z-образная: $\mu(x; a, b) = \{1, x < a; 1/2 + 1/2 \cdot \cos((x-a)/(b-a) \cdot \pi), a \leq x \leq b; 0, b < x\}$;
- S-образная: $\mu(x; a, b) = \{0, x < a; 1/2 + 1/2 \cdot \cos((x-b)/(b-a) \cdot \pi), a \leq x \leq b; 1, b < x\}$;
- линейная Z-образная: $\mu(x; a, b) = \{1, x \leq a; (b-x)/(b-a), a < x < b; 0, b \leq x\}$;
- линейная S-образная: $\mu(x; a, b) = \{0, x \leq a; (x-a)/(b-a), a < x < b; 1, b < x\}$;
- П-образная: $\mu(x; a, b, c) = 1/(1+(x-c/a)^2(2b))$;
- синглтонная: $\mu(x; a) = \{1, x = a; 0, x \neq a\}$.

Данные функции в рамках решаемых задач можно разделить на:

- а) двусторонние, имеющие изменение значения принадлежности с двух сторон графика:
 - треугольная;
 - трапециевидная;
 - Гауссова;
 - П-образная;
- б) левосторонние, имеющие изменение значения принадлежности с правой стороны:
 - линейная Z-образная;
 - Z-образная;

- сигмоидальная;
- в) правосторонние, имеющие изменение значения принадлежности с левой стороны:
 - линейная S-образная;
 - S-образная;
 - сигмоидальная;
- г) единственного значения, имеющие принадлежность только одного значения:
 - синглтонная.

При определении предвестников отказа и построении соответствующей экспертной системы необходимо для выбранных показателей (индикаторные показатели процесса [7-10]: $C_p, C_{pU}, C_{pL}, C_{pk}, C_R, P_p, P_{pU}, P_{pL}, P_{pk}, P_R, P_s, P_d, P_n, P_{dR}, P_{nR}, P_{mR}$) выбрать двустороннюю функцию принадлежности для центральных термов, левостороннюю для левого терма и правостороннюю для правого терма. В связи с этим необходимо провести сравнительный анализ представленных выше функций.

Результаты. Проведён опрос экспертов на предмет выявления степени принадлежности значения индикаторного показателя C_p к:

- третьему терму, как центральному, для последующего анализа треугольной, трапециевидной, Гауссовой и П-образной функций;
- первому терму, как левому, для последующего анализа линейной Z-образной, Z-образной и сигмоидальной функций;
- пятому терму, как правому, для последующего анализа линейной S-образной, S-образной и сигмоидальной функций.

Каждый из экспертов для задач, указанных выше, и для каждого из выбранных значений (набор значений выбирался на основе диапазона и границ терма с шагом, достаточным для определения изменения степени принадлежности значений) обозначал вероятность принадлежности значения к рабочему терму. Сравнение функций принадлежности проводилось на основе функции разброса (разности значений)[11-14]:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |\mu(x_i) - \mu_j(x_i)|$$

где: F – функция разброса (разности значений); n – количество точек оценки; m – количество экспертов; $\mu(x_i)$ – значение функции принадлежности в точке x_i ; $\mu_j(x_i)$ – значение функции принадлежности в точке x_i по мнению j -го эксперта.

Сгруппированные по термам результаты сравнительного анализа и расчёта функции разброса представлены в таблице 1 («Ц» – центральные термы, «Л» – левые термы, «П» – правые термы).

Таблица 1 – Результаты расчета значений функции разброса

Функция «Ц»	F	Функция «Л»	F	Функция «П»	F
Треугольная	1,99	Линейная	1,24	Линейная	0,98
Трапециевидная	3,53	Z-образная	3,91	S-образная	1,92
Гауссова	4,09	S-образная	3,38	Сигмоидальная	2,15
П-образная	5,69	Сигмоидальная			

Графическое представление сравнительного анализа представлено на рисунке 1.

На основе результатов сравнительного анализа функций принадлежности и выбора тех, у которых

значение функции разброса минимально (наибольшая точность), можно сделать вывод о том, что для крайних термов лучшим вариантом является использование линейной Z-образной функции для левых термов, линейной S-образной функции для правых термов, а для центральных термов применение треугольной функции. Термы всех параметров, как входных, так и выходного, могут быть заданы одинаковым набором функций принадлежности, что также упрощает процесс построения экспертной системы обнаружения предвестников отказа [15-20].

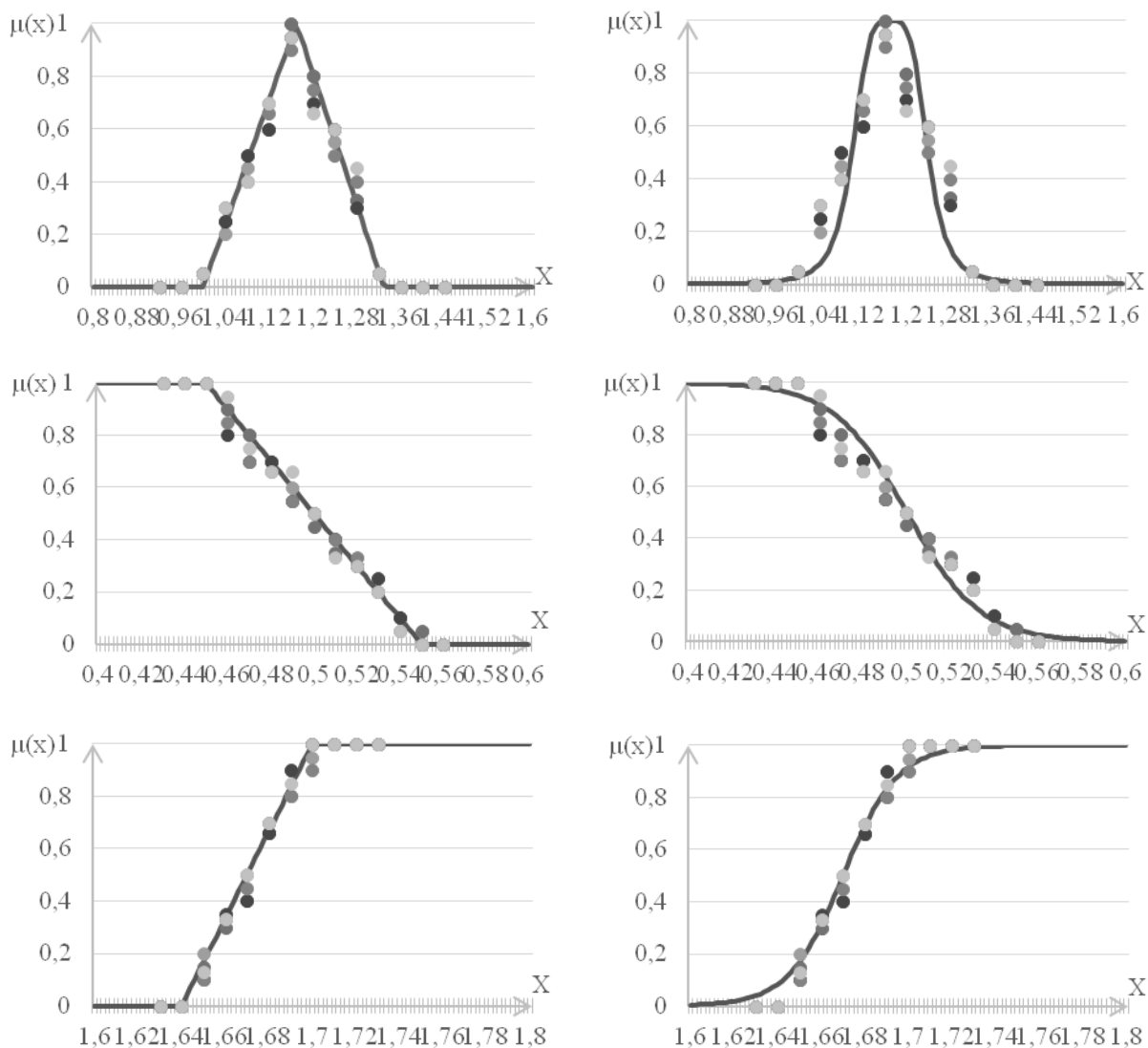


Рисунок 1 – Графики сравнительного анализа функций принадлежности с экспертными данными: треугольная, П-образная, линейная Z-образная, сигмоидальная (левая), линейная S-образная, сигмоидальная (правая)

Обсуждение. Рассмотренные принципы сравнительного анализа на основе сопоставления экспертных данных и типовых функций принадлежности с применением функции разброса могут быть применены для оценки и выбора функций в ориентации на показатели надёжности или показатели теории очередей в зависимости от специфики объекта управления. Выбранные треугольная, линейная Z-образная и линейная S-образная функции применимы для задач определения

предвестников отказов в автоматизированной системе управления и могут составить основу для построения экспертных систем соответствующего направления. Прочие функции принадлежности также могут быть использованы для решения этих задач, но с меньшей точностью, они требуют тщательной настройки параметров, сопряженных с большими затратами средств и времени на разработку экспертной системы.

Выводы. Применение треугольной, линейной

Z-образной и линейной S-образной функции для описания распределения принадлежности параметра к термам в рамках в рамках экспертных систем обнаружения предвестников отказов на основе индикаторных показателей способно составить основу экспертных систем обнаружения предвестников отказов. Рассмотренные в работе принципы могут быть взяты за основу построения таких экспертных систем и прочих специальных и общих программных продуктов, построенных на основе нечёткой логики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дандыбаев С.Т. Нечеткие множества с нечеткими функциями принадлежности // Теория и практика современной науки. – 2021. № 1 (67). – С. 130-133.
2. Котенко И.В. Построение функций принадлежности в задачах нечеткого управления информацией и событиями безопасности / И.В. Котенко, И.Б. Парашук // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. № 1. – С. 126-129.
3. Куличенко Н.С. Формирование функции принадлежности нечеткого множества на основе экспериментальных данных / Н.С. Куличенко, Э.Г. Тахавова // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2020. – № 8. – С. 256-259.
4. Колесников А.В. Построение функций принадлежности лингвистических термов с использованием статистических данных / А.В. Колесников, В.А. Колесников // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. № 2 (56). – С. 245-247.
5. Халидова А.В. Построение функций принадлежности нечетких множеств с использованием пакета моделирования MATLAB / А.В. Халидова, Ш.С. Гусейнзаде // В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. – 2020. – С. 448-451.
6. Котельников Д.К. Преобразования функций принадлежности в алгоритмах нечётко-логического вывода // В сборнике: Интеллектуальные информационные системы: Теория и практика. Сборник научных статей по материалам II Всероссийской конференции. – Курск, 2021. – С. 36-44.
7. Смелов В.Ю. Влияние варибельности системы изменений на оценку качества процессов с помощью индексов воспроизводимости / В.Ю. Смелов, Е.И. Хунузиди, Е.А. Ахметова, В.Л. Шпер // Контроль качества продукции. – 2022. № 5. – С. 45-53.
8. Шпер В.Л. Индексы воспроизводимости процессов - зачем они нужны и как их применять? // Контроль качества продукции. – 2020. № 3. – С. 46-54.
9. Минченко Т.А. Определение индекса воспроизводимости через неопределенность // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Сборник материалов конференции. – Волгоград, 2021. – С. 64-66.
10. Скаков А.С. Анализ показателей индексов воспроизводимости процесса // Тенденции развития современной науки. сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета : в 2 ч.. – Липецк, 2021. – С. 114-116.
11. Пастухов Ю.Ф. Наилучшее приближение ступенчатыми функциями в метрике квадратичного отклонения для плотности распределения Лапласа / Ю.Ф. Пастухов, А.Ю. Пастухов, Д.Ф. Пастухов // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 3-1(61). – С. 39-44.
12. Пантелеева О.Б. Нормальное распределение в экономике / О.Б. Пантелеева, Е.Д. Морозова // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 9-1(38). – С. 256-257.
13. Свитко Я.И. Статистические методы оценки / Я.И. Свитко // Аграрный сектор экономики России: опыт, проблемы и перспективы развития : Материалы всероссийской (национальной) научной конференции, Орел, 16 июня 2021 года / Науч. редактор Е.В. Бураева, сост. Н.В. Польшакова. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2021. – С. 296-300.
14. Ивахненко А.Г. Оптимальное управление при достижении целей в области качества промышленного предприятия / А.Г. Ивахненко, О.В. Аникеева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 4(102). – С. 18-26. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-4-18-26.
15. Севидова Д.О. Влияние формы функций принадлежности термов лингвистических переменных на характеристики нечеткого регулятора / Д. О. Севидова, Е. В. Федорова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2020. – С. 255.
16. Гусейнзаде Ш.С. Моделирование интеллектуальных систем управления с применением модифицированных нечетких раскрашенных сетей Петри / Ш.С. Гусейнзаде // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. – Т. 17. – № 10(196). – С. 30-37. – DOI 10.14489/vkit.2020.10.p.030-037.
17. Горохов Д.А. Оценка влияния функций принадлежности входных переменных системы нечеткого вывода на показатели рисков информационной безопасности / Д.А. Горохов, Е.И. Овчинникова // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 26. – С. 1518-1525.
18. Тиндова М.Г. Разработка алгоритма нечеткой модели оценки произведений искусства / М.Г. Тиндова // Заметки ученого. – 2021. – № 11-2. – С. 91-98.
19. Димитров В.П. Новый подход к оценке привлекательности торговых предприятий / В.П. Димитров, И.Н. Нурутдинова, О.И. Фомочкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 8. – С. 17-22. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-8-17-23.
20. Шатайкина К.А. Оценка неопределенности результатов экспертных оценок при проведении FMEA анализа технических объектов и процессов / К.А. Шатайкина // Современные условия интеграционных процессов в науке и образовании : сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 25 мая 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2022. – С. 104-106.

Статья поступила в редакцию 29.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.021

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0006

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 3058-6290

AuthorID: 16073

ORCID: 0000-0001-5989-3550

ScopusID: 6507688814

ЩЕННИКОВА Елена Владимировна, доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры «Фундаментальная информатика»

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, д. 68, e-mail: schennikova8000@yandex.ru)

SPIN: 5787-0043

AuthorID: 1138644

ORCID: 0000-0001-9872-2367

МАКАРОВ Олег Сергеевич, аспирант

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, д. 68, e-mail: makaroff297991@gmail.com)

Аннотация. В статье предлагается новый подход к улучшению алгоритмов извлечения фона путем интеграции детектора границ с фильтром второй производной в направлении градиента. Четыре основных метода извлечения фона, а именно метод межкадровой разности, метод приближенной медианы, метод скользящего среднего и метод скользящего среднего значения по Гауссу определяют пиксели на границах объектов переднего плана. Однако их нельзя признать удовлетворительными, поскольку они не обеспечивают интенсивность пикселей выше заданного порогового значения, а размер полученного бинарного объекта при извлечении недостаточен. Поэтому для повышения точности обнаружения границ в результате применения указанных методов, а также для восстановления недостающих пикселей необходима фильтрация. Результаты проведенного исследования показали, что объединение фильтра второй производной в направлении градиента с каждым отдельным методом повышает производительность сегментации объектов, что подтверждено анализом среднего показателя точности. Это позволяет утверждать, что предложенный гибридный метод извлечения фона существенно повышает эффективность извлечения фона.

Ключевые слова: извлечение фона, межкадровая разность, приближенная медиана, скользящее среднее, скользящее среднее по Гауссу, фильтр, производная, градиент, сегментация кадра, граница объекта, силуэт, F -балл.

BACKGROUND EXTRACTION METHOD USING THE SECOND DERIVATIVE FILTER IN THE GRADIENT DIRECTION

© The Author(s) 2022

SHCHENNIKOVA Elena Vladimirovna, doctor of physical and mathematical sciences,
professor of «Fundamental Informatics»

MAKAROV Oleg Sergeevich, post-graduate student

Mordovian State University

(430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya street, 68,

e-mails: schennikova8000@yandex.ru, makaroff297991@gmail.com)

Annotation. The paper proposes a new approach to improve traditional background extraction algorithms by integrating a boundary detector with a second derivative filter in the gradient direction. The four main methods of background extraction, namely the inter-frame difference method, the approximate median method, the moving average method and the Gaussian moving average method determine pixels at the boundaries of foreground objects rather unsatisfactorily. The pixel intensity is less than the specified threshold value, and the size of the resulting binary object is smaller when extracted. Therefore, to improve the detection of borders after applying these methods of background extraction, as well as to restore the missing pixels, the filter proposed above is introduced. The results showed that combining the second derivative filter in the gradient direction with each elementary method improves the performance of object segmentation. This was confirmed by the analysis of the average percentage of accuracy. Thus, it was concluded that the new hybrid method of background extraction significantly improves the existing methods of background extraction.

Keywords: background extraction, inter-frame difference, approximate median, moving average, Gaussian moving average, second derivative filter in the gradient direction, frame segmentation, object boundaries, human silhouette, F -score.

Для цитирования: Шенникова Е.В. Метод извлечения фона с использованием фильтра второй производной / Е.В. Шенникова, О.С. Макаров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 42-51. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0006.

Введение. Извлечение объектов – это метод, используемый для подавления фона видеоизображений с целью вычленения объектов переднего плана, появляющихся в кадре. Метод включает в себя сравнение и последующее вычитание текущих кадров из фонового обрамления, а также обработку оставшихся пикселей как пикселей переднего плана [1]. В данной работе основное внимание уделяется базовым методам извлечения фона, таким как метод межкадровой разности, метод приближенной медианы, метод скользящего среднего и метод скользящего среднего значения по Гауссу [2, 3]. Эти параметрические методы определяют передний план и обновляют последующий фон на основе распределения значения интенсивности пикселей.

Актуальность работы заключается в том, что большинство граничных пикселей остаются незамеченными после применения вышеперечисленных методов извлечения объектов [4]. Однако идеальный бинарный объект переднего плана с четкими границами все же может быть получен с помощью морфологических процедур. Это достигается путем обработки результатов извлечения фона, полученных одним из вышеуказанных методов извлечения фона, фильтром второй производной в направлении градиента на этапе объединения пикселей переднего плана с обнаруженным краем извлеченного объекта. Ожидается, что граничные пиксели заполнят пробелы на границах объекта, что создаст лучшие связи между пикселями на границе, формируя наиболее четкую картинку, что в целом позитивно скажется на обнаружении объекта переднего плана.

Ниже представлено краткое описание четырех методов извлечения фона, указанных выше.

Метод межкадровой разности (англ. *Frame Difference, FD*). Этот алгоритм является самым фундаментальным, он включает в себя поиск абсолютной разницы между текущим кадром и предыдущим или фоновым кадром [5]. Найденная разность далее сравнивается с соответствующим пороговым значением A для обнаружения объекта в соответствии с формулой (1), где F_i – текущее значение интенсивности кадра, B_i – значение интенсивности фона, а Fg_i – значение интенсивности переднего плана. Этот метод использует один и тот же фоновый кадр для всех видеопоследовательностей, который рассчитывается как

$$Fg_i(x, y) = \begin{cases} 1, & |F_i(x, y) - B_i(x, y)| > A \\ 0, & |F_i(x, y) - B_i(x, y)| \leq A. \end{cases} \quad (1)$$

Метод приближенной медианы (англ. *Approximate Median, AM*). Этот алгоритм является адаптивным, динамическим, вероятностным и интуитивно понятным [6]. Приближенная медиана получается путем вычисления разности между двумя видеокдрами и использования этой разности для обоснования идеального метода обновления фона. Такой подход счита-

ется одним из наиболее эффективных, поскольку он обеспечивает наиболее точную идентификацию пикселей.

Формула (2) отражает обновление в опорном кадре каждой видеопоследовательности. Последующий фоновый кадр B_{i+1} зависит от значения интенсивности как текущего кадра F_i , так и фонового кадра B_i :

$$B_{i+1}(x, y) = \begin{cases} F_i(x, y) + 1, & F_i(x, y) > B_i(x, y) \\ F_i(x, y) - 1, & F_i(x, y) \leq B_i(x, y). \end{cases} \quad (2)$$

Метод скользящего среднего (англ. *Running Average, RA*). В этом алгоритме пиксель классифицируется как фоновый, когда значение пикселя принадлежит соответствующему распределению фоновой модели, в противном же случае среднее значение распределения обновляется [7]. Обновленное изображение затем используется в изменяющейся сцене. Вычислительный эффект на фоне данного подхода меньше, поскольку вычисляются только взвешенные суммы двух изображений, а это обычно не требует серьезных вычислительных затрат [8].

Уравнение (3) определяет распределение фоновой модели на основе предыдущего фонового кадра, где α – скорость обучения и A – пороговое значение:

$$B_{i+1}(x, y) = \begin{cases} B_i(x, y), & F_i(x, y) > A \\ \alpha \cdot F_i(x, y) + (1 - \alpha) \cdot B_i(x, y), & F_i(x, y) \leq A \end{cases} \quad (3)$$

Метод скользящего среднего значения по Гауссу (англ. *Running Gaussian Average, RGA*). Этот алгоритм сочетает в себе метод Гаусса с предыдущим методом (RA). В целом, данный метод дает значительное преимущество перед другими подходами, поскольку он требует меньшего времени обработки и требует меньше памяти по сравнению с другими методами [9]. Уравнения (4) и (5) показывают, как опорный кадр, представленный средним значением μ , обновляется в каждой видеопоследовательности с использованием этого метода. В отличие от двух предыдущих методов, этот метод использует 2σ в качестве порогового значения:

$$\mu_{i+1} = \alpha F_i + (1 - \alpha)\mu_i \quad (4)$$

$$\sigma_{i+1}^2 = \alpha(F_i - \mu_i)^2 + \alpha(F_i - \mu_i) + (1 - \alpha)\sigma_i^2 \quad (5)$$

Фильтр второй производной в направлении градиента (англ. *Second Derivative in Gradient Direction, SDGD*). В трудах по обработке изображений исследователи используют производные первого и второго порядка для определения края объекта на основе его градиента. Используя первую производную, местоположение края определяется в максимальном положении подъема и спуска.

В 1986 году был представлен детектор границ *Canny*, который представлял собой усовершенствование традиционных методов. Детектор использовал гауссово сглаживание для уменьшения шума, нежелательных деталей, текстур, не максимального подавления и порогового значения гистерезиса для поиска границ. Подход с производной второго порядка

определяет граничные пиксели на основе изменений яркости или пересечения нуля в области изображения. Нелинейный оператор *SDGD* может быть выражен в первой и второй производных и, подобно *Canny*, комбинируется с гауссовым сглаживающим фильтром нижних частот. Кроме того, для упрощения работы используется оператор Лапласа:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} = (h_{2x} \otimes a) + (h_{2y} \otimes a), \quad (6)$$

где h_{2x} и h_{2y} – фильтры второй производной.

Основные версии в фильтрах второй производной задаются формулами следующим образом (7), (8):

$$[h_{2x}] = [h_{2y}] = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[h_2] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Сопоставление формул (6 – 8) с гауссовым фильтром дает

$$b = g_\sigma \otimes (h_2 \otimes a) = [(g)_\sigma \otimes h_2] \otimes a,$$

где g_σ – гауссов фильтр нижних частот.

В фильтре *SDGD* используются пять частных производных:

$$A_{xx} = \frac{\partial^2 a}{\partial x^2}, A_{xy} = \frac{\partial^2 a}{\partial x \partial y}, A_x = \frac{\partial a}{\partial x}, A_{yy} = \frac{\partial^2 a}{\partial y^2}, A_y = \frac{\partial a}{\partial y}$$

Следовательно,

$$SDGD = \frac{A_{xx}A_x^2 + 2A_{xy}A_xA_y + A_{yy}A_y^2}{A_x^2 + A_y^2}$$

В настоящей работе фильтр *SDGD* применяется для повышения производительности вышеуказанных методов вычитания фона путем объединения пикселей переднего плана с обнаруженным краем извлеченного объекта. Ожидается, что граничные пиксели заполнят пограничный промежуток, что создаст лучшие связи между пикселями на границах [10].

Методология. *Набор данных.* Для исследования выбраны наборы данных из видеокolleкций нескольких онлайн баз данных [11]. Начальный фон для видео был смоделирован с использованием медианного значения по выбранному интервалу кадров. Использовались по пять кадров из каждой видеопоследовательности с десятью интервалами между кадрами. Затем в качестве эталонного изображения бралось медианное значение этих выбранных кадров. Все наборы данных были сегментированы вручную, чтобы получить достоверную информацию.

Предлагаемый алгоритм. Методология предлагаемого метода иллюстрируется блок-схемой, показанной на рисунке 1.

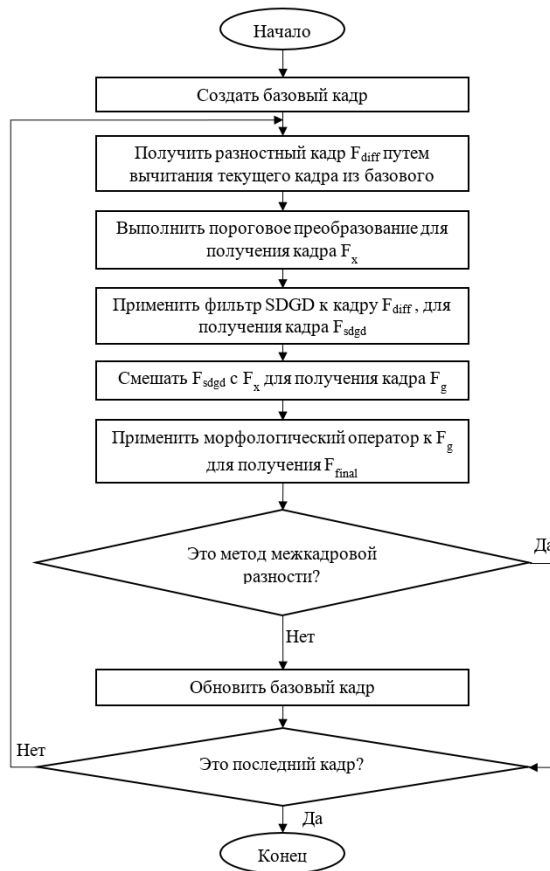


Рисунок 1 – Блок-схема предлагаемого алгоритма

Сначала набор данных был протестирован с использованием вышеперечисленных параметрических методов извлечения фона. Затем к результатам, полученным в итоге, был применен фильтр *SDGD* как

инструмент сегментации.

Метод оценки. Для оценки эффективности каждого метода рассчитывались средние значения показателей чувствительности, точности, *F*-балла и

корректности [12].

Чувствительность (Rcl) определяет эффективность обнаружения, которая вычисляется путем сравнения общего количества обнаруженных истинно положительных пикселей с общим числом истинно положительных пикселей, подсчитанным вручную [13]:

$$Rcl = \frac{\Sigma TP}{\Sigma TP + \Sigma FN}$$

где TP – истинно положительный результат, а FN – ложноотрицательный.

Точность (Prc) – это отношение между обнаруженными истинно положительными пикселями и общим количеством положительных пикселей [14]. Этот показатель также известен как специфичность и задается следующим выражением:

$$Prc = \frac{\Sigma TP}{\Sigma TP + \Sigma FP}$$

где TP – истинно положительный результат, FP – ложноположительный.

F -балл – это взвешенное среднее гармоническое значение чувствительности и точности [15]. Показатель используется в качестве единого измерения для сравнения различных методов. Расчет производится по формуле:

$$F = \frac{2 \cdot Rcl \cdot Prc}{Rcl + Prc}$$

Корректность (Acc) – это показатель правильного извлечения данных [16], рассчитываемый по формуле:

$$Acc = \frac{\Sigma TP + \Sigma TN}{\Sigma TP + \Sigma TN + \Sigma FP + \Sigma FN} \cdot 100\%$$

В данном исследовании использовались видеоролики с большим количеством кадров. Поэтому в качестве главного критерия производительности в каждой методике извлечения фона проводилось сравнение среднего показателя F -балла и среднего процента корректности с фильтром $SDGD$ и без него. Расчет степени улучшения выполнялся по следующим формулам:

$$\%im(F) = (F_{with\ filter} - F_{without\ filter}) \cdot 100\%$$

$$\%im(Acc) = (Acc_{with\ filter} - Acc_{without\ filter})$$

Классификация. Использование искусственной нейронной сети в качестве классификатора позволило подвергнуть сегментированное изображение классификационному тестированию. Обучающие входные данные сети были извлечены из 1500 случайно выбранных сегментированных кадров и изображений. Из них 750 изображений больших бинарных объектов человека представляли примеры человеческого силуэта, а еще 750 изображений больших бинарных объектов представляли иные образцы.

Для обучения классификатора были выбраны градиент, сопряженный с масштабом, и правила обратного распространения [17–18]. Была разработана нейронная сеть с одним скрытым слоем, содержащим десять скрытых нейронов и выходным слоем, содержащим два скрытых нейрона. Оба слоя использовали сигмовидную форму в качестве функции активации и среднееквадратичное значение ошибки в качестве функции производительности. Изображения разделялись на два класса: человеческие или иные [19]. Затем для тестирования был выбран еще один набор из 1000 кадров и изображений. Для оценки эффективности распознавания человеческого силуэта были проведены 10 экспериментов со средней скоростью классификации [20]. Оценка была основана на сегментированных изображениях, сгенерированных с помощью усовершенствованной технологии межкадровой разности, с добавленным в алгоритм фильтром $SDGD$.

Результаты. Для определения эффективности предлагаемого подхода тесты проводились на видеопоследовательностях, записанных в помещении и на открытом воздухе с различных ракурсов. На рисунке 2 представлен набор фоновых кадров, сгенерированных с использованием медианного значения выбранных кадров в видеопоследовательностях.



Рисунок 2 – Примеры фоновых кадров разных видеопоследовательностей

На рисунках 3 и 4 представлены результаты извлечения фона снаружи и внутри помещения соответственно. В левых частях рисунков представлены исходные изображения кадра, а в правых – бинарные результаты извлечения, приближенные к

реальности.

На рисунках 5 и 6 представлены извлеченные объекты как в помещении, так и на открытом воздухе с использованием вышеперечисленных алгоритмов извлечения фона с фильтром *SDGD* и без него.



Рисунок 3 – Оригинальное и извлеченное изображение снаружи помещения



Рисунок 4 – Оригинальное и извлеченное изображение внутри помещения

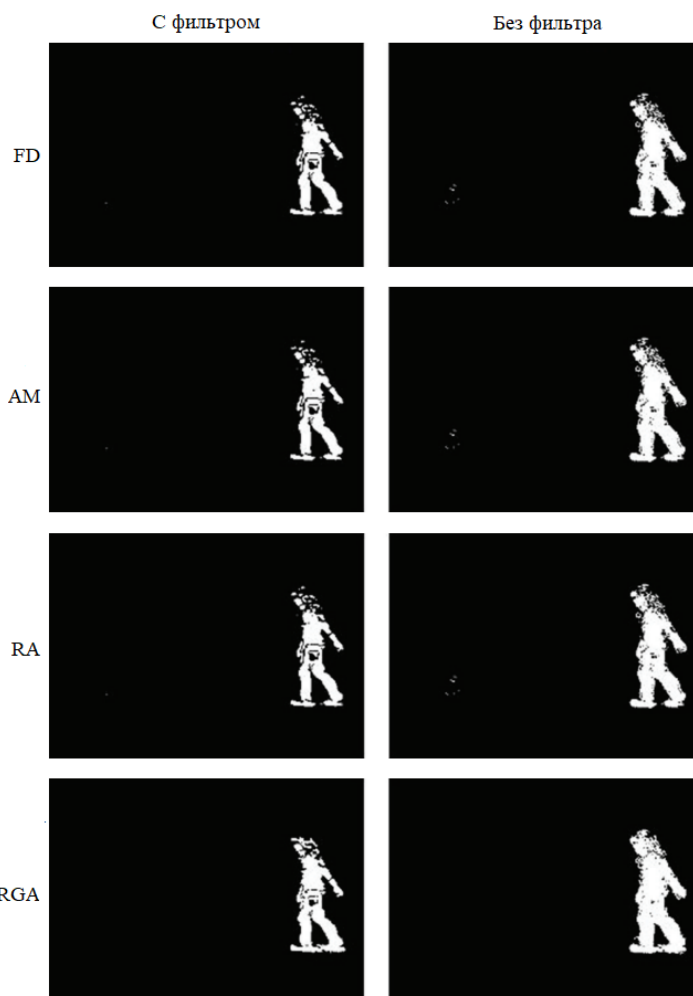


Рисунок 5 – Извлеченные объекты переднего плана на видео снаружи помещения

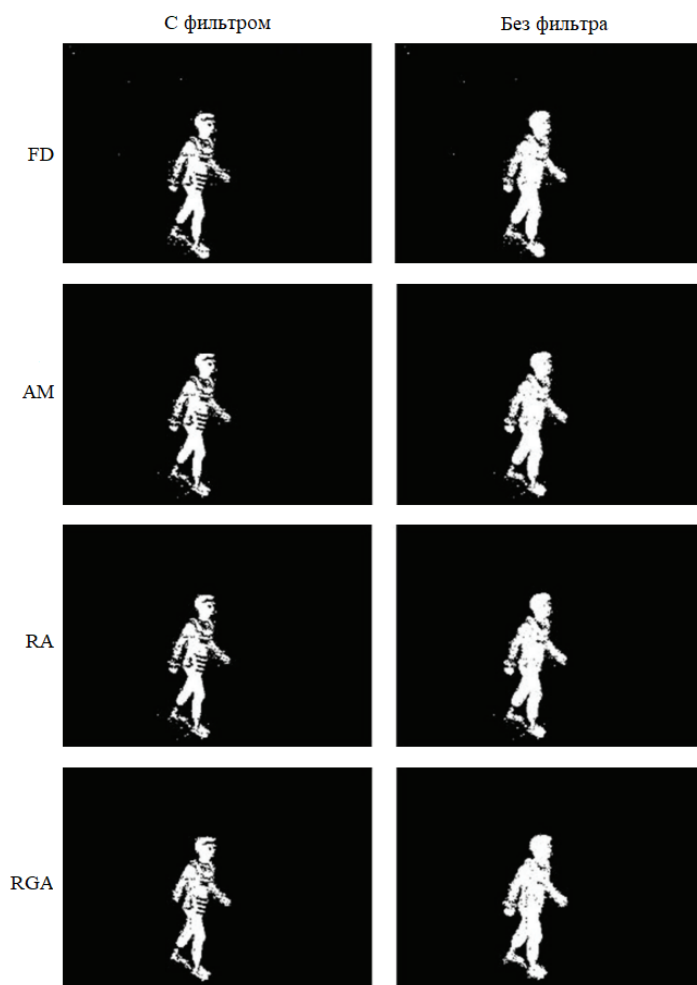


Рисунок 6 – Извлеченные объекты переднего плана на видео внутри помещения

В таблицах 1 и 2 показано количество истинно положительных (*TP*), ложноположительных (*FP*), истинно отрицательных (*TN*), и ложноотрицательных (*FN*) пикселей для выбранных видео снаружи и внутри помещения с добавлением фильтра *SDGD* к методам извлечения фона. Рядом представлены рассчитанные на основе формул (12 – 14) значения показателей чувствительности, точности и *F*-балла.

Графики на рисунках 7 и 8 показывают зависимость *F*-балла от количества кадров в видео для всех четырех методов извлечения фона. Сплошные линии представляют значения *F*-балла с использованием предложенной методики, то есть с фильтром *SDGD*, тогда как пунктирные линии представляют результаты *F*-балла без использования фильтра *SDGD*.

Чтобы подтвердить эффективность предложенной

методики, алгоритм был протестирован на шести различных видеороликах с шестью различными фоновыми изображениями, полученными из пяти различных баз данных.

В таблице 3 приведены показатели *F*-балла и корректности для четырех рассмотренных методов извлечения фона с фильтром *SDGD* и без него. В столбцах 5 и 8 показано процентное соотношение улучшения для *F*-балла и корректности соответственно.

В таблице 4 представлены результаты классификации распознавания человеческих и нечеловеческих силуэтов на основе сегментированного кадра, сгенерированного с помощью предложенной методики. В таблице 5 представлены общие результаты тестирования классификации.

Таблица 1 – Показатели извлечения фона для видео снаружи помещения

	Method	TP	FP	TN	FN	Rec	Prc	F
FD	Без SDGD	2046	1279	80064	1091	0,65	0,62	0,63
	С SDGD	2521	804	80539	616	0,80	0,76	0,78
AM	Без SDGD	1986	1785	79558	1151	0,63	0,53	0,57
	С SDGD	2374	951	80392	763	0,76	0,71	0,73
RG	Без SDGD	1959	1784	79562	1178	0,62	0,52	0,57
	С SDGD	2303	1022	80321	834	0,73	0,69	0,71
RGA	Без SDGD	2441	912	80431	696	0,78	0,73	0,75
	С SDGD	2654	499	80844	483	0,85	0,84	0,84

Таблица 2 – Показатели извлечения фона для видео внутри помещения

	Method	TP	FP	TN	FN	Rcl	Prc	F
FD	Без SDGD	2336	1372	79963	809	0,74	0,63	0,68
	С SDGD	2788	920	79607	1165	0,71	0,75	0,73
AM	Без SDGD	2771	1437	79964	808	0,74	0,61	0,67
	С SDGD	2726	982	79695	1077	0,72	0,74	0,73
RG	Без SDGD	2289	1419	79914	858	0,73	0,62	0,67
	С SDGD	2723	985	79666	1106	0,71	0,73	0,72
RGA	Без SDGD	2564	1092	79649	1175	0,69	0,70	0,69
	С SDGD	2979	677	79289	1535	0,67	0,81	0,73

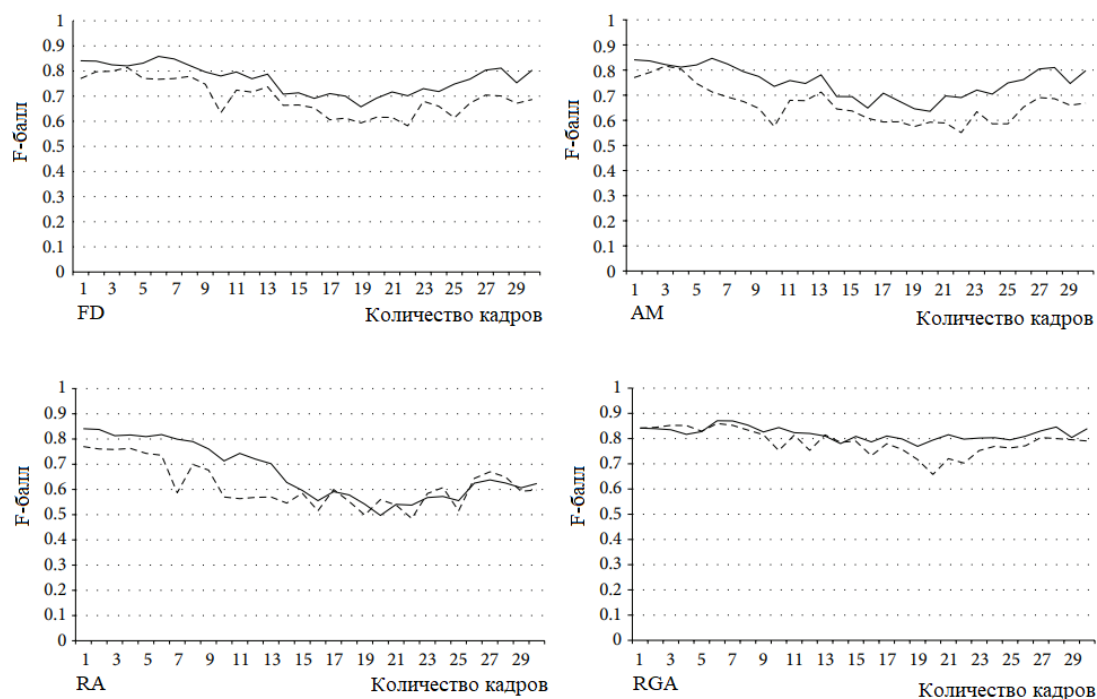


Рисунок 7 – График F-балла от количества кадров для видео снаружи помещения

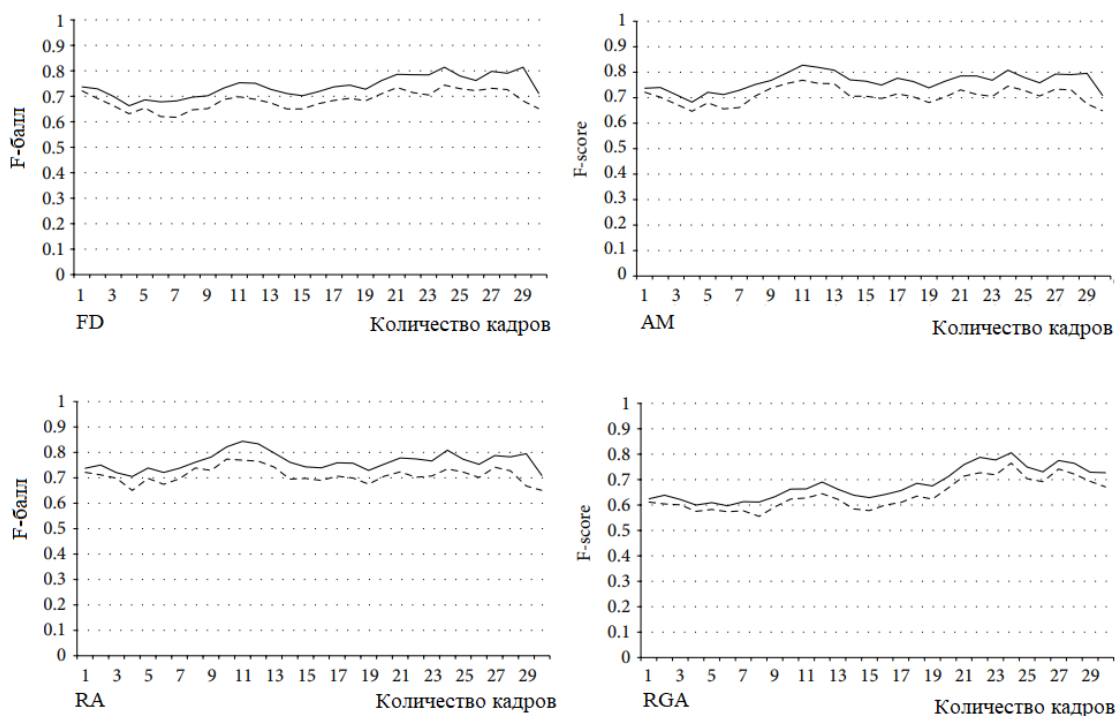


Рисунок 8 – График F-балла от количества кадров для видео внутри помещения

Таблица 3 – Показатели извлечения фона для каждого метода

№	Метод	Средние значения показателей					
		F			Acc		
		Без SDGD	C SDGD	%im*	Без SDGD	C SDGD	%im*
1	FD	0,75	0,78	3	98,45	98,47	0,02
	AM	0,69	0,75	6	98,16	98,29	0,13
	RG	0,74	0,77	3	98,42	98,44	0,02
	RGA	0,79	0,81	2	98,42	98,47	0,03
2	FD	0,78	0,79	1	96,74	96,65	-0,09
	AM	0,80	0,81	1	97,31	97,14	-0,17
	RG	0,76	0,78	2	96,91	96,83	-0,08
	RGA	0,76	0,77	1	95,75	95,65	-0,10
3	FD	0,68	0,74	6	97,99	98,12	0,13
	AM	0,71	0,76	5	98,22	98,37	0,15
	RG	0,71	0,76	5	98,25	98,38	0,13
	RGA	0,64	0,68	4	97,47	97,51	0,04
4	FD	0,84	0,85	1	95,64	95,69	0,05
	AM	0,79	0,80	1	94,87	95,03	0,16
	RG	0,57	0,65	8	91,69	92,17	0,48
	RGA	0,80	0,81	1	94,95	95,07	0,12
5	FD	0,68	0,71	3	97,84	98,07	0,23
	AM	0,71	0,75	4	98,13	98,37	0,22
	RG	0,71	0,74	3	98,14	98,36	0,22
	RGA	0,70	0,74	4	98,04	98,25	0,21
6	FD	0,80	0,81	1	96,66	96,69	0,03
	AM	0,80	0,81	1	96,70	96,71	0,01
	RG	0,80	0,81	1	96,69	96,70	0,01
	RGA	0,68	0,77	9	96,45	96,50	0,05

Таблица 4 – Результаты классификации силуэтов нейронной сетью

№		Человеческий силуэт	Иной силуэт	%
1	Верных	498	492	99,0
	Неверных	2	8	1,0
2	Верных	499	491	99,0
	Неверных	1	9	1,0
3	Верных	498	495	99,3
	Неверных	2	5	0,7
4	Верных	495	500	99,5
	Неверных	5	0	0,5
5	Верных	481	492	97,3
	Неверных	19	8	2,7
6	Верных	497	490	98,7
	Неверных	19	8	1,3
7	Верных	484	496	98,0
	Неверных	16	4	2,0
8	Верных	493	498	99,1
	Неверных	7	2	0,9
9	Верных	497	496	99,3
	Неверных	3	4	0,7
10	Верных	497	486	98,3
	Неверных	3	14	1,7

Таблица 5 – Результаты распознавания силуэтов нейронной сетью

	Человеческий силуэт	Иной силуэт	%
Человеческий силуэт	4939	64	98,78
Иной силуэт	61	4936	98,72
%	98,78	98,72	98,75

Обсуждение. Левые столбцы рисунков 5 и 6 показывают, что все основные методы извлечения фона способны обнаруживать объект в интересующей сцене на основе протестированных видеозаписей. Однако многие пиксели отсутствовали, и в результате получился объект переднего плана, меньший по размеру по сравнению с исходным изображением. Предложенный метод решает проблему отсутствия пикселей и уменьшения размера больших бинарных объектов, поскольку он объединяет фильтр *SDGD* с основными методами извлечения фона, как показано

на правых частях рисунков 5 и 6. Размер извлеченного объекта немного увеличивается и становится более детальным. Применение предложенного метода ко всем наборам данных значительно улучшает обнаружение объектов переднего плана.

Основываясь на результатах, приведенных в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод, что количество правильно распознанных пикселей значительно увеличилось, что доказывает эффективность предложенного метода. Таблицы 1 и 2 также показывают, что с добавлением фильтра *SDGD* *F*-балл также

увеличивается для обеих выборок.

Основываясь на данных, проиллюстрированных рисунками 7 и 8, можно утверждать, что более высокие значения F -баллов отмечаются при объединении базовых методов извлечения фона с фильтром $SDGD$. Таким образом, предложенный метод улучшает показатели обнаружения объектов.

Анализ данных таблицы 3, позволяет сделать вывод о том, что использование фильтра $SDGD$ улучшает средние значения F -баллов по сравнению со значениями, полученными методами без применения фильтра. Столбец 5 таблицы 3 показывает, что значения F -балла улучшились на 1-9%. Таким образом, предложенный метод, по сравнению с существующими улучшает еще и эффективность извлечения объектов.

Кроме того, таблица 3 демонстрирует увеличение среднего процента точности для каждого тестируемого метода (за некоторым исключением). Исключения можно объяснить низким качеством видео, потому что кадры были сняты в коридоре без надлежащего освещения. Из-за этого фильтр $SDGD$ не смог правильно сегментировать объекты переднего плана и создал нежелательную тень на переднем плане. Тем не менее, предложенный метод способен обнаруживать пиксели переднего плана с точностью более 90% на всех протестированных видео.

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что нейронная сеть успешно распознает изображения человека и неживых объектов на сгенерированных кадрах, используя улучшенную технику межкадровой разности. Процент неправильных классификаций был минимален во всех десяти экспериментах.

Согласно таблице 5, средний уровень распознавания человеческих и неживых силуэтов составил 98,78% и 98,72% соответственно. Показатель повысился для обеих категорий объектов, предложенный алгоритм предоставил хорошие изображения больших бинарных объектов, как человеческих, так и нечеловеческих, что позволило нейронной сети корректно различать обе категории объектов. Кроме того, общая производительность в обоих классах составила 98,75%. Следовательно, предложенный алгоритм может генерировать более качественные изображения силуэтов, тем самым облегчая распознавание человеческих и нечеловеческих изображений в сегментированных изображениях.

Выводы. В статье был представлен новый гибридный подход к извлечению фона из видео-изображений, который объединяет фильтр $SDGD$ с четырьмя основными методами, а именно методом межкадровой разности, методом приближенной медианы, методом скользящего среднего и методом скользящего среднего значения по Гауссу. Предложенный гибридный алгоритм повышает производительность сегментации, о чем свидетельствуют значения F -баллов и средние проценты корректности обнаружения. Методика была протестирована на шести различных видеороликах из

пяти разных баз данных, причем каждое видео было снято с разных ракурсов либо внутри, либо снаружи помещения.

Классификатор нейронной сети был использован для распознавания человеческих и нечеловеческих силуэтов, появляющихся на сегментированных изображениях, сгенерированных предложенным алгоритмом. Поскольку алгоритм способен обеспечить корректное извлечение больших бинарных объектов, это облегчает распознавание на изображениях объектов человеческих и нечеловеческих контуров.

Несмотря на увеличение времени вычислений, этот подход представляется приемлемым, поскольку улучшаются характеристики производных второго порядка. Таким образом, разработанная методика пригодна для реализации в приложениях, не относящихся к реальному времени. Предложенный гибридный метод может улучшить традиционные методы извлечения фона, о чем свидетельствуют полученные в результате экспериментов показатели F -балла и корректности после тестирования различных источников и сред данных. Представленный подход может быть усовершенствован с целью обнаружения движущихся объектов в приложениях, отличных от реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Макаров О.С. Анализ алгоритмов вычитания фона / О.С. Макаров, Е.В. Щенникова // International Conference on Business Economics, Management, Engineering Technology, Medical and Health Sciences. – Morisville. – 2021. – С. 65–77.
2. Piccardi M. Background subtraction techniques: a review // Systems, Man and Cybernetics. – 2004. – P. 3099–3104.
3. Benzeth Y. Comparative study of background subtraction algorithms / P. Jodoin, B. Emile, H. Laurent, C. Rosenberger // Journal of Electronic Imaging. – 2010. – P. 57–88.
4. Макаров М.А. Решение задачи описания и классификации контуров движущихся объектов на видео / М.А. Макаров, О.Г. Берестнева, С.Ю. Андреев // Известия Томского политехнического университета. Информационные технологии. – 2014. – С. 77–83.
5. Исаев А.Л. Способы классификации движущихся объектов на видео / А.Л. Исаев // Молодой ученый. – 2016. – № 18 (122). – С. 44–47.
6. Абдуллин Ю.Э. Обнаружение и трассировка движущихся объектов в потоке видеоданных / Ю.Э. Абдуллин. – М.: Интеллект, 2020. – 60 с.
7. Correia P. Stand-alone objective segmentation quality evaluation / P. Correia, F. Pereira // Application Signal Processing. – 2002. – №1. – P. 389–400.
8. SanMiguel, J. On the evaluation of background subtraction algorithms without ground-truth / J. SanMiguel, J. Martinez // Advanced Video and Signal Based Surveillance. – 2010. – P. 180–187.
9. Toyama K. Wallflower: principles and practice of background maintenance / K. Toyama, J. Krumm, B. Brumitt, B. Meyers // Computer Vision. – 1999. – P. 255–261.
10. Фаворская М.Н. Алгоритмы реализации оценки движения в системах видеонаблюдения / М.Н. Фаворская // Системы управления и информационные технологии. Перспективные исследования. – 2008. – №3.3 (33). – С. 408–412.
11. CMU Graphics Lab Motion Capture Database // [Электронный ресурс]. – URL: <http://mocap.cs.cmu.edu/> (дата обращения: 10.11.2022).
12. Erdem, C. Performance measures for video object segmentation and tracking / C. Erdem, B. Sankur, A. Tekalp // Image Processing. – 2004. – №7. – P. 937–951.
13. Parks D. Evaluation of Background Subtraction Algorithms with Post-Processing / D. Parks // Fifth IEEE International

Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. – 2008. – P. 192-199.

14. Djerida A. Background subtraction in dynamic scenes using the dynamic principal component analysis / A. Djerida, Z. Zhao, J. Zhao // IET Image Processing. – 2020. – P. 245-255.

15. Sobral A.A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos / A. Sobral, A. Vacavant // Computer Vision and Image Understanding. – 2014. – P. 4-21.

16. Higham D. Finding the Optimal Background Subtraction Algorithm for EuroHockey 2015 Video / D. Higham, J. Hudson, C. Goodwill // Procedia Engineering. – 2016. – P. 637-642.

17. Bouwmans T. Deep neural network concepts for background subtraction: A systematic review and comparative evaluation / T. Bouwmans, S. Javed, M. Sultana, S. Jung // Neural Networks. – 2019. – P. 1-70.

18. Braham M. Deep background subtraction with scene-specific convolutional neural networks / M. Braham, M. Droogenbroeck // International Conference on Systems, Signals and Image Processing. – 2016. – P. 1-5.

19. Ozan Tezcan M. BSUV-Net: A Fully-Convolutional Neural Network for Background Subtraction of Unseen Videos / M. Ozan Tezcan, Prakash Ishwar, Janusz Konrad // 2020 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). – 2020. – P. 2763-2772.

20. Zeng, D. Combining background subtraction algorithms with convolutional neural network / D. Zeng, M. Zhu, A. Kuijper // Journal of Electronic Imaging. – 2019. – P. 124-130.

Статья поступила в редакцию 29.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.912, 004.89

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0007

АНАЛИЗ ДЕПРЕССИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ»

© Автор 2022

SPIN: 5510-8024

AuthorID: 1020705

ORCID: 0000-0002-2497-6433

ЗОТКИНА Алена Александровна, аспирант кафедры «Программирование»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alena.zotkina.97@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается анализ депрессивного состояния пользователей социальной сети с использованием для сбора информации социальной платформы сети «ВКонтакте». Для достижения наибольшей точности используется комбинация методов на основе машинного обучения и лексики, в том числе метод на основе словаря и корпусный метод. Рассмотрены этапы анализа: сбор данных, полученных при помощи модуля для создания скриптов *VK_API*, предварительная обработка данных через конвейер обработки естественного языка, создание модели и ее оценка. Поставленная задача решается с помощью высокоуровневого языка программирования *Python*, в синтаксисе которого содержится модуль обработки естественного языка (*NLTK*). В работе приведено несколько классификаторов машинного обучения: машина опорных векторов (*SVM*), метод *k*-ближайших соседей (*KNN*), дерево решений, логистическая регрессия, *LSTM*. Установлено, что алгоритмы машинного обучения, такие как дерево решений, машина опорных векторов, логистическая регрессия и *LSTM* демонстрируют хорошую точность в выявлении депрессивного настроения пользователя социальной сети. Наибольшую точность в ходе данного эксперимента показала сеть *LSTM*. В заключении сформулированы основные выводы по выполненному исследованию.

Ключевые слова: социальные сети, ВКонтакте, *SVM*, *NLTK*, *KNN*, депрессия.

ANALYSIS OF THE DEPRESSIVE STATE OF «VKONTAKTE» SOCIAL NETWORK USERS

© The Author 2022

ZOTKINA Alena Aleksandrovna, postgraduate of sub-department «Programming»

Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: alena.zotkina.97@mail.ru)

Abstract. The article examines the analysis of the depressive state of social network users. It is noted that the VKontakte social network will be used as a social platform for collecting information in the study. It is noted that a combination of vocabulary-based and machine learning methods is used to achieve the highest accuracy. Two methods based on vocabulary are considered: the dictionary-based method and the corpus method. The stages of analysis are considered: collecting data obtained using the *VK_API* script creation module, preprocessing data through the natural language processing pipeline (deleting raw data that does not carry a semantic role), creating a model and evaluating it. It is noted that the implementation of this task uses a high-level Python programming language with dynamic strict typing and automatic memory management, the syntax of which contains a natural language processing module (*NLTK*). The paper presents 4 machine learning classifiers: support vector machine (*SVM*), *k*-nearest neighbor method (*KNN*), decision tree, logistic regression, *LSTM*. It is revealed that machine learning algorithms such as decision tree, support vector machine, logistic regression and *LSTM* demonstrate good accuracy in detecting the depressive mood of a social network user. The *LSTM* network showed the greatest accuracy during this experiment. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

Keywords: social networks, *VKontakte*, *SVM*, *NLTK*, *KNN*, depression.

Для цитирования: Зоткина А.А. Анализ депрессивного состояния пользователей социальной сети «ВКонтакте» / А.А. Зоткина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 52-55. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0007.

Введение. Психологический анализ позволяет осуществить адекватный подбор методик для диагностики психологических качеств индивида. Наличие собственного мнения и взглядов на тот или иной вид продукта, события и т.д. указывает на психологию человека и на его способность выражать те или иные эмоции. В настоящее время способ выражения эмоций и мнений резко изменился с развитием социальных сетей и интернет-технологий. Люди используют

блоги, веб-сайты с рекомендациями по продуктам и обзорами, а также другие социальные сети, чтобы высказывать свое мнение о продуктах, фильмах и политических событиях, а также по текущим важным темам. Социальная сеть «ВКонтакте» стала популярной платформой для обмена информацией среди нового поколения пользователей интернета.

Согласно психологическим данным, пользователям легче делиться своими эмоциями и чувствами в

социальной сети, чем в обыденной жизни. Те данные, что они транслируют в сеть, благодаря современным технологиям могут быть преобразованы в полезные инструменты. В деловой рекламе психология помогает в принятии решений, например, при покупке продукта в интернете, когда продукт нельзя потрогать и ощупать. Обзоры продуктов помогают покупателю принять решение о целесообразности их приобретения. Позитивные отзывы, по сути, повышают ценность продукта. В обзорах также отмечаются недостатки и потребности в продукте, которые помогают производителям улучшать его качество и удовлетворять потребности своих клиентов. Еще одним применением психологического анализа являются маркетинговые исследования, включающие сбор данных через социальные сети и другие веб-сайты. Эти данные помогают выявить текущую рыночную тенденцию и оценить качество рекламы и ее эффективность. Отзывы о продукте или фильме, оставленные людьми, следуют системе рекомендаций «сбор и передача», которая отображает полярность психологии, показывающую, нравится ли людям продукт или фильм или нет.

Кроме того, психология играет важную роль в исследованиях психического здоровья людей, позволяя выявить приступы тревоги, серьезные депрессивные расстройства, биполярное расстройство и пр. Ниже речь идет в основном о депрессивном расстройстве, которым страдает или страдал каждый пятый человек. В данной работе используется платформа «ВКонтакте», которая располагает достаточными средствами для выявления депрессии и классификации пользователей на депрессивные и недепрессивные категории.

Целью данной работы является выявление и анализ депрессивного состояния пользователей социальной сети «ВКонтакте» с использованием методов машинного обучения.

Методология исследования. Психические заболевания людей являются общей проблемой для многих стран. По данным ВОЗ от них страдает 20% взрослых и детей, у которых проявляются такие психические расстройства как депрессия, потеря памяти, гипертония и приступы тревоги, среди которых по масштабам распространения выделяется депрессия. Традиционно эксперты в области психического здоровья использовали в основном процедуры клинического обследования с учетом самооценки эмоциональных, поведенческих и когнитивных аспектов пациента. Платформа социальной сети «ВКонтакте» содержит большое количество данных, пригодных для решения задач психологической классификации – извлечении психологических данных из текстового контента. Люди делятся своим мнением по актуальным темам и обсуждают произошедшие события общественной жизни обычно в виде комментариев. Идентификация депрессивного состояния с помощью текстовых данных осуществляется намного проще, чем с помощью данных на основе изображений, поскольку изображения требуют использования классификаторов глубокого обучения и высококачественных изображений.

Текстовые данные достаточно просто выгрузить из социальной сети для дальнейшего исследования. Известные подходы к анализу предполагают машинное обучение, которое в сочетании с *LlWC (Linguistic Inquiry and Word Count* – лингвистическое исследование и подсчет слов) дает удовлетворительные результаты [1]. В настоящей работе внимание сосредоточено на методах психологической классификации, основанных на словаре и машинном обучении.

В соответствии с методом на основе словаря наборы слов классифицируются с использованием словарных значений, методы на основе машинного обучения реализуются с участием учителя и без его участия, лучшие результаты машинного обучения достигаются с использованием нейронных сетей. Кроме того, существуют и гибридные подходы, которые сочетают методы на основе словаря с методами машинного обучения.

Машинное обучение. Примерами контролируемых и неконтролируемых алгоритмов машинного обучения, используемых в данной сфере являются *SVM*, дерево решений, случайный лес и наивный байесовский классификатор. Эти алгоритмы проводят ретроспективный последовательный анализ настроения людей, а также опрашивают социальные медиасети. Данные алгоритмы обнаруживают депрессию путем построения графиков. Ретроспективный анализ отображает действия пользователей во времени, его результаты позволяют выявить меньшее социальное взаимодействие, больше негативных проявлений, усиление взаимосвязей и проблемы здоровья.

Подход, основанный на лексике. Алгоритм психологического анализа на основе лексики использует комбинированные функции психологической нормализации и доказательной базы (фактических данных). Типы анализа лексики в корпусе – это лексиконы наречий, лексиконы сетевых слов и отрицательных слов.

Существует два метода, основанных на лексике:

1. Метод на основе словаря. Подход на основе словаря является частью статистической модели, которая используется для кодирования символов из наборов данных. Ключ начинается с индекса словаря [2].

2. Корпусный метод. Корпусный подход основан на изучении языка, в основе которого лежит язык корпуса текстов. Корпусный подход собирает естественный языковой контекст и выполняет психологический анализ с минимальным экспериментальным вмешательством. Текстовый корпус используется для лингвистического поиска и составления словарей с 1985 г., этот же метод используется для психологического анализа. Вычисляется семантическая направленность фразы, причем направленность определяется взаимной информацией [2, 3].

Для выявления депрессивного настроения пользователей социальной сети были собраны комментарии из социальной сети. Методом *VK API* был извлечен набор данных, состоящий из 14000 тысяч комментариев [4]. Извлечение данных производилось по ключевым словам, таким как «смерть», «депрессия»,

«уныние». Далее информация была пропущена через конвейер обработки естественного языка, удаляющий необработанные данные из набора текущих слов (удаление «стоп-слов», знаков препинания). К примеру, используемый набор данных не содержит эмодзи (смайлы), поэтому нет необходимости в их обработке. Удаление «стоп-слов» выполнялось с помощью библиотеки *NLTK* (*Natural Language Toolkit* – инструменты естественного языка) в *Python* [5-7].

После извлечения значений из наборов данных проведена перекрестная проверка обучающего набора данных. В работе использовано пять классификаторов машинного обучения: машина опорных векторов; метод *k*-ближайших соседей; дерево решений; логистическая регрессия; *LSTM*.

1. Дерево решений. Это инструмент поддержки принятия решений, который позволяет оценить вероятность исхода события, стоимость ресурсов и полезность. Он используется в подходах прогнозируемого моделирования, в статистике и в машинном обучении. Одной из важных характеристик является прирост информации, необходимой для определения разности двух точек данных [8,9].

2. Машина опорных векторов – это модель, которая использует алгоритм классификации для задач двухгрупповой классификации линейной, известной как граница принятия решения [10, 11].

3. Алгоритм *k*-ближайшего соседа (*KNN*) используется для классификации и регрессии. Алгоритм *KNN* выявляет сходство между новыми данными и доступными данными и помещает новые данные в категорию, которая наиболее правдоподобна. Алгоритм использует формулу Евклидова расстояния для определения минимального расстояния между двумя точками данных на плоскости с координатами (x, y) и (a, b) [12, 13].

4. *LSTM*. Это архитектура искусственной рекуррентной нейронной сети, используемая в области глубокого обучения [14], способная обрабатывать не только отдельные данные, но также целую их последовательность. Модель *LSTM* выполняет несколько итеративных шагов для каждой временной метки, в результате чего указываются скрытые (старые) состояния, текущие метки времени и элемент, частично удаляющий из старой ячейки памяти данные, которые являются избыточными или бесполезными для дальнейшей обработки в *LSTM* [15, 16].

5. Логистическая регрессия – это статистическая модель, которая оценивает вероятность события, представляя ее в виде линейной комбинации одной или нескольких независимых переменных [17]. В регрессионном анализе логистическая регрессия оценивает параметры логистической модели (коэффициенты в линейной комбинации) [18, 19].

Исходя из вышеприведенных сведений, выполнен анализ эффективности алгоритмов машинного обучения и полярности комментариев пользователей социальной сети.

Результаты. Алгоритмы машинного обучения,

такие как дерево решений, машина опорных векторов, логистическая регрессия и *LSTM* демонстрируют хорошую точность в выявлении депрессивного настроения пользователя социальной сети (табл. 1). Под точностью понимается доля объектов, которые были признаны классификатором положительными и при этом они действительно являются положительными. Полнота показывает долю положительных комментариев из всех, что были найдены, а *F1*-мера – среднее значение обеих метрик.

Таблица 1 – Результаты алгоритмов машинного обучения на предмет депрессивного состояния пользователей

Классификаторы машинного обучения	Точность	Полнота	F1-мера
Дерево решений	0,73	0,63	0,68
Машина опорных векторов	0,76	0,67	0,71
Метод <i>k</i> -ближайших соседей	0,67	0,56	0,61
Логистическая регрессия	0,75	0,68	0,71
<i>LSTM</i>	0,79	0,72	0,75

Обсуждение. Сравнение результатов вычислений с известными результатами других авторов [20] показало, что разработанная система анализа депрессивного состояния пользователей социальной сети справляется с поставленной задачей достаточно уверенно. Учитывая, что использовались традиционные классификаторы машинного обучения, можно сделать вывод, что высокая точность обуславливается применением средств с высокой разделяющей способностью, полученных путем сочетания методов на основе словаря и машинного обучения.

Выводы. Оценена способность моделей машинного обучения выполнять анализ депрессивности состояния пользователей социальной сети «ВКонтакте». Комбинация методов на основе словаря и машинного обучения позволила получить наилучшие показатели классификации. Наибольшую точность в ходе проведенного эксперимента показала сеть *LSTM*. В дальнейшем предполагается повысить точность путем слияния инструментов *LSTM* и *SVM*. Объединение *SVM* с *LSTM* может дать лучшие результаты как для несбалансированного набора данных, так и для сбалансированного набора данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Introducing the Linguistic Inquiry and Word Count [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL <https://hecc.ubc.ca/quantitative-textual-analysis/qta-practice/linguistic-inquiry-and-word-count/> (дата обращения: 25.10.2022).
2. Грас Д. Data Science. Наука о данных с нуля / перевод с английского А.А. Логанова. – СПб: БХВ-Петербург. – 2020. – 411 с.
3. Обработка текстов на естественных языках [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL <https://habr.com/ru/company/vk/blog/358736/> (дата обращения: 20.09.2022).
4. Знакомство с API ВКонтакте [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/dev/first_guide/ (дата обращения: 21.01.2022).
5. Нормализация данных в Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythonist.ru/normalizacziya-dannyh-v-python/> (дата обращения: 25.09.2022).
6. Токенизация в Python с использованием NLTK [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythobyte.com/to->

kenization-in-python-using-nltk-96642092/ (дата обращения: 20.09.2022).

7. Подходы лемматизации с примерами на Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://webdevblog.ru/podhody-lemmatizacii-s-primerami-v-python/> (дата обращения: 20.09.2022).

8. Семериков А.В. Классификация объектов на основе нейронной сети и методами дерева решения и ближайших соседей : учебное пособие / А.В. Семериков, М.А. Глазырин. – Ухта: УГТУ, 2022. – 68 с. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/267857> (дата обращения: 01.11.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Деревья решений: общие принципы [Электронный ресурс]. – URL: <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p1> (дата обращения: 20.09.2022).

10. SVM. Объяснение с нуля и реализация на python. Подробный разбор метода опорных векторов Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/484148/> (дата обращения: 20.09.2022).

11. Машинное обучение: как метод опорных векторов может быть использован в трейдинге [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mql5.com/ru/articles/584> (дата обращения: 20.09.2022).

12. Шалев-Шварц, Ш. Идеи машинного обучения : учебное пособие / Ш. Шалев-Шварц, Бен-Давид Ш. ; перевод с английского А.А. Слинкина. – Москва : ДМК Пресс, 2019. – 436 с. – ISBN 978-5-97060-673-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/131686> (дата обращения: 01.11.2022).

13. Макшанов А.В. Технологии интеллектуального анализа данных : учебное пособие / А.В. Макшанов, А.Е. Журавлев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 212 с. – ISBN 978-5-8114-4493-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206711> (дата обращения: 01.11.2022).

14. Маккинни, У. Python и анализ данных / У. Маккинни; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-ое изд., испр. и доп. – Москва: ДМК Пресс, 2020. – 540 с.

15. LSTM – нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью [Электронный ресурс]. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovny-data-science/lstm-nejronnaja-set/> (дата обращения: 20.09.2022).

16. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 652 с. – ISBN 978-5-97060-618-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107901> (дата обращения: 01.11.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

17. Chenhao Tan, Lillian Lee, Jie Tang, Long Jiang, Ming Zhou, and Ping Li. Userlevel sentiment analysis incorporating social networks.// Proceedings of the

18. Что такое логистическая регрессия? [Электронный ресурс]. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/logistic-regression/> (дата обращения: 20.09.2022).

19. Логистическая регрессия в машинном обучении с Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://biconsult.ru/products/logisticheskaya-regressiya-v-mashinnom-obucheni-s-python> (дата обращения: 20.09.2022).

20. Кисельникова, Н.В. Выявление информативных параметров поведения пользователей социальной сети Вконтакте как признаков депрессии / Н.В. Кисельникова, М.А. Станкевич, М.М. Данина, Е.А. Куминская, Е.В. Лаврова// Высшая школа экономики. – 2020. – № 1. – С. 73-88.

Статья поступила в редакцию 01.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 658.5.011

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0008

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ: ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ
МЕЖДУ ЛИДЕРСТВОМ И ЗРЕЛОСТЬЮ**

© Авторы 2022

ORCID: 0000-0002-5920-3633

КЛИМОВА Наталья Александровна, магистрантка

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: natashaklimova1996@mail.ru)

SPIN-код: 4787-8777

AuthorID: 665599

ORCID: 0000-0002-1300-943X

ResearcherID: H-2986-2018

ЧЕКАЙКИН Сергей Васильевич, кандидат технических наук,

заведующий кафедрой «Техническое управление качеством»

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: cheksv@mail.ru)

SPIN-код: 9705-8113

AuthorID: 959084

ORCID: 0000-0003-2526-1699

НАЗАРОВА Инна Таджидиновна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техническое управление качеством»

Пензенский Государственный Технологический Университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, e-mail: uncate@yandex.ru)

Author ID РИНЦ: 647979

Author ID Scopus: 57222150264

Researcher ID WoS: B-4525-2019

ORCID: 0000-0003-3227-0884

SPIN: 5471-2269

ЗИМНЯКОВ Владимир Михайлович, доктор экономических наук,

профессор кафедры «Переработка сельскохозяйственной продукции»

Пензенский государственный аграрный университет

(440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, д. 30, e-mail: zimnyakov.v.m@pgau.ru)

Аннотация. Лидерство является ключевым элементом управления качеством и, как таковое, было определено как влияющий фактор зрелости систем менеджмента качества (СМК). Подходы к лидерству связаны с анализом переменных, влияющих на организационные изменения, которые позволяют выполнять цели. Лидерство связано с личностными компетенциями, которые могут оказывать влияние при развитии деятельности для достижения целей организации, сосредоточенных на удовлетворении потребностей и ожиданий ее клиентов. При управлении СМК поведение лидеров рассматривается как пример с точки зрения отношения и ценностей. В литературе утверждается, что лидерство является одной из пяти наиболее важных компетенций специалистов по управлению качеством. Некоторые из предыдущих исследователей взаимосвязи между стилями лидерства и эффективностью СМК утверждали, что не существует универсального лучшего стиля лидерства, подчеркивая, что методы лидерства должны соответствовать ситуации. Статья направлена на дальнейшее изучение этой взаимосвязи, а именно стилей руководства и зрелости СМК. Для развития СМК и последующего перехода на новый уровень существует несколько факторов, таких как структурные, технические, технологические и поведенческие. В этой статье основное внимание уделяется поведенческим факторам, в частности роли стилей лидерства в переходе на новый уровень зрелости. Также рассмотрены взаимосвязи между лидерством и управлением качеством.

Ключевые слова: система менеджмента качества, зрелость СМК, стили руководства, реализация, транзакционное лидерство, трансформационное лидерство, внедрение.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS: A STUDY OF THE CORRELATION
BETWEEN LEADERSHIP AND MATURITY**

© The Author(s) 2022

KLIMOVA Natalya Alexandrovna, student

CHEKAYKIN Sergey Vasilyevich, candidate of technical sciences,
head of the department "Technical Quality Management"

NAZAROVA Inna Tajiddinovna, candidate of technical sciences
docent of the department "Technical Quality Management"

Penza State Technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11,
e-mails: natashaklimova1996@mail.ru, cheksv@mail.ru, uncate@yandex.ru)

ZIMNJAKOV Vladimir Michailovich, doctor of economical sciences
professor of the department "Processing of agricultural products"

Penza State Agrarian University
(440014, Russia, Penza, Botanicheskaya st., 30, e-mail: zimnyakov.v.m@pgau.ru)

Abstract. Leadership is a key element of quality management and as such has been identified as an influencing factor in the maturity of quality management systems (QMS). Leadership approaches are concerned with the analysis of variables influencing organizational changes that allow goals to be achieved. Leadership is associated with personal competencies that can influence the development of activities to achieve the goals of the organization, focused on meeting the needs and expectations of its customers. When managing the QMS, the behavior of leaders is seen as an example in terms of attitudes and values. The literature states that leadership is one of the five most important competencies for quality management professionals. Some of the previous researchers on the relationship between leadership styles and QMS effectiveness have argued that there is no universal best leadership style, emphasizing that leadership methods must be appropriate to the situation. The article aims to further explore this relationship, namely leadership styles and QMS maturity. For the development of the QMS and the subsequent transition to a new level, there are several factors, such as structural, technical, technological and behavioral. This article focuses on behavioral factors, in particular the role of leadership styles in the transition to a new level of maturity. The relationship between leadership and quality management is also considered.

Keywords: quality management system, QMS maturity, leadership styles, implementation, transactional leadership, transformational leadership, implementation.

Для цитирования: Климова Н.А. Системы управления качеством: исследование корреляции между лидерством и зрелостью / Н.А. Климова, С.В. Чекайкин, И.Т. Назарова, В.М. Зимняков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 56-62. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0008.

Введение. Управление качеством было важной областью в дискуссиях о современном менеджменте и признано эффективной стратегией на рынке, который становится все более конкурентным и характеризуется высокой степенью неопределенности.

Современный уровень развития управления качеством показывает, что следует рассматривать новую парадигму – парадигму эмерджентности, которая больше соответствует текущим потребностям. Эта новая парадигма определяет качество целостно, т. е. она учитывает потребности и ожидания всех заинтересованных сторон и опирается на сетевое взаимодействие (внутреннее и внешнее), открытость к изменениям, эффективное решение проблем и создание культуры качества. Организации должны быть готовы к непрерывным изменениям в формирующейся парадигме, и следование процедурам не является решением. Однако изменения происходят не только во внешней среде, но и во внутренних организационных структурах, а именно в очень важном активе – рабочей силе как таковой.

СМК не может быть заблокированной и статичной. Зрелость СМК – это показатель, характеризующий развитие СМК организации, возможность справляться компаниям с такими проблемами, как изменения, инновации и гибкость. Оценка зрелости СМК помогает описать уровень консолидации практики, принятой организацией, указывая на прогрессивный путь организационного развития. Для увеличения уровней зрелости были указаны различные факторы, в том числе структурные, технические, технологические и поведенческие. Это исследование фокусируется

на поведенческих факторах, стремясь углубить взаимосвязь между стилями лидерства и зрелостью СМК, поскольку существуют стили лидерства, более способствующие культуре ответственности, изменений и приверженности преодолению возникающих проблем.

Взаимосвязь между стилями руководства и управлением качеством является новой областью исследований. Следует отметить, что не существует единого лучшего стиля лидерства. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования для углубления этих знаний с учетом истории СМК. Учитывая представленную проблему, в этой статье предпринимается попытка дальнейшего изучения взаимосвязи между стилями лидерства и зрелостью СМК. В результате предложен ряд мероприятий, направленных на помощь организациям в разработке программы для улучшения практики лидерства с наиболее значительным влиянием на развитие их СМК.

Внедрение и обслуживание СМК было целью многих организаций, чтобы стать более конкурентоспособными, более эффективно управлять процессами. СМК, как следует из ее названия, определяется как набор элементов для установления политик и процессов для достижения целей. В основе разработки и внедрения СМК лежит идентификация комплексных процессов, от проектирования продукции и операционной деятельности до послепродажного обслуживания.

Модели реализации СМК быстро развивались, и в настоящее время существует множество решений,

таких как *EFQM* (Европейский фонд по управлению качеством), *Malcolm Baldrige* (национальная премия качества), *CAF* (Общая система оценки), *ISO 9001:2015*, Шесть сигм и *TQM*. *ISO 9001* – один из самых распространенных стандартов при внедрении этих систем. Также ожидается, что сертификация *ISO 9001* будет продолжать расти в будущем. В соответствии с определением, принятым в *ISO 9001*, СМК позволяет определять цели и управлять процессами для достижения желаемых результатов, обеспечивая ценность для всех заинтересованных сторон. Его особенностью является активное вовлечение высшего руководства в оптимизацию ресурсов и анализ данных, кульминацией которого является определение стратегии непрерывного совершенствования, основанной на цикле «Планируй-Делай-Проверяй-Действуй» (*PDCA*). В том же стандарте говорится, что СМК может быть внедрена в организациях любого размера, ориентированных на продукты или услуги, путем структурирования требований в модель управления, которая приводит к передовой практике для достижения совершенства. В выпуске *ISO 9001:2015* особое внимание уделялось контекстному анализу организации, управлению заинтересованными сторонами, мышлению, основанному на оценке рисков, расширенной применимости к услугам, большему вниманию к лидерству. В целом специалисты по управлению качеством признают, что семейство *ISO 9000* структурировано и включает важные элементы для управления организацией, такие как принципы управления качеством и требования к внедрению СМК. Таким образом, СМК формирует организационную структуру на уровне ресурсов, процедур и обязанностей, чтобы последовательно управлять, контролировать и обеспечивать качество посредством культуры постоянного улучшения. Преимущества СМК можно разделить на две основные группы:

- маркетинговый инструмент: СМК представляет собой эффективный инструмент для информирования клиентов и поставщиков о внутренних процессах;
- инструмент внутреннего улучшения: СМК помогает улучшить работу организации, особенно для компаний, которые находятся на ранних стадиях внедрения.

Внедрение СМК повышает эффективность инноваций и надежность производственной системы, поскольку затраты на низкое качество значительно снижаются после сертификации. Однако когда организации разрабатывают свои СМК исключительно в поисках маркетинговых преимуществ, это ограничивает повышение эффективности процессов.

Таким образом, СМК не следует использовать исключительно для достижения удовлетворенности потребителей путем предотвращения несоответствий продуктов и услуг. СМК должна основываться на удовлетворенности клиентов, а также должна быстро реагировать на рыночные изменения.

Внутренние и внешние преимущества СМК,

безусловно, будут зависеть от процесса внедрения и последующего мониторинга СМК. Поэтому необходима регулярная оценка СМК, позволяющая выявить ее слабые и сильные стороны, а также разработать стратегию непрерывного развития и улучшения. С этой целью были разработаны некоторые модели для оценки зрелости СМК.

Концепция зрелости процессов возникла вместе с движением за всеобщее управление качеством. Применение методов статистического управления процессами показало, что повышение зрелости любого процесса приводит к снижению изменчивости процессов и повышению их эффективности [5].

В этом контексте возникла общепризнанная сетка зрелости управления качеством Кросби, состоящая из пяти фаз: неуверенность, пробуждение, просветление, мудрость и уверенность. Позднее эти фазы были изменены на неопределенность, регрессию, пробуждение, просветление и уверенность.

Позже Институт программной инженерии предложил модель зрелости, основанную на модели Кросби, получившую название Модель зрелости возможностей (СММ). Эта модель также состоит из пяти уровней зрелости, структурированных в соответствии с 18 процессами, 52 целями и более чем 300 критическими практиками. Модели зрелости помогают менеджерам в организационно структурированном пути развития.

Зрелость СМК может быть описана количеством лет ее внедрения и сертификации, отношением к применяемым передовым методам или даже может быть связана с оценкой качества и эффективности управления процессами, воспринимаемой клиентом. Изучив эти определения, можно выявить различные точки зрения, связанные с концепцией зрелости:

- зрелость связана с временным измерением или возрастом, что указывает на более продвинутое состояние с годами;
- возможности – это полное развитие процессов в соответствии с философией непрерывного совершенствования;
- эволюция защищает развивающуюся концепцию путем принятия комбинированных методов адаптации к организационному контексту

Насименто и др., собрав другие признанные модели зрелости, разработали модель зрелости СМК с 5 уровнями (табл. 1).

Для развития СМК и последующего перехода на новый уровень существует несколько факторов, таких как структурные, технические, технологические и поведенческие. В этой статье основное внимание уделяется поведенческим факторам, в частности роли стилей лидерства в переходе на новый уровень зрелости. Далее рассмотрены взаимосвязи между лидерством и управлением качеством.

Методология. Для проведения исследования необходимо определить программу, состоящую из ступеней, чтобы помочь организациям усилить практику лидерства, принимая во внимание внутренний

контекст разработки СМК. Для этого используется позитивистская философия исследования, основанная на дедуктивном подходе, основанном на теориях лидерства и моделях зрелости СМК. Стратегия исследования заключалась в опросе. При анализе данных могут быть использованы

статистические методы с использованием количественной методологии.

Предлагается к использованию количественный подход, основанный на предварительном исследовании, путем разработки опроса, состоящего из трех частей.

Таблица 1 – Уровни зрелости СМК

Уровень	Планирование	Характеристика уровня
1	Проекты не выполняются, как планировалось, случаются сбои.	Уровень 1 указывает на плохо определенную СМК с отсутствием прогнозирования эффективности и высокими затратами. Низкий уровень функционального сотрудничества и удовлетворенности клиентов также связан с этим уровнем. Ожидаемые результаты не достигнуты, и результаты, вероятно, будут ниже, чем у конкурентов.
2	ISO 9001 является справочником по разработке процедур и инструкций. Планирование определено на уровне проектов	Базовая СМК характеризует второй уровень, хотя он более структурирован, чем предыдущий, поскольку процессы организации подготовлены и документированы, что делает ее работу более предсказуемой. Именно на этом уровне компании обычно принимают решение о сертификации по ISO 9001, что приводит к большей удовлетворенности клиентов, хотя и требует больших затрат.
3	Организационная структура определена, планирование эффективно.	На уровне 3 улучшается управление процессами, что позволяет расширить сотрудничество между отделами, поставщиками и клиентами. Такое согласование обычно приводит к более высокому уровню удовлетворенности клиентов.
4	Внедрены важные процедуры, которые поддерживают эффективное и действенное планирование.	На четвертом уровне уже существует стратегическое взаимодействие и сотрудничество между организацией, ее поставщиками и клиентами, и проводится оценка эффективности, что приводит к усилению контроля и резкому снижению затрат. Конкурентное преимущество достигается за счет повышения удовлетворенности клиентов, а также сплочения команды.
5	Планирование направлено на совершенствование процессов организации	На этом уровне управление качеством компании становится эталоном для конкурентов благодаря своей эффективности и лучшей способности адаптироваться к задачам, возникающим в организационном контексте.

Первая часть состоит из социально-демографических вопросов, касающихся компаний и специалистов по управлению качеством.

Вторая часть состоит из вопросов, призванных оценить уровень зрелости СМК. Этот инструмент состоит из 25 вопросов, сгруппированных по шести параметрам:

А – Лидерство и коммуникация: этот параметр включает девять вопросов, предназначенных для оценки поддержки высшего руководства в мониторинге СМК, а также способности организации подготовить сотрудников к работе на руководящих должностях. Он также учитывает регулярный пересмотр целей СМК для удовлетворения потребностей и ожиданий клиентов и осознание сотрудниками их важности для достижения целей;

Б – Гибкость и интеграция с поддержкой информационных технологий: этот параметр включает три вопроса, направленных на понимание того, как компания использует информационных технологий для интеграции систем управления клиентов и поставщиков. Он также стремится понять степень повторяемости проблемы;

В – Управление процессами. В этом аспекте есть четыре вопроса, направленных на оценку того, как компания справляется с проверками клиентов, и роли поставщиков в развитии и совершенствовании процессов компании. Кроме того, он отражает план улучшения процессов для улучшения показателей охраны окружающей среды и безопасности труда;

Г – Оценка сотрудников: четыре вопроса анализируют процесс удержания ключевых сотруд-

ников в критических процессах. Кроме того, он тщательно изучает программы вознаграждения для достижения целей производительности;

Д – Доступность информации: два вопроса сосредоточены на роли клиента в развитии процессов компании, а также на управлении четкой информацией для выполнения деятельности;

Е – Управление затратами: В трех вопросах требуется оценить инициативы по снижению затрат на низкое качество (дефекты и жалобы) и роль СМК в снижении эксплуатационных расходов.

Каждый вопрос оценивается по 5-балльной шкале Лайкерта, где 1 – «полностью не согласен», а 5 – «полностью согласен». Таким образом, учитывая все вопросы, максимальная оценка составляет 125 баллов, и каждому уровню зрелости присвоены следующие диапазоны баллов, как в таблице 2:

Таблица 2 – Уровни зрелости СМК

Уровни зрелости	Соответствующие баллы
Уровень 1	25-74
Уровень 2	75-92
Уровень 3	93-103
Уровень 4	104-112
Уровень 5	113-125

Третья часть представляет собой многофакторный опросник для руководителей. За основу взят опросник, разработанный Брюсом Дж. Авوليو и Бернардом М. Бассом в 1995г.

Вопросы организованы по трем параметрам, измеряющим различные стили лидерства, и подразделены на подшкалы (табл. 3).

Таблица 3 – Опросник многофакторного лидерства

Стили руководства	Измеряемые критерии
Трансформационное лидерство	Атрибуты влияния
	Поведение влияния
	Вдохновляющая мотивация
	Инновационное мышление
Транзакционное лидерство	Индивидуальное рассмотрение
	Награды за достижения
Лидерство невмешательства	Отслеживание ошибок
	Управление исключениями
	Пассивное невмешательство

Эти вопросы также структурированы по 5-балльной шкале Лайкерта, где 0 означает «никогда», 1 «редко», 2 «иногда», 3 «часто» и 4 «всегда».

За переходом уровня зрелости стоят несколько факторов, а именно поведенческие факторы, в том числе лидерство. В соответствии с принятой моделью зрелости этот эволюционный путь предполагает улучшение лидерства и коммуникации, гибкость и интеграцию ИТ, управление процессами, оценку сотрудников, доступную информацию, а также управление затратами. Таким образом, можно отметить, что лидерство является одним из параметров зрелости СМК. Таким образом, зрелость СМК может быть усилена за счет лидерства, которое способствует следующему:

- поддержка высшего руководства;
- обучение сотрудников навыкам лидерства;
- информирование о целях и важности каждого из них в их достижении;
- включение в процесс принятия решений;
- информирование и поощрение внедрения передового опыта;
- участие в предлагаемых решениях.

Следовательно, чем более подходящими для решения этих задач являются стили руководства менеджеров по качеству, тем больше потенциал для укрепления зрелости СМК. Опрос позволит определить зрелость СМК, измерить стиль руководства, что в итоге приведет к совершенствованию СМК. Исследование практики лидерства может помочь подготовить менеджеров к более быстрому поиску решений для нужд клиентов и повысить осознание сотрудниками своей ценности в достижении целей компании.

Результаты. Анализируя информацию, связанную с различными стилями руководства, можно сказать, что они оказывают значительное влияние во многих соответствующих областях СМК:

- большая поддержка со стороны высшего руководства в проведении СМК, которая проявляется в выделении необходимых ресурсов, а также в постановке четких целей и отчетности о них;
- повышение приверженности сотрудников за счет повышения их осведомленности о роли каждого из них в достижении этих целей;
- более активное участие в разработке решений;
- постоянное совершенствование за счет разработки инновационных решений для решения проблем и снижения эксплуатационных расходов.

Подходы к лидерству связаны с анализом переменных, влияющих на организационные изменения, которые позволяют выполнять цели. Лидерство связано с личностными компетенциями, которые могут влиять на других в развитии деятельности для достижения целей организации, сосредоточенных на удовлетворении потребностей и ожиданий ее клиентов. Харизматический лидер завоевывает доверие и уважение своих подчиненных, легче достигая приверженности организации.

В соответствии со стандартом ISO 9001:2015 лидерство является одним из принципов управления качеством, который оказывает сильное влияние на другие принципы и поэтому считается фактором успеха в программах управления качеством. При управлении СМК поведение лидеров рассматривается как пример с точки зрения отношения и ценностей. Кроме того, в литературе утверждается, что лидерство является одной из пяти наиболее важных компетенций специалистов по управлению качеством. Ван Кеменаде также упоминает, что «межкультурные компетенции, адаптивность, гибкость и способность к синергии» имеют большое значение для руководства СМК.

Участие руководства является необходимым условием для достижения уровней эффективности выше среднего, поскольку оно помогает обеспечить прозрачность действий и позитивную атмосферу среди сотрудников. Кроме того, такая приверженность лидера дает работникам большую мотивацию и вызывает желание участвовать в развитии организации. Отсутствие приверженности высшего руководства является основным препятствием для внедрения СМК, в то время как обратное приводит к положительным результатам. Лидерство приобретает все большее значение в формирующейся парадигме управления качеством из-за его роли в развитии СМК и управлении изменениями. Рассмотрим влияние различных стилей руководства на эффективность управления качеством. В частности, рассмотрим следующие стили руководства:

- транзакционное лидерство: лидер решает задачи с помощью метод «кнута и пряника», тщательное выявление ошибок подчиненных;
- трансформационное лидерство: лидер – образец для подражания для последователей, его работа направлена на повышение мотивации, морального духа и производительности последователей с помощью различных механизмов;
- трансформационно-транзакционное лидерство: лидер сочетает в своей работе оба вышеперечисленных стиля руководства;
- лидерство невмешательства: лидер фактически не руководит командой, а вместо этого позволяет команде полностью руководить собой.

Трансформационное лидерство имеет несколько преимуществ для управления качеством, поскольку оно поддерживает долгосрочное видение, обеспечивает постоянное совершенствование и спо-

собствует командной работе, приверженности делу, личному развитию и обмену опытом и знаниями. Так считают Макфадден К.Л. и другие исследователи. Внедрение СМК связано с организационными изменениями, которые могут восприниматься сотрудниками как препятствия. Существует мнение, что транзакционное лидерство оказывает большее, чем ожидалось, влияние на эффективность управления качеством. В частности, Барбоза Ф.М. и др. утверждают, что «транзакционное лидерство может поддерживать операционную деятельность». Так, несколько авторов объединили оба стиля лидерства, составив «трансформационно-транзакционный» стиль. С одной стороны, вовлеченность, основанная на мотивации и интересах команды, является частью трансформационного лидерства, но, с другой стороны, оно также обеспечивает обмен вознаграждениями за усилия и приверженность проделанной работе, что является частью транзакционного лидерства. Барбоза Ф.М. и др. в 2017 году добавили к обсуждению еще одну переменную. Они утверждали, что не существует единого лучшего стиля руководства для совершенствования СМК, но он зависит от культуры, ценностей и контекста разработки СМК.

Обсуждение. Из приведенного выше следует, что лидерство является важнейшим элементом управления качеством. Мы сделали вывод, что не существует какой-либо закономерности в отношениях между стилями руководства и управлением качеством. Некоторые исследователи сосредоточились на трансформационном лидерстве, другие – на влиянии транзакционного лидерства, третьи – на необходимости слияния двух стилей в трансформационно-транзакционный микс. Не существует одного лучшего стиля руководства; вместо этого он должен соответствовать контексту управления качеством. Таким образом, уместно углубить взаимосвязь между стилями лидерства и управлением качеством, хотя и более индивидуально для каждой ситуации, избегая обобщений, для понимания того, существует ли стиль руководства, определяющий достижение более высоких уровней зрелости.

На основе вышеизложенного предлагается ряд мероприятий (ступеней), следуя которым организация может руководствоваться в повышении практики лидерства своих специалистов по качеству для повышения зрелости СМК:

Ступень 1: диагностировать стиль руководства менеджеров по качеству, уделяя особое внимание интеллектуальным стимулам, индивидуальному подходу, которые положительно коррелируют с другими параметрами зрелости СМК. Эта оценка должна охватывать как восприятие лидера, так и восприятие его сотрудников;

Ступень 2: оценить зрелость СМК для выявления слабых сторон, сильных сторон и менее развитых аспектов;

Ступень 3: определить приоритетность методов

лидерства, которые необходимо разработать;

Ступень 4: развивать лидерские качества (обучение, обучение на практике, создание команды и т. д.);

Ступень 5: разработать план действий, который измеряет влияние лидерских компетенций на повышение зрелости СМК.

Выводы. Нынешняя парадигма заставляет компании переосмысливать свои модели управления, чтобы быстро и гибко реагировать на изменения рынка. СМК были отмечены как модели управления, которые могут помочь компаниям справиться с этими текущими проблемами. Между тем, компаниям необходимо постоянно развивать свои СМК, чтобы достичь высокого уровня зрелости. Этот результат подчеркивает потребность организаций в разработке усилий, которые позволят развивать СМК, постепенно используя внутренние и внешние преимущества этих моделей управления. Лидерство является одним из аспектов зрелости СМК, имеющим соответствующий вес по сравнению с другими аспектами. По этой причине, чем более подходящим является лидерство специалистов по управлению качеством, тем больше потенциал для развития СМК.

Пункты предложенного опроса позволят рассмотреть корреляцию между параметрами зрелости СМК и лидерством, выраженным в стилях руководства. Также были предложены мероприятия по практике лидерства, которое влияет на несколько аспектов зрелости СМК, что, следовательно, способствует ее развитию. Таким образом, рекомендуется ряд ступеней, способствующих развитию зрелости СМК посредством практик лидерства, а именно: 1 – диагностика стиля руководства; 2 – оценивание зрелости СМК; 3 – определение приоритеты в отношении методов лидерства, которые необходимо предпринять; 4 – продвижение программы развития лидерских компетенций; 5 – реализация действия по улучшению.

Вышеизложенные материалы позволяют развивать взаимосвязь между стилями руководства и зрелостью СМК, путем определения конкретных аспектов и практик лидерства, которые оказывают влияние на соответствующие аспекты СМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ван Кеменаде Э., и Харджоно, Т.В. Тотальное управление качеством двадцать первого века: Эмерджентная парадигма. Журнал TQM, 31(2), С. 150-166. 2019. <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2018-0045>.
2. Барбоза, Ф.М., Гамби, Л.Д.Н., и Джероламо, М.К. Лидерство и управление качеством: исследование взаимосвязи между моделями лидерства и принципами управления качеством. Журнал Управление и производство 24(3), – С. 438-449. – 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2278-16>.
3. Макфадден К.Л., Сток Г.Н., и Гоуэн Ч.Р. Лидерство, климат безопасности и постоянное улучшение качества: влияние на качество процесса и безопасность пациентов. Обзор управления здравоохранением, 40(1), – С. 24-34. – 2015. <http://dx.doi.org/10.1097/HMR.000000000000006.%20PMid:24566246/>
4. Насименто А.П., Оливейра М.П.В., Ладейра, М.Б., и Занкетто Х.Ф. Точки перехода: восхождение к зрелости

систем управления качеством Журнал Управление и производство, 23(2), – С. 250-266. – 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2222-15>.

5. Насименто А.П., Валадарес М.П., и Занкетто Х. Зрелость систем управления качеством как конструкции второго порядка. Журнал Управление и технологии, 13(3), – С. 23-50. – 2013. <http://dx.doi.org/10.20397/2177-6652/2013.v13i3.483/>

6. Кросби Ф. Качество бесплатно. Нью-Йорк: Макгроу-Хилл. – 1979

7. Кросби Ф. Качество бесплатно: искусство обеспечения качества. Нью-Йорк: Макгроу-Хилл. – 2016

8. Авوليو Б., и Басс Б. Многофакторный опросник лидерства (MLQ). Вашингтон: Американская психологическая ассоциация. – 1995

10. Кук-Дэвис Т., и Арзиманов А. Зрелость управления проектами в различных отрасли: исследование различий между моделями управления проектами. Международный журнал управления проектами, 26(1), С. 471-478. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00084-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00084-4).

11. Международный стандарт ISO 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования https://ntp-ts.ru/upload/iblock/b0d/standart-iso-9001_2015.pdf

12. Андерл Р. Industrie 4.0 – передовая разработка интеллектуальных продуктов и интеллектуального производства. Материалы 19-го Международного семинара по высоким технологиям, Пирасикаба /Бразилия, 9 октября 2014 г. – С.1-15.

13. Броцци Р., Форти Д., Раух Э., и Мэтт Д.Т. Преимущества приложений Индустрии 4.0. Устойчивое развитие: результаты выборки компаний-производителей. 12(9), – С. 1-19. <https://doi.org/10.3390/su12093647>

14. Бючи Г., Куньо М., и Кастаньоли Р. Производительность умного завода и Индустрия 4.0. Технологическое прогнозирование и социальные изменения, 150, – С. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>

15. Чалмета Р., и Сантос-деЛеон, Нью-Джерси (2020) Устойчивая цепочка поставок в эпоху Индустрии 4.0. Большие данные: систематический анализ литературы и исследований. 12(10), 1-24. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019039022>

16. Чоффи Р., Травальони М., Писцителли Г., Петрилло А. и Феличе Ф.Д. Искусственный интеллект и приложения машинного обучения в интеллектуальном производстве: прогресс, тенденции и направления. 12(2). – С. 1-26. <https://doi.org/10.3390/su12020492>

17. Да Силва, В.Л., Ковалески, Дж.Л., Пагани, Р.Н., Де Матос Силва, Дж., и Корси, А. Реализация концепция Индустрии 4.0 в компаниях: эмпирические данные, Международный журнал компьютерного интегрированного производства, 33(4). – С. 325-342. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1699258>

18. Радж А., Двиведи Г., Шарма А., Джаббур АБЛС, и Раджак С. Барьеры для принятия технологии индустрии 4.0 в производственном секторе: межстрановой сравнительный анализ. Международный журнал экономики производства, 224. – С.1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.1075468>

Статья поступила в редакцию 13.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 519.816

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0009

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ БАНКОВСКОЙ СФЕРЫ

© Автор(ы) 2022

ORCID: 0000-0001-9348-8102

УНКОВСКАЯ Галина Александровна, магистр

*Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова
(308012, Россия, Белгород, ул. Костюкова, д.46, gunkovskaia@gmail.com)*

Аннотация. В настоящее время многообразие банковских продуктов очень велико. При этом выбор оптимальной альтернативы усложнен постоянно меняющимися внешними факторами. Несмотря на то, что компьютеры во много раз превосходят человека в скорости и точности вычислений, нельзя недооценивать возможности человека восполнять неопределенность своими домыслами и жизненным опытом, оперативно анализировать внешние изменения рынка, способности выделять главные аспекты и отбрасывать незначительное для конкретного индивида. Субъективный фактор в процессе выбора банковского продукта до сих пор не имел удовлетворительной теории для количественного оценивания. В то же время неопределенность, сопровождающая инвестиционные решения, постоянно рождает неуверенность принимающего эти решения лица, что порождает риск неверной интерпретации исходной информации. Целью данной работы является разработка алгоритмического обеспечения для решения проблемы количественного измерения неопределенности в бизнес-процессах банковской сферы. В основе методики проводимого исследования лежит метод многокритериального выбора альтернатив на базе нечетких множеств. В качестве исходной информации для моделирования предпосылок по принятию решения используются предпочтения и нечеткие оценки. Рассматривается решение задачи выбора шаблона банковского продукта на множестве альтернатив, включающее описание решающего правила, нечетких множеств, получение качественных и количественных критериев, нахождение оптимальной альтернативы. Результатом исследования является описание алгоритма и общей схемы интеграции метода многокритериального выбора альтернатив на основе нечетких множеств в типовую банковскую автоматизированную систему, что позволит решить проблему минимизации неопределенности при принятии решений.

Ключевые слова: метод многокритериального выбора, нечеткие множества, нечеткие функции, нечеткая логика, парные сравнения.

INTEGRATION OF THE METHOD OF MULTI-CRITERIA SELECTION OF ALTERNATIVES BASED ON FUZZY SETS INTO THE BUSINESS PROCESSES OF THE BANKING SECTOR

© The Author(s) 2022

UNKOVSKAIA Galina Alexandrovna, master's degree

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
(308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46, gunkovskaia@gmail.com)*

Abstract. Nowadays, the variety of banking products is very large. At the same time, the choice of the optimal alternative is complicated by constantly changing external factors. Despite the fact that computers are many times superior to humans in the speed and accuracy of calculations, one should not underestimate the ability of a person to fill in uncertainty with his conjectures and life experience, quickly analyze external market changes, the ability to highlight the main aspects and discard the insignificant for a particular individual. The subjective factor in the process of choosing a banking product has not yet had a satisfactory theory for quantitative evaluation. At the same time, the uncertainty that accompanies investment decisions constantly gives rise to the uncertainty of the person making these decisions, which creates the risk of incorrect interpretation of the initial information. The purpose of this work is to develop algorithmic support for solving the problem of quantitative measurement of uncertainty in business processes in the banking sector. The research methodology is based on the method of multi-criteria choice of alternatives based on fuzzy sets. Preferences and fuzzy estimates are used as initial information for modeling the prerequisites for making a decision. The solution of the problem of choosing a banking product template on a set of alternatives is considered, including a description of the decision rule, fuzzy sets, obtaining qualitative and quantitative criteria, and finding the optimal alternative. The result of the study is a description of the algorithm and the general scheme for integrating the method of multi-criteria choice of alternatives based on fuzzy sets into a typical banking automated system, which will solve the problem of minimizing uncertainty in decision-making.

Keywords: multi-criteria selection method, fuzzy sets, fuzzy functions, fuzzy logic, paired comparisons.

Для цитирования: Унковская Г.А. Интеграция метода многокритериального выбора альтернатив на основе нечетких множеств в бизнес-процессы банковской сферы / Г.А. Унковская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 63-67. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0009.

Введение. В современном мире неопределенность является неотъемлемым спутником банковской сферы, т.к. данная область подвергается одновременному воздействию различных факторов, которые сложно оценить совокупно. Также сохраняется неопределенность реакции данного сектора на те или иные воздействия. Поэтому процесс принятия решения по выбору банковского продукта в настоящее время является чрезвычайно сложным и нуждается в применении современных программных средств, основанных на использовании нечеткой логики. Сложность выбора также заключается в том, что входная информация является трудноформализуемой и складывается из личных предпочтений конкретного индивида. Выразив эти предпочтения вербально, можно используя количественную оценку и формализмы нечеткой логики составить соответствующую экспертную модель.

Целью данного исследования является описание механизма, позволяющего интегрировать метод многокритериального выбора альтернатив в типовую банковскую автоматизированную систему, тем самым снизив уровень входной неопределенности экспертной модели и предоставив возможность получения объективных количественных прогнозов.

До недавнего времени в России почти полностью отсутствовали исследования в области банковской сферы с использованием нечетко-множественного анализа и прогнозирования, хотя к этому времени уже были созданы все необходимые предпосылки для моделирования финансовых систем. Поэтому сейчас имеется значительное отставание от зарубежного уровня исследований и прикладных решений [1]. Таким образом, рассмотренная в статье тема является особенно актуальной, т.к. имеется необходимость в разработке собственных программных средств, которые будут учитывать специфику российского банковского сектора, а также основываться на перспективном мировом направлении экономической науки – нечеткой логике.

Методология. Для минимизации неопределенности при принятии решений используем метод многокритериального выбора альтернатив на базе нечетких множеств, на основе которого в данной статье приводится описание алгоритма и общей схемы применения нечеткой логики в бизнес-процессах банковской сферы.

По имеющимся исходным предпочтениям и нечетким оценкам опишем обобщенную цель: выбор оптимальной альтернативы, удовлетворяющий определенному набору критериев. Далее выделим нечеткие понятия в решающем правиле, являющиеся элементарными целями/подцелями, и поставим им в соответствие нечеткие множества [2]. Множество альтернатив обозначим $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4 \dots S_n\}$, множество критериев $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4 \dots K_p\}$. Поставим в соответствие каждому критерию из множества К нечеткое множество (НМ) [3]:

$$\tilde{K}_i = \{ \mu_{\tilde{K}_i}(S_1)/S_1; \mu_{\tilde{K}_i}(S_2)/S_2 \dots \mu_{\tilde{K}_i}(S_n)/S_n \} \quad (1)$$

Построим матрицы парных сравнений для определения качественных критериев, для определения количественных критериев используем S и Z-образные функции принадлежности (рис. 1, 2). Z-образная функция используется для представления таких свойств нечетких множеств, которые характеризуются неопределенностью типа: "малое количество", "небольшое значение", "незначительная величина", "низкая себестоимость продукции", "низкий уровень цен или доходов", "низкая процентная ставка" и др. S-образная функции используется для неопределенности типа: "высокая норма прибыли", "высокое качество услуг", "высокий сервис обслуживания" и др [4].

$$f_s(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a}\pi\right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (2)$$

$$f_z(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a}\pi\right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (3)$$

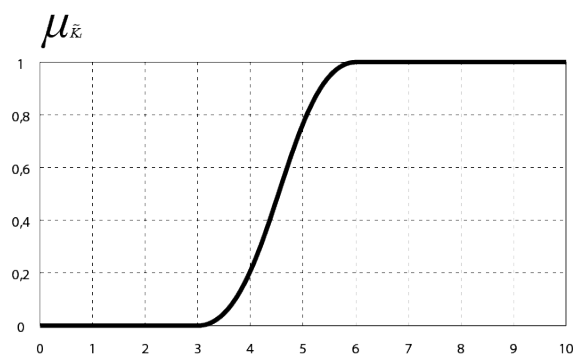


Рисунок 1 – S-образная функция принадлежности

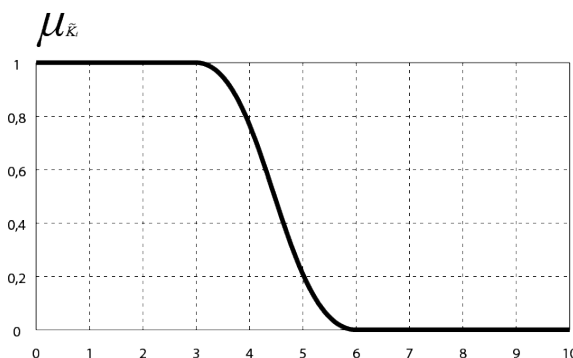


Рисунок 2 – Z-образная функция принадлежности

Затем нужно произвести свёртку и определить лучшую альтернативу. Решающее правило формализуем с помощью операции пересечения, определив \tilde{K} и $\tilde{K}_{\text{норм}}$, т.к. все критерии определены на одном базовом множестве [5]. Лучшей будет являться альтернатива с максимальной степенью принадлежности [6].

Если требуется выбрать альтернативу с уче-

том значимости критериев, следует выполнить нормировку полученного результата. Формула для этих вычислений: извлекается корень n -й степени (n – размерность матрицы сравнений) из произведений элементов каждой строки [7].

Результаты. Рассмотрим интеграцию данного метода в бизнес-процессы банковской сферы на примере выбора шаблона продукта (ШП) банка. В этом случае множеством альтернатив S_n будет являться перечень ШП банка. Выбор ШП будет осуществляться на множестве критериев K_i . Для нашего частного случая такими критериями могут выступать «низкая процентная ставка по кредиту», «возможность досрочного погашения», «низкий первоначальный взнос» и др.

Какая процентная ставка по кредиту сегодня будет являться низкой? Чтобы это узнать, необходимо получить экспертную оценку заемщиков, пользующихся кредитными продуктами банка. Становится возможным определить некую среднюю

ставку заимствований, вокруг которой группируются все остальные ставки. И, чем далее вправо по оси X (уровень процентной ставки) мы будем двигаться от определенного среднего значения, тем больше оснований мы получаем заявлять, что данная ставка – «высокая». Так мы можем выделить три группы ставок: «высокая», «средняя», «низкая» – и разнести все имеющиеся ставки по выделенным классам. Четкие множества интервалов преобразуются в нечеткие подмножества с размытыми границами, а степень принадлежности той или иной процентной ставки к данному подмножеству определяется функцией принадлежности, построенной по специальным правилам [8]. С учетом описанной методологии выполним свертку, формализуем решающее правило и получим оптимальную альтернативу (ОА) – ШП с максимальной степенью принадлежности.

Блок-схема алгоритма, реализующего интеграцию данного метода, представлена на рисунках 3 и 4.

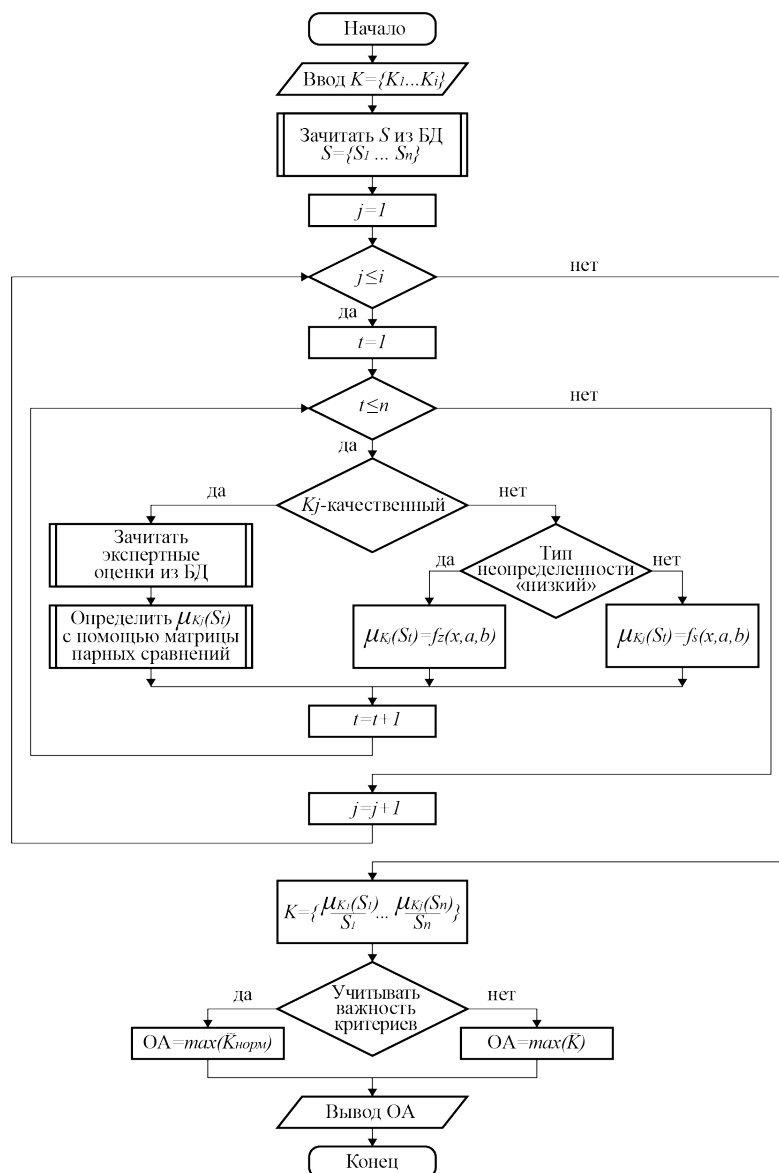


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма

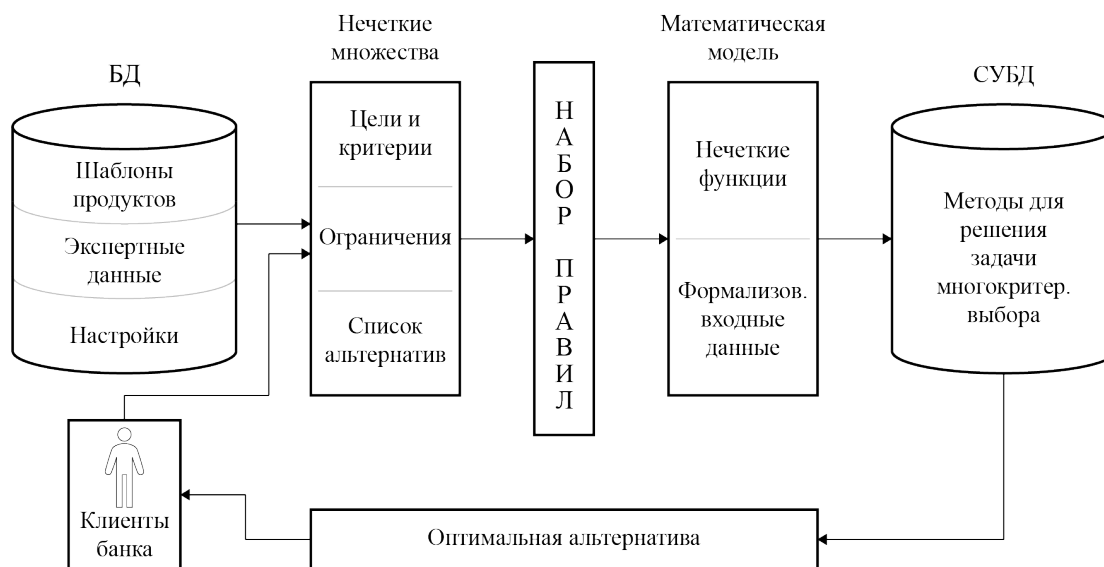


Рисунок 4 – Схема интеграции метода многокритериального выбора

На основе вышеизложенного можно составить схему интеграции метода многокритериального выбора альтернатив в бизнес-процессы банка. Реализация данной схемы носит общий характер и не привязана к конкретному языку программирования, поэтому может быть применима в большинстве банков, использующих реляционную СУБД.

В качестве входных данных будем использовать информацию, хранящуюся в базе данных банка: метаданные, содержащие информацию о шаблонах продуктов, настройках, задающих ограничения по использованию ШП и прочую информацию хранилища. В качестве базы знаний используем метаданные об экспертных оценках.

Нам потребуются следующие структуры данных: для хранения множества альтернатив S_n и множества критериев K_i будем использовать одномерные массивы. Для организации работы с входными данными используем двумерный массив. Также нам потребуются методы для работы с матрицами, используемые в операциях пересечения и при работе с матрицами парных сравнений.

СУБД обеспечивает целостность и согласованность данных в БД, а также доступ к методам для решения задачи многокритериального выбора [9]. Для каждой группы методов реализуем соответствующие интерфейсы:

- *Input* – интерфейс для ввода входных данных;
- *Rule* – определение и выбор нечеткого правила;
- *Fuzzy functions* – задание нечетких функций;
- *Matrix* – интерфейс для работы с матрицами, операции пересечения;
- *Calculate* – вычисление оптимальной альтернативы, свертка, нормировка, решающее правило;

На основе входных данных, полученных от клиентов банка (интерфейс *Input*), и имеющихся метаданных, описывающих состав, структуру, ограничения целостности, опишем нечеткие правила (интерфейс *Rule*) построим нечеткие множества F

(интерфейс *Fuzzy functions*). Сформируем решающее правило и определим альтернативу с максимальной степенью принадлежности – оптимальную альтернативу (интерфейс *Calculate*).

Полученную оптимальную альтернативу можно передавать в различные сервисы, предоставляющие информацию клиенту банка.

Обсуждение. В реальном банке услуги не предоставляются клиентам в чистом виде, так как сейчас на этапе развития банковского дела происходит «перемешивание» различных видов услуг, пакеты которых продают в качестве банковских продуктов [10]. Критерии и параметры банковских продуктов разнообразны и далеко не всегда возможно учесть все факторы, влияющие на результат [11]. Поэтому возникает необходимость в создании средств, которые будут помогать человеку в принятии решений [12].

Для решения задач многокритериальной оптимизации разработан ряд отечественных и зарубежных программных комплексов: расширение *Optimization Toolbox* вычислительной среды *MatLab* [13], пакет *DirectSearch* вычислительной среды *Maple* [14], система компьютерной алгебры *Mathcad* [15], система *MOVI (Multicriteria Optimization and Vector Identification)* [16], система многокритериального выбора *Quick Choice* [17], система *ДИСО* (диалоговая система оптимизации) [18]. Для решения задач нелинейного программирования: *AMPL* [19], *NEOS* и другие [20].

Но главным недостатком данных программных комплексов является то, что их невозможно интегрировать в автоматизированную систему банка (АИС), а нужно использовать как самостоятельные средства. Это потребует дополнительных временных и финансовых затрат на приобретение и обучение персонала, приведет к избыточности при дублировании данных из АИС банка, не позволит оперативно учитывать изменения критериев и параметров АИС. Также данные средства не учитывают специфику ведения шаблонов продуктов и бизнес-процессы

конкретного банка. Имеющиеся программные комплексы не доступны для понимания и использования широким кругом лиц, поэтому требуются понятные и доступные сервисы, предоставляемые самим банком.

Предложенная мною схема применения алгоритма, описанного в данной статье, не имеет данных недостатков. Интеграция в имеющуюся АИС будет учитывать специфику работы конкретного банка на основе актуальных данных, накопленной статистической информации и экспертных оценок, что позволит создавать удобные понятные сервисы для решения задач многокритериальной оптимизации как для клиентов банка, так и для других пользователей АИС, которые помогут снизить риски вложений, привлечь потенциальных клиентов, позволят минимизировать неопределенность при проведении анализа эффективности инвестиционного проекта.

Выводы. Описанный в данной статье алгоритм поможет выполнить выбор в условиях неопределенности, что будет соответствовать реальной жизни. Полученную в результате реализации данного алгоритма альтернативу можно применять для прогнозов с гораздо большей точностью, чем при использовании «четких» методов. При необходимости, описанная общая схема может быть адаптирована под нужды конкретного банка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ведерников В.В. Нечетко-множественное моделирование в анализе и прогнозировании экономических явлений и процессов: исторический аспект // Проблемы современной экономики. – 2006. – №1/2 (17-18). – С. 446-449.
2. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решения // Учеб. пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
4. Рыбанов А.А., Фадеева М.В. Методы анализа нечеткой информации [Электронный ресурс] // Электронное учебное пособие. – 2019. – URL: <http://lib.volpi.ru:57772/csp/lib/PDF/612280797.pdf> (дата обращения 05.09.2022).
5. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
6. Соколова А.Ю. Разработка моделей многокритериального выбора альтернатив на основе нечетких множеств второго порядка для решения экономических задач [Электронный ресурс]. – URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013005917> (дата обращения 10.08.2022).
7. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
8. Недосекин Алексей. Аудит и финансовый анализ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.finansy.ru/book/inv/001.htm> (дата обращения 03.08.2022).
9. Мамедли Р.Э. Системы управления базами данных: Учебное пособие. – Нижневартовск: изд. Нижневартовского государственного университета, 2021. – 214 с.
10. Князева Е.Г. Направления совершенствования предоставления банковских продуктов и услуг для юридических лиц [Электронный ресурс]. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/91789/1/m_th_a.i.kalashnikova_2020.pdf (дата обращения 10.08.2022).
11. Амбер Александр. Управление банковским продуктом [Электронный ресурс]. – URL: <https://pandia.ru/text/78/330/98-3.php> (дата обращения 12.08.2022).
12. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях

// Учебно-методическое пособие. – СПб.: Ютас, 2007. – 104 с.

13. Трифонов А.Г. Optimization Toolbox 2.2 Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/index.php (дата обращения 18.08.2022).

14. Официальный сайт Maple [Электронный ресурс]. – URL: <https://maplesoft.com> (дата обращения 18.08.2022).

15. Официальный сайт Mathcad [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathcad.com> (дата обращения 18.08.2022).

16. Официальный сайт MOVI [Электронный ресурс]. – URL: <http://psi-movi.com> (дата обращения 18.08.2022).

17. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 416 с.

18. Малышев И.А. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия экономических решений на основе методов теорий нечетких множеств [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-intellektualnoi-sistemy-podderzhki-prinyatiya-ekonomicheskikh-reshenii-na-osnove-> (дата обращения 18.08.2022).

19. Официальный сайт AMPL [Электронный ресурс]. – URL: <https://ampl.com/products/ampl> (дата обращения 18.08.2022).

20. Хабарова Д.С. Обзор программных комплексов многокритериальной оптимизации [Электронный ресурс] // Прикладная информатика. – 2013. – №2(44). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-programmnyh-kompleksov-mnogokriterialnoy-optimizatsii/viewer> (дата обращения 18.08.2022).

Статья поступила в редакцию 29.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.032

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0010

**УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ, МАСШТАБИРУЕМОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С АРХИТЕКТУРОЙ
NEUROMATRIX С КОМПЛЕКСНЫМИ ДАННЫМИ**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 5550-9178

ORCID: 0000-0002-2701-6972

Author ID: РИНЦ 424291

Researcher ID: WoS V-9422-2017

SCOPUS ID: 7006524214

РУЧКИН Владимир Николаевич, доктор технических наук,
профессор кафедры «Информатика, вычислительная техника и методика преподавания информатики»

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
(390046, Россия, Рязань, улица Свободы, 46, e-mail: v.ruchkin@365.rsu.edu.ru)*

SPIN: 3897-5570

AuthorID: 496097

ORCID: 0000-0002-2984-4480

ResearcherID: S-2837-2019

ScopusID: 56052044700

КОСТРОВ Борис Васильевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины»

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
(390005, Россия, Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru)*

SPIN: 8983-8699

AuthorID: 424301

ORCID: 0000-0003-4100-8722

ScopusID: 6701741037

ResearcherID: ADY-9901-2022

РУЧКИНА Екатерина Владимировна, доцент кафедры гуманитарных наук
*Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
(390044, Рязань, ул. Костычева, 1, e-mail: ek-ruchkina@yandex.ru)*

SPIN: 4820-6002

AuthorID: 652815

ORCID: 0000-0001-6062-1966

ResearcherID: ABF-4683-2020

ScopusID: 57188392300

ФУЛИН Владимир Андреевич, начальник центра дистанционного обучения
и мониторинга качества образования

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
(390046, Россия, Рязань, улица Свободы, 46, e-mail: v.fulin@365.rsu.edu.ru)*

Аннотация. Решается задача обеспечения качественных свойств универсальности, масштабируемости и энергоэффективности аппаратных и программных средств на основе современного отечественного нейропроцессорного модуля архитектуры *NeuroMatrix*. Предлагается методика интеллектуального управления нейропроцессорными ресурсами с целью совместного проектирования аппаратных и программных средств на основе теоретико-множественной явной и неявной кластеризации с вещественными и комплексными данными. Предлагается математическое теоретико-множественное представление анализа различных структур с целью оптимального выбора, которая позволяет спроектировать программно-перестраиваемую много ядерную нейропроцессорную архитектуру обработки больших потоков данных. Разрабатывается комплекс программ моделирования многокритериального нечеткого управления выбором наилучшей структуры по различным техническим характеристикам: производительность системы, количество нейронных сопроцессоров – ядер, объем микропрограммной памяти, количество банков внутренней памяти и количество внешних шин системы, «оценки значения критерия» управления согласно аддитивной функции полезности.

Ключевые слова: нейропроцессорные ресурсы, универсальность, масштабируемость, энергоэффективность, теоретико-множественная кластеризация, классы эквивалентности, лингвистические переменные, нечеткий анализ и выбор, архитектура *NeuroMatrix*, RISC, сопроцессор, количество сопроцессоров, ядро, ядро обработки векторных данных, фиксированная точка (CPU), плавающая точка (FPU), вещественные и комплексные данные.

UNIVERSALITY, SCALABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF DESIGN OF HARD AND SOFT WARE ARCHITECTURES NEURO MATRIX WITH COMPLEX DATES

© The Authors 2022

RUCHKIN Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences,
professor of «Informatics, computer systems and methodic of education informatics»

Ryazan State University

(390046, Russia, Ryazan, Svoboda st. 46, e-mail: v.ruchkin@365.rsu.edu.ru)

KOSTROV Boris Vasilevich, doctor of technical sciences, professor,
head of the Department "Electronic computer mashins"

Ryazan State Radio-Engineering University

(390005, Russia, Ryazan, Gagarin st. 59/1, e-mail: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru)

RUCHKINA Ekaterina Vladimirovna, assistant professor "Humanities" department

Ryazan State Agrotechnological University

(390044, Ryazan, Kostychev St., 1, e-mail: ek-ruchkina@yandex.ru)

FULIN Vladimir Andreevich, head of the center for distance learning and monitoring quality of education

Ryazan State University

(390046, Russia, Ryazan, Svoboda st. 46, e-mail: v.fulin@365.rsu.edu.ru)

Abstract. The problem of ensuring the qualitative properties of universality, scalability and energy efficiency on the basis of a modern domestic neuroprocessor module is being solved. A technique for intelligent control of neuroprocessor resources is proposed for the purpose of joint design of hardware and software based on set-theoretic explicit and implicit clustering with real and complex data. A mathematical theoretical and multiple representation of the analysis of various structures with the aim of optimal choice is proposed, which allows building a multi-core non-roprocessor architecture for processing large data streams. A set of programs is being developed for modeling multi-criteria fuzzy control by choosing the best structure for various technical characteristics: system performance, the number of neural coprocessors - cores, the amount of microprogram memory, the number of internal memory banks and the number of external system buses, "criteria value estimates" of control according to the additive utility function.

Keywords: neuroprocessor resources, universality, scalability, energy efficiency, set-theoretic clustering, equivalence classes, linguistic variables, fuzzy analysis and choice, *NeuroMatrix architecture*, *RISC*, coprocessor, number of coprocessors, core, vector processing core data, fixed point (*CPU*), floating point (*FPU*), real and complex data.

Для цитирования: Ручкин В.Н. Универсальность, масштабируемость и энерго эффективность проектирования аппаратных и программных средств с архитектурой *Neuromatrix* с комплексными данными / В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, Е.В. Ручкина, В.А. Фулин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 68-73. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0010.

Введение. Как показывает практика [1-3], на современном этапе развития высокопроизводительных вычислительных средств, в том числе и нейронных интеллектуальных систем, недостаточно следить и управлять тактико – техническими характеристиками, необходимо в целом оценить и гибко управлять универсальностью, масштабируемостью и низким энерго потреблением [4-6]. Такие задачи можно решать одновременно (*Co-Design*) использованием сопроцессоров и значительного числа ядер различного типа. Кроме того, можно обеспечить также оптимизацию решение задач с использованием распараллеливания по командам, по данным на различных уровнях обработки: внутри ядра, между ядрами внутри кластера, кластерами на кристалле и кристаллами в системе. В результате за счет разработки экспертной системы создается гибкая архитектура управления этими сопроцессорами или ядрами. Более того, требования большинства приложений: радиолокации, навигации, связи и др. задачах сводятся к обработке больших данных с возможностью векторно – матричных вычислений в реальном времени, применения нейронных сетей и глубоких нейронных сетей с вещественными и комплексными

данными. Целью работы является создание и апробация модели совместного проектирования аппаратных и программных нейропроцессорных средств (*Co-Design*), позволяющей проанализировать исходя из заданных алгоритмов возможности кластеризации явного и неявного параллелизма. Предлагаемое математическое теоретико – множественное представление анализа различных структур с целью оптимального выбора позволяет создать программно перестраиваемую много ядерную нейропроцессорную архитектуру обработки больших потоков с вещественными и комплексными данными. При этом решается задача обеспечения всех вышеперечисленных свойств универсальности, масштабируемости и энергоэффективности на основе современного отечественного нейропроцессорного модуля с архитектурой *NeuroMatrix*, позволяющего *RISC* – процессору подключать сопроцессоры или ядра обработки с фиксированной (*CPU*) и плавающей точками (*FPU*) для четырех типов данных: двойной точности, одинарной точности с комплексными данными, одинарной точности с векторными данными и одинарной точности над матричными данными.

Методология. *Модель co-design проектирования*

нейропроцессорных многоядерных структур. Проектируемая нейропроцессорная многоядерная структура (НПМЯС) обеспечивает работу множества алгоритмов обработки информации $A^{(i)}$ и представляет собой специализированное устройство обработки больших потоков данных с учетом универсальности, масштабируемости и энергоэффективности.

А. Исходное множество алгоритмов. В основе предлагаемого авторами подхода [8,9] лежит функциональный принцип, базирующийся на множество алгоритмов $A(j)$ обработки конкретной предметной области в виде упорядоченного кортежа простейших арифметических и логических операций O_j :

$$A^{(i)} = (O_p, O_q, \dots, O_l, O_2, O_p, \dots, O_r). \quad (1)$$

В. Выбор элементной базы. Организация работы НПМЯС и вычислительного процесса определяется выбором элементной базы в виде набора нейропроцессоров (*chipset*) со множеством команд $MK = \{MK_p, MK_2, \dots, MK_m\}$, реализующих вышеприведенные простейшие операции.

Таким образом на этапе проектирования нейропроцессорной системы решается задача получения результата некоторого преобразования

$$O_l \rightarrow \{MK_m\}; \forall m = 1, K; \forall l = 1, L. \quad (2)$$

С. Однопроцессорный (централизованный) или одноядерный вычислитель. В результате каждая операция исходного множества алгоритмов (1) реализуется посредством упорядоченного кортежа команд согласно (2) в виде программ $PR^{(i)}$:

$$PR^{(i)} = \{MK_p, MK_2, \dots, MK_r, \dots, MK_M\} \quad (3)$$

С учетом произвольности выбора элементной базы в виде множества простейших команд MK и решения задачи (2) исходный алгоритм $A(j)$ может иметь несколько вариантов реализации программ $PR^{(i)}$ (3). При чем каждый вариант имеет свои тактико-технические характеристики в виде параметров быстродействия, объема микропрограммной памяти или количества банков внутренней памяти и поэтому характеризует затраты определенных вычислительных ресурсов. Очевидно, что среди множества решений можно найти вариант с наилучшими параметрами и наименьшими ресурсами или говорят оптимальный. Получение одинаковых результатов указывает на единственное решение.

Выражение (3) представляет собой централизованный: одно нейропроцессорный или одноядерный вариант реализации системы обработки и имеет недостаточно высокие технические характеристики, однако требует минимальных вычислительных ресурсов. Для получения качественно повышенных характеристик производительности, затрат памяти и решения задач универсальности, масштабируемости и эффективности энергопотребления авторы предлагают мультипроцессорные и мультаядерные системы с близко к оптимальным вычислительным ресурсам.

Д. Кластеризация. Для осуществления распараллеливания и в дальнейшем мультипроцессорования требуется решение задачи распараллеливания

программы обработки (3) посредством кластеризации, под которой понимается выделение некоторых подобных частей – кластеров основной программы, осуществляющих конечное число операций определенной длины $|CL_k|$ и конкретного состава. В результате программа разбивается на кластеры CL_l – множество одинаковых по длине и по составу подпрограмм в виде непересекающихся множеств классов эквивалентности согласно свойствам рефлексивности, симметричности и транзитивности [8,9] теоретико-множественного анализа. Математически равенство $CL_l = CL_k$ произвольно выбранных l и k кластеров обработки информации представляется как эквивалентность длин указанных кластеров $|CL_l| = |CL_k|$ и полное соответствие их с точностью до команды $MK_i^{(k)} = MK_i^{(l)}, PR^{(i)} = \langle MK_p, MK_r, \dots, MK_j \rangle$

$$PR^{(i)}: A^{(i)} \rightarrow PR^{(i)}, j = 1, N. \quad (4)$$

Е. Кластеризация явного параллелизма. Выявление конечного числа кластеров согласно (4) и их взаимосвязей по обмену данными между собой указывает на явный параллелизм (независимость). Нарушение свойств эквивалентности устанавливает наличие неявного параллелизма в тех случаях, когда не удается четко и равно выделить классы эквивалентности и, соответственно, кластеры. Существует несколько методов решения кластерного анализа [10] явного параллелизма. Для неявного параллелизма авторы предлагают использование нечетких множеств и лингвистических переменных [8,9].

Ф. Децентрализованная структура обработки информации. Выявление последовательного и/или параллельного обмена информацией внутри кластеров или между кластерами осуществляется посредством анализа исходных алгоритмов в результате разбиения исходной программы (3) на произвольно взятые кластеры C_l или CL_k . Определение и подтверждение свойств эквивалентности дает правило объединять кластеры в различные структуры $S_w \in S$. Тогда появляется возможность некоторой программе обработки (4) математически ставить в соответствие множество кластеров CL_r . При чем, в зависимости от исходных алгоритмов (1) и кортежей (2), (3) появляются последовательно или параллельно связанные между собой кластеры распределенной структуры проектируемой нейропроцессорной системы.

$$\forall j = \overline{1, NA^{(j)}} \Rightarrow \forall j = \overline{1, N}, PR^{(j)} \Rightarrow \{(CL_l)^q\}, \forall q = \overline{1, a_l}; \forall l = 1, L \quad (5)$$

Выражение (5) удовлетворяет свойствам рефлексивности, симметричности и транзитивности [7,9].

Рефлексивность устанавливает однозначное соответствие произвольно взятого кластера C_l самому себе.

Симметричность показывает, что при наличии эквивалентности произвольно взятых кластеров C_l и CL_k следует наличие обратной эквивалентности кластеров CL_k и C_l .

Транзитивность утверждает, что наличие эквива-

лентностей произвольно взятых кластеров C_i и CL_k и кластеров C_j и CL_k приводит к эквивалентности кластеров CL_j и C_i .

Выполнение вышеперечисленных свойств позволяет исходную программу разбить на классы непересекающихся множеств – кластеров или классов эквивалентности определенного порядка или мощности.

Определение. Структура $S_w \in S$ определяет однозначное соответствие некоторой j -й программе обработки PR совокупность независимых и неравных между собой кластеров C_p , число которых равно числу классов эквивалентности L , а кратность (q) определяется порядком класса эквивалентности (a). Кроме того, в процессе анализа устанавливается тип обмена информации между кластерами внутри класса и тип обмена информации между кластерами различных классов:

Таким образом, выражение (5) определяет результат решения задачи явного распараллеливания алгоритмов на множество кластеров и организации обработки информации в виде структуры передачи данных последовательно или параллельно между кластерами.

Г. Программирование ядер. Подпрограммы обработки PR в машинных командах MK согласно (4) в виде кластеров CL определенной кратности q реализуются на одном из сопроцессоров или ядер данного или соседнего кластера, как это осуществляется в $VLSI$ 1879BM8Я. В результате согласно (5,6) решаются проблема универсальности и масштабируемости.

Н. Оценка тактико-технических характеристик. Решая задачу (5) определяются технические параметры каждой структуры $S_w \in S$, образующие множество T : быстродействие $1/TR$, объем микропрограммной памяти $[MP]$ или количество банков внутренней памяти, число сопроцессоров или ядер N_o , полезность структуры U_i , а также оценку энергоэффективности: какие ядра работают и какие

“спят”.

Количество и тип сопроцессоров и ядер, количество банков внутренней памяти на прямую связаны с требуемой производительностью системы и наращиваются за счет универсальности и масштабируемости.

1. Концептуальная модель проектирования. Сформированные выше множества $A^{(i)}$, MK , PR , CL , S , T представляют собой предметную область выбора наилучшей нейропроцессорной многоядерной структуры (НПМЯС) и задают концептуальную модель проектирования в виде шестерки множеств:

$$\langle A^{(i)}, MK, PR, CL, S, T \rangle. (6)$$

Предлагаемая модель позволяет сконцентрировать внимание на основных технических параметрах T и за счет экспертной системы постоянно контролировать и гибко управлять универсальностью, масштабируемостью и низким энерго потреблением.

Результаты. А. Работа главного операционного устройства. Многообразие решаемых задач требует наличия возможности обрабатывать как вещественные, так и комплексные данные. С этой целью была использована методика разработчиков нейропроцессоров [3,4]: работа которой сводится к следующим четырем режимам умножения (*) двух чисел B и C и сложением с третьим A :

– плавающая точка двойной точности (рис. 1а): $D = A + B * C$;

– плавающая точка одинарной точности (рис. 1б): действительная $D_0 = A_0 + B_0 * C_1 + B_1 * C_0$; комплексная $D_1 = A_1 + B_1 * C_1 - B_0 * C_0$ с комплексными данными B_0 и B_1 ; A_0 и A_1 ; C_0 и C_1 ;

– плавающая точка одинарной точности (рис. 1в): $D_1 = A_1 + B_1 * C_1$ и $D_0 = A_0 + B_0 * C_0$ с двухэлементными векторными данными B_0 и B_1 ; A_0 и A_1 ; C_0 и C_1 ;

– плавающая точка одинарной точности (рис. 1г): над матричными данными и операнда в виде одного 64 – разрядного данного или вектора из двух 32 – разрядных данных, считываемых только из одного векторного регистра...“.

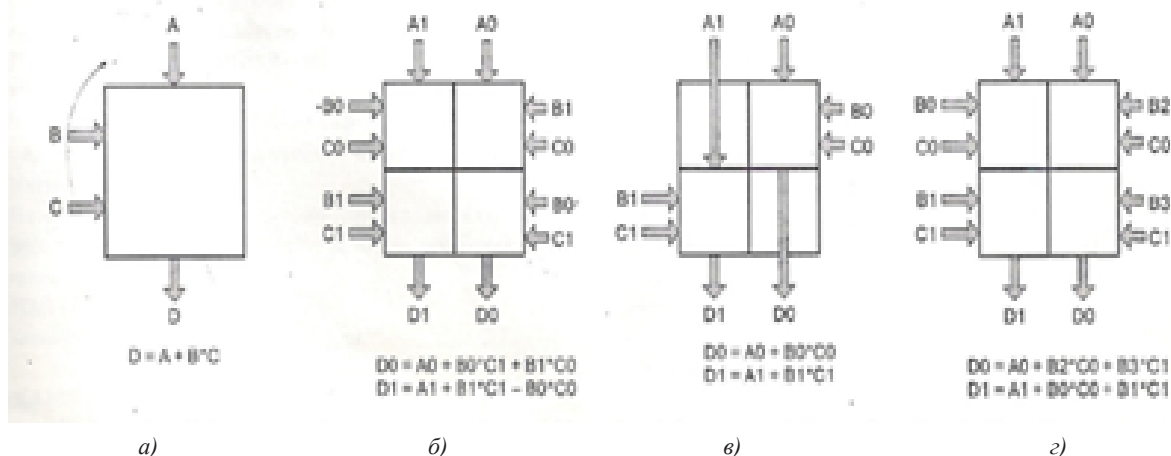


Рисунок 1 – Операции с плавающей точкой с данными: двойной точности (1а), одинарной точности с комплексными данными (1б), одинарной точности с векторными данными (1в) и одинарной точности (1г) над матричными данными

В. Визуальный интерфейс экспертной системы выбора структуры. Структура классовой компьютерной системы *class ComputerSystemStructure* определяет тип наиболее целесообразной нейронной компьютерной сети. Визуальный графический интерфейс экспертной системы осуществляет выбор наиболее целесообразной структуры согласно концептуальной модели (8) и включает в себя четыре подсистемы [7].

Первоначально в подсистему *Data entry* загружаются результаты кластерного анализа исходных алгоритмов: *Number of equivalence clusters* – число определяемых классов эквивалентности, равное числу кластеров, *Order of equivalence classes or clusters* - порядок каждого класса (*al*) или кластера, *Data interchange between classes or clusters: Sequential* – последовательно и *Parallel* – параллельно – характер обмена данными внутри класса (I) и между классами – кластерами.

На рисунке 2 в этой подсистеме указаны три кластера и порядки каждого кластера 3, 2, 1, представленные, соответственно, тремя, двумя и одним ядрами с последовательным и параллельным обменом информации между кластерами. Последнее означает, что кластеры обмениваются между собой в конвейере, а внутри кластера ядра связаны параллельно. В результате анализа имеем почти конвейерно – векторную структуру. Этот результат «*Neary pipeline vector structure*» и выводится экспертной системой в

качестве «Выходные данные» подсистемой *Data output*. Далее экспертная система в третьей подсистеме «Графическое представление» – *Grafical representation* приводит изображение полученной структуры с указанием количество используемых в данный момент трех кластеров с количеством используемых ядер 3, 2 и 1, т.е. шести. Прямоугольник соответствует ядру. Стрелками обозначены связи между кластерами и ядрами. Остальные (в нашем случае 10 ядер) неуказанные ядра находятся в спящем режиме и могут быть подключены при увеличении объемов обрабатываемых данных или изменении алгоритмов обработки: более сложные и менее сложные. В четвертой подсистеме «Тактико-технические характеристики» (*Method of an indistinct fuzzy logical output*) в результате анализа вычисляются основные тактико – технические характеристики выбранной нейронной структуры: производительность структуры, число используемых ядер, размер занятой памяти, частоты работы процессора и ряд характеристик расчета анализа промежуточных данных.

Из приведенных данных легко оценить энергоэффективность проектируемой нейро системы, приняв среднее потребление микросхемы с 21 ядром в количестве 24 wt, полученная почти конвейерно – векторная структура потребляет 9 wt.

Ранее в работе [10] авторами были исследованы и получены оценки восстанавливаемости и живучести нейропроцессорных систем.

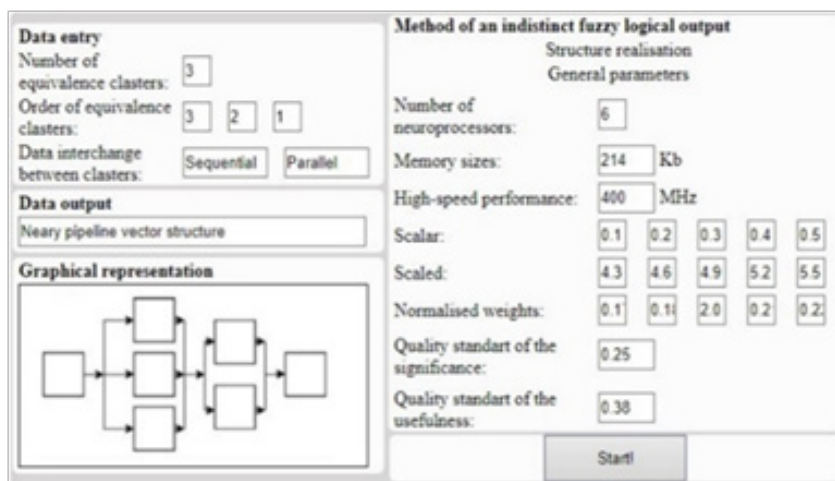


Рисунок 2 – Визуальный графический интерфейс экспертной системы

С. Описание платформы. Все приводимые результаты получены с использованием универсального модуля *MS 127.05* (рис. 3), работающего на основе гетерогенной нейропроцессорной системы на чипе СНК (система на кристалле), которая содержит 16-ядерный процессор *NeuroMatrix Core 4* и пять *ARM Cortex-A5* на кристалле *VLSI 1879BM8Я*. Данный модуль является внешним устройством для любого персонального компьютера PC и подключается через шину *PCI Express* к материнской плате. Разработчики [3,4] *MS 127.05* приводят следующие характеристики:

универсальный контрольный 32-битный процессор *ARM* с архитектурой *RISC* семейства *Cortex-A5*, частотой процессора – 800 MHz, с шиной *ISA – ARMv7*.

Параметры ядер процессора *NMC4*: частота – 1000 MHz; *ISA – NMC4*; размер адресного пространства – 4Gx32 бита; обработка 32-битных и 64-битных данных в формате с плавающей запятой; производительность с одинарной точностью – 32 GFLOPs и двойной точностью – 8 GFLOPs; 4 ядра; модуль переупаковки данных, который преобразует данные целочисленного формата в формат с плавающей запятой одинар-

ной и двойной точности и наоборот.



Рисунок 3 – Модуль MC 127.05 – гетерогенная мультипроцессорная система на чипе K1879BM8Y

Обсуждение. Сформированные выше множества $A^{(i)}$, MK , PR , CL , S , T представляют собой предметную область выбора наилучшей нейропроцессорной многоядерной структуры (НПМЯС) и задают концептуальную модель проектирования в виде шестерки множеств: $\langle A^{(i)}, MK, PR, CL, S, T \rangle$ и являющейся основой разработанной экспертной системой. На основе рассмотренных отношений разрабатывается комплекс программ моделирования многокритериального управления выбором по различным техническим характеристикам: производительность системы, количество нейронных сопроцессоров – ядер, объем микропрограммной памяти, количество банков внутренней памяти и количество внешних шин системы, «оценки значения критерия» управления согласно аддитивной функции полезности. Важной особенностью предлагаемого метода является возможность управления многоядерным операционным устройством для выполнения векторных и матричных операций над целочисленными вещественными и комплексными данными в формате с плавающей точкой в различных режимах. В дальнейшем программное обеспечение можно использовать и с картой *NM Card* (2022 года) на основе СБИС1879BM8Я.

Выводы. Разработанная концептуальная модель анализа аппаратно – программных средств (*Co-Design*) проектирования нейропроцессорных многоядерных структур позволяет обеспечить анализ тактико-технических характеристик с целью обеспечения организации структуры и реализации качественных свойств универсальности, масштабируемости и управляемого энергопотребления на основе современного отечественного нейропроцессорного модуля *MC 127.05*.

Предлагается методика интеллектуального управления нейропроцессорными ресурсами с целью совместного проектирования аппаратных и программных средств на основе явной кластеризации с вещественными, комплексными, векторными и матричными данными. Математическое теоретико-множественное представление анализа различных структур с целью оптимального выбора, которая позволяет построить много ядерную нейропроцессорную архитектуру обработки больших потоков

данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. L. Jozwiak: *Advanced Mobile and Wearable Systems, Microprocessors and Microsystems*, Elsevier. – Vol. 50, May 2017. – P. 202-221.
2. "Embedded Computing Technology for Highly-demanding Cyber-Physical Systems", *IFAC-PapersOnLine* 12/2015. – 48 (4). – P. 19-30. – DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.07.002.
3. Chernikov Alexander, Chernikov Vladimir, Vixne Pavel, Shelukhin Alexander *High-Performance NMC4 Vector Processor Core For Fixed And Floating Point Calculations // Proceeding of 6th Moscow Supercomputing Forum 2015*. – pp. 13-14.
4. Chernikov Alexander, Chernikov Vladimir, Vixne Pavel, Shelukhin Alexander *New Core Of Signal Processor Core NMC4 Of Set Neuro Matrix // Proceeding of 6th Moscow Supercomputing Forum 2015*. – P. 12-13.
5. Platonov A.E. *Embedded Control Systems // Control Eng. Russia*. – 2013. – Vol. 1. – P. 9.
6. Teich J. *Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future // Proc. IEEE*. – 2012. – Vol. 100. – № Special Centennial Issue. – P. 1411–1430.
7. Григоренко Д.В., Ручкин В.Н. Повышение восстанавливаемости кластерных нейропроцессорных систем обработки данных. М.: Цифровая обработка сигналов. – №1. – 2013. – С. 67-72.
8. Ручкин В.Н. Интеллектуальная стратегия обеспечения безопасности посредством выбора архитектуры вычислительных и нейронных сетей / В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, В.А. Фулин // *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*. – 2022. – № 3. – С. 9-23.
10. Ручкин В.Н. Кодирование информации в нейро-микропроцессоре *neuromatrix @NM640X* / В.Н. Ручкин, А.С. Захарова, А.В. Куличкина // *Информатика и прикладная математика*. – 2018. – № 24. – С. 88-92.
11. Моделирование многокритериального анализа выбора структуры нейропроцессорной системы / В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, В.А. Романчук [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2018. – № 9. – С. 157-166.

Статья поступила в редакцию 11.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 616-78

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0011

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СИМУЛЯТОР СЕРДЕЧНОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 1684-7880

AuthorID: 435014

ORCID: 0000-0002-3416-2417

ResearcherID: N-3673-2018

ScopusID: 26425316100

СИДОРОВА Маргарита Александровна, кандидат технических наук,

доцент, доцент кафедры «Биомедицинская инженерия»

Пензенский государственный технологический университет

(440028, Россия, Пенза, улица Гагарина 11/Байдукова 1а, e-mail: sidorova_mailbox@mail.ru)

SPIN: 1222-5399

AuthorID: 517750

ORCID: 0000-0003-0933-1212

ResearcherID: P-2232-2015

ScopusID: 7004205146

ЧУЛКОВ Валерий Александрович, доктор технических наук,

профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия»

Пензенский государственный технологический университет

(440028, Россия, Пенза, улица Гагарина 11/Байдукова 1а, e-mail: chu204229@mail.ru)

ORCID: 0000-0003-4401-1660

ЗЮЗИН Сергей Олегович, и.о. главного инженера

ООО «Сария Био-Индастрис Алабуга»

(Россия, г. Нижний Ломов, e-mail: zuzin.sergey.03@gmail.com);

ORCID: 0000-0002-6917-7280

БОЧКОВ Сергей Иванович, бакалавр кафедры «Биомедицинская инженерия»

Пензенский государственный технологический университет

(440028, Россия, Пенза, улица Гагарина 11/Байдукова 1а, e-mail: sergej199808@gmail.com)

Аннотация. Статья посвящена созданию аппаратно-программной модели медицинского робота-тренажера (симулятора). Основное назначение указанного тренажера – обучение студентов медико-технического направления подготовки и молодых специалистов данного профиля. Отмечено, что интерес к образовательной робототехнике в последнее время сильно вырос. Ввиду того, что современные медицинские стандарты ограничивают возможность непосредственного контакта студентов медицинских вузов и колледжей с пациентами, пациентов заменяют виртуальные учебные аппараты, с помощью которых молодые медики могут компенсировать недостаток практических знаний и навыков. Целью проведенного авторами исследования является создание компактной стендовой модели медицинского робота-тренажера для использования в учебном процессе медико-технических направлений и специальностей, позволяющего формировать и закреплять теоретические навыки на практике. Предметом исследования являются вопросы моделирования с помощью тренажера-симулятора патологий деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека. Научная новизна исследования заключается в развитии концепции и разработке учебного стенда, включающего многомодовый генератор кардиосигналов с возможностью воспроизведения шумовых артефактов, электромеханические и акустические узлы для имитации дыхательной деятельности. Актуальность задач исследования авторы статьи видят в создании бюджетной модели компактного стендового робота-симулятора, простого в эксплуатации и обладающего достаточно информативным функционалом.

Ключевые слова: симулятор, кардиосигнал, легочная активность, электронный блок, IT-технологии, база данных.

EDUCATIONAL LABORATORY SIMULATOR OF CARDIAC AND RESPIRATORY ACTIVITY

© The Author(s) 2022

SIDOROVA Margarita Alexandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor, associate professor of the Department of Biomedical Engineering

CHULKOV Valery Aleksandrovich, doctor of technical sciences,

professor, head of the Department of Biomedical Engineering

Penza State Technological University

(440028, Russia, Penza, Gagarina Street, 11 /Baidukova 1a, e-mails: sidorova_mailbox@mail.ru, chu204229@mail.ru)

ZYUZIN Sergey Olegovich, acting chief engineer

LLC "Saria Bio-Industries Alabuga"

(Russia, Nizhny Lomov, e-mail: zyuzin.sergey.03@gmail.com)

BOCHKOV Sergey Ivanovich, bachelor of the department of Biomedical Engineering
Penza State Technological University

(440028, Russia, Penza, Gagarina Street, 11 / Baidukova 1a, e-mail: sergejj199808@gmail.com)

Abstract. The article is devoted to the creation of a hardware and software model of a medical robot simulator (simulator). The main purpose of this simulator is to train students of the medical and technical field of training and young specialists of this profile. It is noted that interest in educational robotics has grown significantly recently. Due to the fact that modern medical standards limit the possibility of direct contact between students of medical universities and colleges with patients, patients are replaced by virtual educational devices with which young doctors can compensate for the lack of practical knowledge and skills. The aim of the study conducted by the authors is to create a compact bench model of a medical robot simulator for use in the educational process of medical and technical areas and specialties, allowing to form and consolidate theoretical skills in practice. The subject of the study is the issues of modeling with the help of a simulator pathologies of the activity of the cardiovascular and respiratory systems of man. The scientific novelty of the research lies in the development of the concept and development of a training stand, including a multi-mode generator of cardiac signals with the ability to reproduce noise artifacts, electromechanical and acoustic nodes to simulate respiratory activity. The authors of the article see the relevance of the research tasks in the creation of a budget model of a compact bench robot simulator, easy to operate and with sufficiently informative functionality.

Keywords: simulator, cardiosignal, pulmonary activity, electronic unit, IT technologies, database.

Для цитирования: Сидорова М.А. Учебный лабораторный симулятор сердечной и дыхательной деятельности / М.А. Сидорова, В.А. Чулков, С.О. Зюзин, С.И. Бочков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 74-79. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0011.

Введение. Применение симуляционных технологий в медицинских образовательных организациях доказало свою эффективность. Получен ценный опыт и накоплена база знаний. Симуляционное оборудование (например, отдельные комплекты расходных материалов, автономные тренажеры и тренажерные комплексы) применяется для отработки практических навыков медицинских манипуляций в профильных вузах, а также для аттестации и переподготовки специалистов в центрах повышения и подтверждения квалификации [20]. При этом важнейшим преимуществом использования симуляционных технологий является возможность многократного воспроизведения действий и процедур без угрозы нанесения вреда пациенту в условиях, близких к реальным.

Современная медицинская техника характеризуется широким разнообразием, речь может идти о симбиозе технических средств и информационных технологий, нацеленных на профилактику, диагностику, лечение заболеваний, реабилитацию пациента после лечения [1 - 3]. В последние годы всё более широкое применение в медицинской технике и медицине в целом получают мехатронные системы (роботы).

В настоящее время повысился интерес к образовательной робототехнике [17]. Новое тренировочное оборудование поступает в школы, университеты и медицинские учреждения. Робототехника в образовании – это основа междисциплинарных занятий, сочетание науки, технологии и инженерного дела [4-7]. Основные предпосылки развития и быстрого распространения медицинских роботов-тренажеров, заключаются в следующем. Современные медицинские стандарты усложнили доступ обучающихся в медицинских учебных

заведениях к реальным пациентам лечебно-профилактических учреждений, что обуславливает актуальность виртуальных имитаторов живых организмов, способных воспроизвести в учебных аудиториях реакции человека на диагностические и лечебные воздействия и тем самым обеспечить приобретение студентами практических знаний и навыков [8 - 10]. Медицинские специалисты одобрили идею тренажеров-симуляторов и способствовали их широкому использованию в повседневной практике подготовки врачей и фармакологов, а также в сестринском деле [10]. Такие тренажеры могут использоваться и при практической подготовке студентов, обучающихся по медико-техническим направлениям [11]. Работа на тренажерах способствует приобретению новых знаний по анатомическим и физиологическим свойствам живого организма, а также освоению компетенций в области регистрации и воспроизведения биоэлектрических сигналов, снимаемых с пациента электродами и датчиками.

Методология. Применение роботов-тренажеров в медицинском образовании рассматривается как «технология обучения и оценки практических навыков, умений и знаний, основанная на реалистичном моделировании, имитации клинической ситуации или отдельно взятой физиологической системы, для чего могут использоваться биологические, механические, электронные и виртуальные (компьютерные) модели» [1, 12, 13]. В настоящее время среди медицинских симуляторов преобладают механические устройства и системы. К этой группе можно отнести также изготовленные из пластика, металла, силикона и других современных материалов трехмерные изделия (муляжи) и тренажеры для обучения манипуляционным действиям [14, 3], что и является главным их назначением, способствуя приобретению

моторных навыков у обучающихся при выполнении таких медицинских манипуляций как инъекции, пункции, катетеризации и пр. Тренажеры этого типа реалистично воспроизводят функционирование органов живого тела, его анатомические особенности, в том числе тактильные параметры доступных при пальпации органов [2, 9, 17]. Благодаря развитию в последние годы информационных технологий появилась возможность создания компьютерных моделей, которые воспроизводят анатомическое строение человека и физиологические процессы в его системах. Однако более широкими возможностями для обучения медицинского персонала и студентов медико-технических направлений обладают.

Таким образом, можно заключить, что соединение основных неоспоримых достоинств двух указанных групп тренажеров в одной модели симулятора является важной и актуальной задачей для исследования и разработки.

Рассмотрим некоторые особенности применения симуляционной техники в медицине.

На рисунке 1 представлены основные классы медицинской симуляционной техники и оборудования для нее.

Следует выделить три основные категории:

1. Комплекты расходных материалов (фантом-скелет человека, мышечный скелет, фантомы и муляжи отдельных органов и суставов, материалы для проведения всех видов диагностики, «умная» одежда, датчики и электроды и т.п.);

2. Автономные тренажеры-симуляторы (обычно используются механические или электронно-механические виды манипуляционных тренажеров);

3. Симуляционно-тренажерные комплексы (наиболее распространены аппаратно-программные тренажерные комплексы, в состав которых могут входить как сами тренажеры и расходные материалы для них, так и дополнительная диагностическая техника и программное обеспечение).

На практике обычно применяют следующие виды медицинских тренажеров:

- медицинские тренажеры для симуляционного обучения и обследования;
- анатомические устройства;
- роботы-тренажеры.

Современные медицинские симуляционные изделия можно классифицировать по ряду признаков, чаще классификация осуществляется по их назначению – лечению конкретных заболеваний, терапевтическим воздействиям, диагностике отдельных болезней и пр. При этом современный рынок медицинских изделий подобного назначения отличается широкой номенклатурой и отчасти даже запутанностью [11]. Однако большинство из существующих аппаратов имеют высокую стоимость и большие габаритные размеры, их функциональные возможности при работе в автономном режиме ограничены, полный функциональный спектр требует подключения дополнительных устройств для

качественной работы.

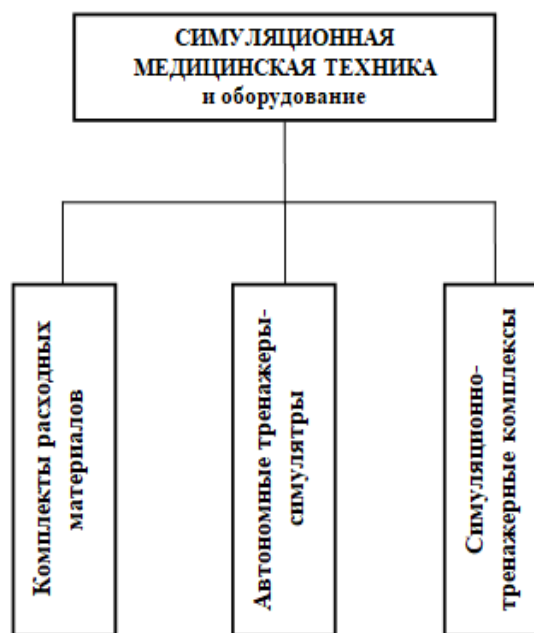


Рисунок 1 – Медицинская симуляционная техника и оборудование

В последнее время в России начато производство нового поколения учебного оборудования для медицинских образовательных учреждений. В число новейших разработок вошёл мобильный симуляционный центр (рис. 2).

Многофункциональный учебно-тренировочный комплекс "Мобильный симуляционный центр" – это площадка для проведения аттестации студентов медицинских вузов. Он выполнен на базе мобильного блока контейнерного типа. Размещаться комплекс может на базе конструктивно приспособленного грузового автомобиля. Мобильный симуляционный центр оборудован системой аудио- и видеофиксации производимых манипуляций для последующего интерпретирования и записи в архив. Эргономичное расположение мебели, медицинского инструментария, симуляторов и тренажеров позволяет производить одновременно работу бригадой до трех человек, включая рабочее место преподавателя-инструктора.

Конструкцией комплекса предусмотрены возможности автономного функционирования и оперативного развёртывания в любых условиях, включая полевые. Электропитание комплекса – автономное, в комплект поставки входит бензиновый электрогенератор. Работа комплекса возможна также в удалённых и труднодоступных населённых пунктах. Процедуру первичной аккредитации медицинских сотрудников, а также практические занятия по отработке диагностических навыков позволяют проводить симуляционные средства, входящие в состав комплекса. Контроль полученных знаний происходит затем в лечебно-профилактическом учреждении, либо в процессе учений по ликвидации последствий чрезвычайных происшествий.



а)



б)

Рисунок 2 – Мобильный симуляционный центр
а) внешний вид; б) вид внутренней комплектации

Обучение медицинского персонала в лечебно-профилактических учреждениях обычно осуществляется с применением наглядных пособий и имеющегося в наличии лабораторного парка приборов. Медицинские тренажеры-симуляторы являются неотъемлемой частью такого обучения. Такие приборы и устройства производятся разными компаниями для врачей-практикантов и студентов-медиков. Однако, по мнению авторов статьи, далеко не все симуляторы учитывают потребности медико-технического образования, в частности, направления «Биотехнические системы и технологии». Указанное направление находится на «стыке» двух научных направлений: медицины и современной медицинской техники. Для обеспечения качества обучения студентов указанного направления необходимо применение специализированных робото-технических симуляторов-тренажеров, с помощью которых можно отрабатывать не только медицинские практические навыки, но и оценивать электрофизиологические сигналы, исследовать «нормальные» и «патологические» состояния «пациента». Измерять амплитудно-временные и частотные характеристики сигналов, снимаемых с тренажера для постановки правильного «диагноза». Наиболее функционально для выполнения указанных задач, по мнению авторов статьи, подходят роботы-симуляторы-тренажеры для учебного процесса медико-технических специальностей и направлений.

Современные роботы-симуляторы способны воспроизводить симптомы широкого ряда недугов, могут имитировать звуковые эффекты, сопровождающие жизнедеятельность органов, и даже

отчасти издавать фрагменты осознанной речи, что помогает специалисту диагностировать заболевание. Виртуальный симулятор несложно снабдить средствами, воспроизводящими физиологические отправления и основные функции живого организма в нормальной и экстремальной обстановке, в том числе характерные для патологий органов и систем [2, 9].

Однако подробный анализ тренажеров-симуляторов показывает, что не все так «гладко» в этой области. Большинство из существующих аппаратов имеют высокую стоимость и большие габаритные размеры, их функциональные возможности при работе в автономном режиме ограничены, полный спектр возможностей требует подключения дополнительных устройств для качественной работы. Это обуславливает необходимость разработки бюджетного и достаточно функционального робота-тренажера в виде лабораторного стенда, дающего возможность имитировать эффекты, сопровождающие деятельность сердца и легких, вырабатывать по заданной программе электрические и пульсовые сигналы с заданными формой и временными параметрами, правдоподобно воспроизводить кинетические дыхательные сокращения грудной клетки, характерные звуковые эффекты, имитирующие шумы сердца и дыхательных тоны), а также генерировать миографические сигналы двигательной активности мышц.

Такой тренажер будет полезным как практикующим медицинским работникам, так и студентам учебных заведений медицинского и медико-технического профилей.

На рисунке 3 представлен пример общего вида тренажера-симулятора.



Рисунок 3 – Общий вид тренажера-симулятора

Результаты. Научная новизна исследования заключается в разработке структуры и функционала универсального и, в то же время, простого учебного стенда (подсистемы), включающего многомодовый генератор кардиосигналов в сопровождении шумовых артефактов, а также электромеханические узлы для имитации дыхательной деятельности [18, 20].

При работе над симулятором авторами использовался системный подход к формированию структуры и эргономического дизайна конструкции, методы моделирования, принятые в методологии синтеза и проектирования специализированной робототехники. При анализе материалов исследования использовались логические методы и приемы обобщения, синтеза, аналогии и комбинированного моделирования [19]. Достаточное «погружение» в тему позволило выявить современные тенденции и проблемы в области разработки тренажеров подобного вида. Для анализа собранной информации при формировании базы данных тестовых сигналов [13], для воспроизведения тренажером, были применены методы математической статистики, которые всегда используются в медицине для обработки данных.

Разработанная модель робота-тренажера представляет собой учебный настольный стенд в виде торса взрослого человека, она служит для имитации сердечной деятельности и работы легких пациента. Стенд имеет компактные габариты, работает автономно, но допускает расширение функциональных возможностей при подключении к управляющему компьютеру, снабженному соответствующей программой действий. Благодаря рациональному выбору элементной базы и материалов конструкции устройство достаточно просто в использовании, стоимость его доступна для любого потребителя. При выборе структуры тренажера ставилась задача осуществления следующих функциональных возможностей:

- генерирование паттернов кардиограммы, характерных для здорового человека (нормы) и для основных отклонений от нормы (патология) с возможностью подключения электродов кардиографа для снятия электрических сигналов по шести отведениям. Кардиограмма должна воспроизводиться

на фоне шумовых артефактов;

- имитация дыхательной активности во время кардиографического исследования при видимом расширении грудной клетки (дыхания);

- сопровождение проводимых воздействий и измерений в некоторых случаях световыми и звуковыми эффектами (шумы дыхания, стоны);

- индикация правильности проведения выполняемых манипуляций и подключения электродов;

- возможность пальпации общей сонной артерии, пульсации которой синхронизированы с ритмом сердечных сокращений;

- возможность симуляции беспульсовой электрической активности, желудочковой тахикардии и беспульсовой желудочковой тахикардии. В памяти симулятора с этой целью предусмотрено хранение до шести видов сигналов ЭКГ различных морфологий.

Центральным блоком стенда является блок электроники, включающий генератор кардиосигналов, узел управления сервоприводами, элементы световой индикации и акустической сигнализации. Паттерны ЭКГ, загруженные в память тренажера, взяты из открытых ресурсов верифицированной базы данных «*Healio Learn the Heart*». На поверхности аппарата выделены проводящие участки для подключения кардиографа, возможно также исследование сердца и легких стетоскопом. Работу аппарат можно приостанавливать и возобновлять с точки останова для обсуждения текущих действий студента. Использование симулятора в учебном процессе дает возможность контролировать и оценивать уровень знаний студента, проводить анализ его недоработок.

Обсуждение. Современные IT-решения повышают образовательный потенциал симуляторов, способствуя более точному воспроизведению условий, в которых предстоит действовать обучающимся [4, 14–16]. Создание интерфейса сопряжения с компьютером и разработка программного обеспечения – есть дальнейшее функциональное развитие симулятора. Это позволит упростить электронную начинку стенда и сопроводить все манипуляции надлежащим руководством без участия инструктора и осуществлять автоматический контроль действий обучаемого. Расширение функциональных возможностей за счет

компьютерного управления подразумевает воспроизведение различных видов биоэлектрических сигналов помимо кардиограммы – сигналы электромиограммы, кожно-гальванического рефлекса по Тарханову и пр.

Выводы. В результате выполнения настоящей работы выработана концепция, общая структура и проект реализации блоков учебного стенда – симулятора пациента для отработки и закрепления навыков диагностики нарушений сердечной и дыхательной деятельности. Дальнейшее совершенствование предложенного оборудования предполагает замену корпуса манекена на изготовленный промышленным способом корпус из эластичного материала с токопроводящими участками, а также расширение функциональных возможностей за счет разработки интерфейса, связывающего аппарат с управляющим компьютером. Это позволит также за счет переноса управляющих функций за пределы манекена упростить аппарат, снизить затраты на его изготовление и использовать современные ИТ-технологии для интуитивной работы обучающегося без помощи инструктора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ключко В.И., Кушнир Н.В., Матяж А.С., Жуков В.А. Технологии виртуальной реальности: современные симуляторы и их применение в медицине // Научные труды КубГТУ. – 2016. – № 15. – С. 94-104.
2. Палевская С.А., Тактаров В.Г. Современные симуляторы и тренажеры для подготовки медицинской сестры // Материалы IV съезда РОСОМЕД (Москва, 1–2 октября 2015 г.). <https://rosomed.ru/theses/158>
3. Пыщева Л.В., Угнич К.А., Щукин Ю.В., Соловьев В.Ю. Анализ симуляционного обучения студентов навыкам сердечно-легочной реанимации на манекене — имитаторе пациента // V съезд РОСОМЕД (Москва, 29–30 сентября 2016 г.). <https://rosomed.ru/theses/359>
4. Boström L. How Do Students in Vocational Programs Learn? A Study of Similarities and Differences in Learning Strategies // International Journal of Sciences. 2013. Vol. 2. August. – P. 44-56.
5. Клыков В.В., Ельцов А.А., Шатлов К.Г. Интерактивные компьютерные тренажеры по интегральному исчислению и дифференциальным уравнениям // Известия Томского политехнического университета. Технический инжиниринг. – 2006. – Т. 309. – № 2. – С. 255-260.
6. Кубышкин В.А., Свистунов А.А., Горшков М.Д., Балкизов З.З. Специалист медицинского симуляционного обучения. М.: РОСОМЕД, 2016. <https://rosomed.ru/documents/spetsialist-meditsinskogo-simulyatsionnogo-obucheniya-uchebnoe-posobie>
7. Шукшунов В.Е. Тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение. – 2005.
8. Свистунов А.А. (ред.) Симуляционное обучение в медицине. 2013. М.: МГМУ имени И. М. Сеченова.
9. Соловов А.В., Мищук В.Т. Интеллектуальные тренажеры и виртуальные лаборатории: учеб. пособие. Самара: СГАУ. – 2007
10. Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. – 2008. – № 1. – С. 32-39.
11. Маврицина Т.П. Обучающие тренажеры. 2000. М.: МЭИ.
12. Alinier G.A Typology of Educationally Focused Medical Simulation Tools // Medical Teacher. 2007. Vol. 29. No 8. P. 243–250. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01421590701551185>
13. Мартынова Н.А., Кузьмин А.Г., Аликберова М.Н., Лозовицкий Д.В. Медицинские тренажеры как базис для отработки хирургических навыков // Здоровье и образование в XXI веке. – 2018. – № 1. – С. 108-113.
14. Bell B.S., Kanar A.M., Kozlowski S. W.J. Current Issues and Future Directions in Simulation-Based Training. 2008. CAHRS Working Paper no 492. Ithaca, NY: Cornell University. <http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cahrswp/492>
15. Buzink S., Goosens R., de Ridder H., Jakimowicz J. Training of Basic Laparoscopy Skills on SimSurgery SEP // Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies. – 2010. – Vol. 19. – Iss. 1. – P. 35-41.
16. Cannon-Bowers J.A., Bowers C.A. Synthetic Learning Environments // J. M.Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, M.P. Driscoll (eds) Handbook of Research on Educational Communications and Technology. 2008. Mahwah: Lawrence Erlbaum. P. 317–327. https://www.researchgate.net/publication/268371527_Synthetic_Learning_Environments
17. CEDEFOP Vocational Pedagogies and Benefits for Learners: Practices and Challenges in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015 https://www.cedefop.europa.eu/files/5547_en.pdf
18. Чулков, В.А. Цифроаналоговый генератор шума / В.А. Чулков // Приборы и техника эксперимента. – 2015. – № 3. – С. 61 - 64.
19. Sidorova MA, Serzhantova NA Method for Forming Mathematical Models of Measured Electrophysiological Signals. 2020. In: Abstracts of the 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), High School of Economics, Moscow 11 – 13 March.
20. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. 2009. М.: СИНТЕГ.

Статья поступила в редакцию 25.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.932

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0012

АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

© Автор(ы) 2022

ORCID: 0000-0001-9708-4535

ЕРЕМИН Александр Александрович, студент кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, AlebriumUltra@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-6719-4610

SPIN: 1100-9875

AuthorID: 608286

ResearcherID: O-6280-2017

ScopusID: 57195325232

МИТРОХИН Максим Александрович, доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, mmax83@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-4749-7363

ЩЕГОЛИХИН Ярослав Павлович, магистрант кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, yaroslav.schegolikhin@yandex.ru)

ORCID: 0000-0001-7591-9378

САЛЬНИКОВ Егор Владимирович, студент кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, egor.salnikov@yandex.ru)

Аннотация. Использование нейронных сетей в системах распознавания объектов по их компьютерным изображениям становится все более актуальным во многих сферах деятельности. Такие погодные условия, как туман, снег или дождь, серьезно отражаются на эффективности систем, основанных на обработке изображений. В статье проводится сравнительный анализ эффективности современных генеративно-сопоставительных и сверточных нейросетевых методов улучшения качества изображений в системах распознавания объектов. Сравнение проводилось на двух предварительно собранных наборах изображений объектов, полученных в условиях разных атмосферных явлений. Результат проверен с помощью метрики mAP на модели обнаружения объектов, основанной на архитектуре YOLOv5. Результаты работы фильтров на изображениях позволяют сделать вывод о состоятельности нейросетевых методов улучшения изображений в сочетании с системами распознавания объектов или отдельно от них. Показано, в частности, что современные сверточные нейронные сети хорошо показывают себя при обработке изображений, полученных в условиях дождя или снега слабой интенсивности. Результаты данного исследования будут полезны разработчикам встраиваемых систем распознавания объектов.

Ключевые слова: Система распознавания объектов, улучшение качества изображения, нейронные сети, генеративно-сопоставительная нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, YOLO.

ANALYSIS OF NEURAL NETWORK METHODS FOR IMPROVING IMAGE QUALITY AND THEIR INFLUENCE ON THE OPERATION OF THE OBJECT RECOGNITION SYSTEM

© The Author(s) 2022

EREMIN Aleksandr Aleksandrovich, student of the department «Computer Engineering»

MITROHIN Maxim Aleksandrovich, doctor of technical sciences, docent,

head of the department «Computer Engineering»

SHCHEGOLIHIN Yaroslav Pavlovich, master's student of the department of Computer Science

SALNIKOV Egor Vladimirovich, student of the department «Computer Engineering»

Penza State University

(440026, Russia, Penza, street Krasnaya, 40,

e-mails: AlebriumUltra@gmail.com, mmax83@mail.ru, yaroslav.schegolikhin@yandex.ru, egor.salnikov@yandex.ru)

Abstract. The use of neural networks in object recognition systems based on their computer images is becoming increasingly relevant in many areas of activity. Bad weather conditions such as fog, snow or rain seriously affect the efficiency of such systems. The article provides a comparative analysis of the effectiveness of modern generative adversarial and convolutional neural network methods for improving image quality in object recognition systems. The comparison was carried out on two pre-collected sets of images of objects obtained under conditions of different atmospheric phenomena. The result was validated using the mAP metric on an object detection model based on the YOLOv5 architecture. The results of filters on images allow us to conclude that neural network image enhancement methods are

viable in combination with object recognition systems or separately from them. It is shown, in particular, that modern convolutional neural networks work well when processing images obtained in low-density rain conditions. The results of this study will be useful to developers of object recognition systems.

Keywords: object recognition system, image quality improvement, neural networks, generative adversarial neural network, convolutional neural network, YOLO.

Для цитирования: Еремин А.А. Анализ нейросетевых методов улучшения качества изображений и их влияния на работу системы распознавания объектов / А.А. Еремин, М.А. Митрохин, Я.П. Щеголихин, Е.В. Сальников // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 80-84. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0012.

Введение. На сегодняшний день все более широкое применение находят системы распознавания объектов в реальном времени. Такие системы, построенные на базе искусственных нейронных сетей (*YOLO*, *SSD*), позволяют автоматизировать многие процессы [1], в том числе обнаружение правонарушителей, быстрый и автоматизированный подсчет объектов, их классификация [2, 3]. Однако результативность нейросетевых детекторов сильно зависит от погодных условий, в которых получаются изображения.

Вместе с тем, разработаны алгоритмы улучшения качества изображений, благодаря которым можно повысить эффективность распознавания. Все большую популярность приобретают алгоритмы улучшения изображений с помощью искусственных нейронных сетей [4-7].

Методология. Целью данного исследования является сравнительный анализ нейросетевых методов улучшения качества изображений в системах распознавания объектов и обоснование их выбора для работы в сочетании с детекторами. Рассматриваются применение генеративно-сопоставительной сети (*GAN*) для улучшения изображения в условиях тумана, а также решение, основанное на использовании сверточной нейронной сети (*SPAN*) для устранения последствий дождя.

Для оценки эффективности работы детектора совместно с алгоритмом улучшения изображений

были сформированы два набора данных с визуально различимыми объектами в условиях тумана (первый набор данных) и дождя или снега (второй набор данных). Первый набор данных содержал 55 изображений, второй – 71. Все изображения получены авторами из открытых источников – галерей изображений сети интернет, стриминговых сервисов и т.п. Каждое изображение было размечено – выделены объекты, для распознавания которых обычно обучаются нейросетевые детекторы, применяемые на открытом воздухе, – люди, грузовые и легковые автомобили. Первый набор служил базой для определения эффективности методов улучшения изображений, основанных на *GAN*, второй – на сверточных сетях *SPAN*. Для этого использовался детектор *YOLOv5* [8], предварительно обученный на 819 изображениях без дождя, тумана и снега, также собранных и размеченных авторами из имеющихся в свободном доступе.

Методика эксперимента предполагает сравнение результатов обнаружения объектов на исходных изображениях с туманом, дождем или снегом, и предварительно обработанных одним из алгоритмов улучшения качества изображения. Для сравнения используется метрика *mAP*, вычисляемая для всех объектов, предварительно приведенных к формату входного слоя детектора *YOLOv5* 640x640 пикселей. На рисунке 1 приведены примеры изображений из собранных наборов.



Рисунок 1 – Примеры изображений объектов в разных погодных условиях

Тестирование проводилось на персональном компьютере с процессором *Intel Core i5-8400*, оперативной памятью емкостью 16 гигабайт и видеокартой *Geforce GTX 1050TI* с внутренней памятью 4 гигабайт.

Результаты. Первая серия экспериментов включала исследование влияния предварительной обработки изображений генеративно-сопоставительной сетью [9] на результат работы детектора. Сети *GAN*, часто используемые для синтеза реалистичных фотографий [10], состоят фактически из двух сетей – генератора и дискриминатора, обучаемых совместно. Назначение генератора – синтезировать на основе зашумленных данных изображение объекта, наиболее близкое к реальному изображению в обучающей выборке, а задача дискриминатора – определить, какое изображение поступило на его вход, реальное или синтезированное генератором. После обучения обычно используется только генератор, который синтезирует реалистичные изображения, он, кроме того, применяется для улучшения разрешения изображений, удаления шума и зернистости с исходного изображения [11]. С этой целью в процессе обучения на генератор подается само исходное изображение без шума, а задачей генератора является синтез изображения, не содержащего помех. Классические алгоритмы обучения *GAN* в подобных задачах показывают хорошие результаты, однако полученные изображения могут включать артефакты.

В работе [12] предложен подход *cGAN*, основанный на условной генеративно-сопоставительной сети. В отличие от *GAN*, модели *cGAN* используют дополнительные параметры для более гибкого контроля обучения. Параметрами могут быть метки

классов, данные из других моделей [13]. Это позволяет, например, генерировать изображения, относящиеся только к определенному классу объектов или научить сеть генерировать картинку исходя из заданного текста с применением патч-дискриминатора – сверточного дискриминатора, позволяющего определить, являются ли фрагменты определенного размера (патчи) изображения настоящими или поддельными [14]. Такой дискриминатор уменьшает риск появления артефактов на выходном изображении и ускоряет процесс, сокращая время обучения. Для анализа в данной работе использована оригинальная реализация проекта, находящаяся в свободном доступе на *GitHub* [15].

Результаты работы детектора на исходных и предварительно обработанных изображениях представлены в таблице 1. Время, затраченное на обработку одного кадра, составило 1.04 секунды.

Таблица 1 – Сравнение работы *YOLOv5* с исходными и предварительно обработанными изображениями

Наименование объекта	mAP 0.5 с исходными изображениями	mAP 0.5 с предварительно обработанными изображениями
Человек	0.968	0.893
Легковой автомобиль	0.92	0.907
Грузовой автомобиль	0.127	0.152
Общий результат	0.672	0.65

Среди нейросетевых методов в задачах устранения дождя на изображениях по популярности лидируют сверточные нейронные сети (*CNN*) [16, 7], одной из самых развитых из них является *SPANet* [17], которая находится в свободном доступе на *github* [18]. Сама сеть состоит из нескольких модулей, каждый из которых выполняет свою задачу (рис. 2) [8].

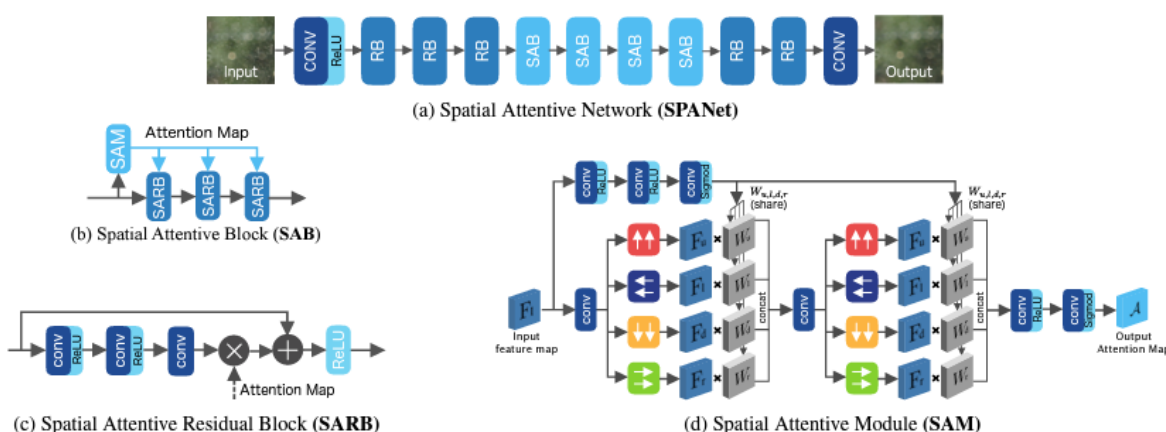


Рисунок 2 – Архитектура *SPANet*

Начальные блоки *RB* [18] используются для выделения признаков, следующие четыре блока *SAB* – для идентификации дождя на изображении, для чего применяется модуль *SAM*, содержащий *IRNN* слои [19], которые выделяют глобальные признаки дождя в изображении. Последние два слоя *RB* служат для удаления дождя.

Отличительными особенностями данной сети являются:

- сеть предобучена на большом датасете реального дождя в разных вариациях;
- обучение происходит не по маске дождя. Сеть сама определяет местоположение капель на изображении, а качество сформированного конечного

изображения проверяется на основе *PSNR* и *SSIM* метрик. Признаки *Feature map* при этом можно отследить, построив тепловую карту;

– архитектура сети основана на сверточной технологии, а значит, в отличие от генеративно-сопоставительной, исходное изображение не будет сильно искажено даже при отсутствии на нем явных признаков дождя.

Сравнительные показатели работы детектора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение работы *YOLOv5* с исходными и предобработанными изображениями

Наименование объекта	mAP 0.5 с исходными изображениями	mAP 0.5 с предобработанными изображениями
Человек	0.866	0.86
Легковой автомобиль	0.788	0.789
Грузовой автомобиль	0.273	0.287
Общий результат	0.642	0.645

Время, затраченное на обработку одного кадра, оказалось равным 6,62 секунды.

Обсуждение. Из результатов исследования вытекает, что, обрабатывая изображения в условиях тумана, метод *cGAN* показывает общее уменьшение метрики *mAP*. Это связано с низким разрешением изображений, с которыми работает алгоритм улучшения – всего 256×256 пикселей. При этом практически у всех *GAN* методов есть общий недостаток, связанный с пусть и минимальным, но искажением

выходного изображения, что приводит в итоге к падению результативности систем распознавания. Такой недостаток не влияет на распознавание объектов больших размеров, как, например, грузовые автомобили. Такие объекты детектор распознает намного точнее. К достоинству *cGAN* метода можно отнести высокую скорость работы с изображениями в низком разрешении. Таким образом, *cGAN* можно использовать в системах распознавания в реальном времени.

Из таблицы 2 видно, что *SPANet* алгоритм повысил общую метрику *mAP*, а значит детектор в целом стал точнее.

Однако при применении *SPAN* решения следует учитывать следующие недостатки: длительное время обучения, потребность в сборе большого набора данных для обучения, что проблематично в задачах по устранению последствий дождя, низкая скорость работы. Такие недостатки в целом свойственны всем сетям, основанным на сверточной технологии, следовательно, их использование во встраиваемых системах распознавания в реальном времени затруднительно.

Кроме этого, можно отметить несколько особенностей, которые не указаны в оригинальном описании алгоритма. Во-первых, сеть может работать с изображениями, на которых запечатлен снег (рис. 3).

Во-вторых, при работе с изображениями, на которых есть мелкий белый текст, сеть может исказить его, сделав нечитаемым (рис. 4).



Рисунок 3 – Результат работы *SPAN* с изображением, сделанным в условиях снега слабой интенсивности



Рисунок 4 – Результат работы *SPAN* с изображением, содержащим белый текст

Такой недостаток не позволяет использовать данный алгоритм в системах, ориентированных на распознавание текста или автомобильных номерных или дорожных знаков. Однако при всех недостатках сеть отлично покажет себя в системах распознавания, которые работают в условиях не плотных дождей или снега. При этом она способна работать с изображениями в любом разрешении.

Выводы. Проанализированы некоторые методы улучшения изображений с помощью технологий глубокого обучения. На основании анализа установлено, что *SPANet* решение может применяться для улучшения эффективности детекторов в условиях дождя или снега слабой интенсивности. При этом метод можно использовать совместно с детектором постоянно, а не только при наличии дождя, так как он не искажает объекты на изображении с отсутствующими погодными условиями и не требует дообучения детектора на предобработанных изображениях. Область применения алгоритмов, основанных на сверточной архитектуре, ограничена высокими вычислительными затратами, что ограничивает их применение в системах распознавания в реальном времени. Однако они могут обеспечивать повышенную эффективность в системах, где скорость распознавания не является решающим критерием.

GAN модель демонстрирует некоторое невысокую результативность систем распознавания, однако высокое быстродействие позволяет рекомендовать её для предварительного распознавания объектов в реальном времени, особенно объектов большого размера.

Полученные результаты окажутся полезными разработчикам систем распознавания объектов, помогут обосновано подобрать и внедрить в свои системы алгоритмы, которые улучшат качество детекторования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Y. Schegolihin, M. Mitrohin, V. Sazykina, M. Semenk. Gradual Labeling of the Training Set to Improve the Efficiency of Image Detection by a Neural Network on the Example of License Plate Recognition, 2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). (2021) DOI: 10.23919/FRUCT52173.2021.9435602.
2. Yibing Song, Chao Ma, Xiaohe Wu, Lijun Gong, Linchao Bao, Wangmeng Zuo, Chunhua Shen, Rynson Lau, Ming-Hsuan Yang. VITAL: Visual Tracking via Adversarial Learning // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2018. – pp. 8990-8999.
3. Zhe Zhu, Dun Liang, Zonghai Zhang, Xiaolei Huang, Baoli Li, Shimin Hu. Traffic-Sign Detection and Classification in the Wild // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2016. – pp. 2110-2118.
4. Zhang He, Vishwanath Singadi, Vishal M. Patel. Image de-raining using a conditional generative adversarial network // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, – 2019. – pp. 3943-3956.
5. Zhang He, Vishwanath Singadi, Vishal M. Patel. Joint Transmission Map Estimation and Dehazing Using Deep Networks. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, – 2019. – pp. 1975-1986.
6. Xueyang Fu, Jiabin Huang, Delu Zeng, Yue Huang, Xinghao Ding, John Paisley. Removing Rain from Single Images via a Deep Detail Network. // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2017. – pp. 3855-3863.

7. Wenhan Yang, Robby T. Tan, Jiashi Feng, Jiaying Liu, Zongming Guo, Shuicheng Yan. Deep Joint Rain Detection and Removal from a Single Image. // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2017. – pp. 1357-1366.
8. ultralytics/yolov5 [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5>.
9. Ian Goodfellow, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza, Bing Xu, David Warde-Farley, Sherjil Ozair, Aaron Courville, Yoshua Bengio. Generative Adversarial Nets. // NIPS, – 2014. – pp. 2672-2680.
10. Cristian Ledig. Et al. Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network. // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2017. – pp. 4681-4690.
11. Cai Bolun, Xiangmin Xu, Kui Jia, Chunmei Qing, Dacheng Tao. Dehazenet: An end-to-end system for single image haze removal. // IEEE Transactions on Image Processing, – 2016. – pp. 5187-5198.
12. Bharath Raj N, Venkateswaran N. Single Image Haze Removal using a Generative Adversarial Network // WiSPNET conference, – 2020. – pp. 37-42.
13. Mehdi Mirza, Simon Osindero. Conditional Generative Adversarial Nets - <https://arxiv.org/abs/1411.1784> - 2014.
14. Jun-Yan Zhu. Phillip Isola, Tinghui Zhou, Alexei A. Efros. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2017. – pp. 1125-1134.
15. thatbrguy/Dehaze-GAN [Электронный ресурс]. –URL: <https://github.com/thatbrguy/Dehaze-GAN>.
16. Xia Li, Jianlong Wu, Zhouchen Lin, Hong Liu, Hongbin Zha. Recurrent squeeze-and-excitation context aggregation net for single image deraining. // European Conference on Computer Vision (ECCV), - 2018.
17. Tianyu Wang, Xin Yang, Ke Xu, Shaozhe Chen, Qiang Zhang, Rynson Lau. Spatial Attentive Single-Image Deraining with a High Quality Real Rain Dataset // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2019. – pp. 12270-12279.
18. /stevewongv/SPANet [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/stevewongv/SPANet>.
19. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Deep residual learning for image recognition. // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2016. pp. 770-778.
20. Quoc Le, Navdeep Jaitly, Geoffrey Hinton. A simple way to initialize recurrent networks of rectified linear units - <https://arxiv.org/abs/1504.00941> – 2015.

Статья поступила в редакцию 16.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 004.4

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0013

**МЕРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ
ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБМЕНЕ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННОЙ
СРЕДЕ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

© Авторы 2022

SPIN: 5470-1289

AuthorID: 650911

ORCID: 0000-0002-3358-4394

МАРТЫШКИН Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Программирование»

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 5084-0967

AuthorID: 712397

ORCID: 0000-0002-3855-1970

КИНДАЕВ Александр Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий сектором научной аттестации

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 2964-8134

AuthorID: 741064

ORCID: 0000-0001-5939-7717

ПАНФИЛОВА Марина Ивановна, доцент, кандидат химических наук,
доцент кафедры «Общей и прикладной физики»

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

(129337, Россия, город Москва, ул. Ярославское ш., 26, e-mail: 043210@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с информационной безопасностью при обмене данными в виртуализированной среде центров обработки данных. Показано, что в настоящее время многие предприятия перешли на использование систем виртуализации и облачных вычислений, в том числе стали популярны центры обработки данных, которые позволяют оперировать массивом данных, включающим в себя в том числе персональные данные сотрудников и конфиденциальные данные организации. Исходя из этого, важной задачей является применение надежной и действенной системы защиты информации. Приведены известные атаки на виртуальную инфраструктуру, предложены меры по обеспечению и поддержанию высокого уровня защищенности системы. Целью исследования, которая ставится в статье, является анализ проблем безопасности при информационном обмене в виртуализированной среде центров обработки данных. Все описанные в статье исследования проведены согласно поставленной цели. Определен перечень мер и рекомендаций, направленных на повышение уровня безопасности систем защиты информации в центрах обработки данных. Практическая значимость полученных в ходе исследований результатов заключается в формировании требований-рекомендаций по настройке системы защиты информации центров обработки данных. В заключении сформулированы основные выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: центр обработки данных, виртуальная инфраструктура, виртуализация, информационная безопасность, облачный сервис, безопасность, система защиты информации, конфиденциальные данные.

**MEASURES AND RECOMMENDATIONS TO INCREASE THE LEVEL OF SECURITY DURING
INFORMATION EXCHANGE IN A VIRTUALIZED DATA CENTER ENVIRONMENT**

© The Authors 2022

MARTYSHKIN Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, head of sub-department «Programming»
Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: mai@penzgtu.ru)

KINDAEV Alexander Yuryevich, candidate of technical sciences, head of the Scientific Attestation Sector
Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: kindaev@penzgtu.ru)

PANFILOVA Marina Ivanovna, associate professor, candidate of technical sciences
National Research Moscow State University of Civil Engineering

(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26, e-mail: 043210@mail.ru)

Abstract. The article discusses issues related to information security in data exchange in a virtualized environment of data centers. It is shown that currently many enterprises have switched to using virtualization and cloud computing systems, including data processing centers that allow operating with an array of data, including personal data of employees and confidential data of the organization, have become popular. Based on this, an important task is to use a reliable

and effective information security system. Known attacks on the virtual infrastructure are given, measures are proposed to ensure and maintain a high level of system security. The purpose of the research, which is put in the article, is to analyze security problems in information exchange in a virtualized environment of data centers. All the studies described in the article were carried out according to the set goal. A list of measures and recommendations aimed at improving the security of information security systems in data processing centers has been defined. The practical significance of the results obtained during the research is the formation of requirements-recommendations for setting up the information security system of data processing centers. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

Keywords: data processing center, virtual infrastructure, virtualization, information security, cloud service, security, information security system, confidential data.

Для цитирования: Мартышкин А.И. Меры и рекомендации для повышения уровня защищенности при информационном обмене в виртуализированной среде центров обработки данных / А.И. Мартышкин, А.Ю. Киндаев, М.И. Панфилова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 85-88. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0013.

Введение. Сегодня многие организации и предприятия с целью повышения доступности и качества оказываемых услуг перешли на использование систем виртуализации и облачных вычислений [1-3]. Использование ими современных центров обработки данных (ЦОД) позволяет сконцентрировать вычислительные мощности на одном сетевом узле, предоставляя удаленный доступ пользователям для решения широкого круга необходимых задач [4-9].

Цель данной работы – исследование вопросов безопасности при обмене информацией и управлении виртуализированной средой ЦОД. В статье предприняты попытки решения следующих задач:

1. Анализ потенциальных угроз безопасности и сохранности информации при использовании ЦОД.
2. Формирование рекомендаций по уменьшению доли вероятности реализации угроз информационной безопасности при работе с вычислительными узлами и ЦОД.

Методология. По определению, приведенному в

[10], «центр обработки данных» есть предназначенное для размещения, управления и поддержки важных для одной или ряда организаций вычислительных ресурсов средство.

Из всего многообразия всевозможных атак на виртуальные машины (ВМ) выделим несколько основных, среди которых атаки на гостевые ВМ, атаки с использованием оборудования, атаки с использованием объединения памяти, атаки на внутреннюю инфраструктуру и другие [11, 12]. Использование контейнеров вместо полноценных ВМ – современная тенденция в виртуализированных системах [13]. Контейнеры необходимы для запуска только одного приложения на каждый контейнер для минимизации сложности и лучшей стабильности работы. На рынке контейнеризации самый широко применяемый представитель – *Docker* [14, 15]. На рисунке 1 показано основное отличие между ВМ и контейнером: контейнер использует ядро хоста для обработки данных.



Рисунок 1 – Различия между ВМ (а) и контейнером (б)

Результаты. На основе проведенных исследований и анализа литературных источников [16-17] по выбранной тематике предложим некоторые требования-рекомендации, направленные на повы-

шение уровня информационной безопасности при обмене данными в виртуализированной среде центров обработки данных.

1. Повышение уровня защищенности информации

в виртуальных средах:

– защита каждого элемента виртуальной инфраструктуры и поддержка уровня безопасности. Критически важно своевременно устанавливать официальные обновления безопасности для ОС, применять средства защиты и системы обнаружения и предотвращения вторжений;

– дополнительная защита каналов доступа к системе управления виртуализацией на сервере. Нужно максимально ограничить доступ к управлению гипервизором, настроив возможность корректировки работы гипервизора администраторами с соответствующим уровнем доступа;

– отслеживание поведения и состояния ресурсов позволит обнаружить вторжение или аномалию;

– проверка безопасности, направленной на выявление уязвимостей системы. Полезным будет сравнение текущей конфигурации системы с эталонной, предварительно настроенной по применяемым требованиям безопасности.

2. Минимизация доли вероятности реализации угроз защищенности информации. Для реализации надежной и защищенной системы должное внимание следует уделить ее физическому уровню, включающему вычислительное оборудование, сетевое оборудование, подсистему хранения данных. К обязательным следует отнести следующие требования:

– применение криптографических методов шифрования данных. Нужно выработать политику применения шифрования данных и использования криптографических механизмов аутентификации;

– работа с техническим персоналом: постоянное его обучение и совершенствование, повышение квалификации, доведение необходимой информации о правилах информационной безопасности до рядовых пользователей. Это позволит пояснить права и обязанности пользователей в информационной системе;

– разделение информации по уровням значимости и конфиденциальности с целью использования средств информационной безопасности необходимого и достаточного уровня;

– выработка требований и правил к соответствующим правам и уровням доступа к информации позволит избежать проблемы превышения полномочий при доступе к определенной информации;

– деление виртуальных сетей на ряд более мелких составляющих, установка и настройка политик взаимодействия между отдельными доменами.

3. Повышение уровня защищенности информации в гипервизорах:

– отслеживание и оперативная установка необходимых официальных обновлений служб безопасности. Практика показывает, что основная масса гипервизоров имеет встроенные системы, автоматически отслеживающие обновления программного обеспечения;

– строгие ограничения доступа к консоли администрирования и управления гипервизором. Все

возможные способы доступа возможности управления гипервизором должны обеспечиваться максимальной защитой;

– отключение неиспользуемых или уязвимых служб и неиспользуемого физического оборудования сервера;

– использование возможностей для автоматического сканирования гостевой ОС на наличие уязвимостей. Важно, чтобы средства мониторинга гипервизора продолжали работу после прохождения успешной атаки на гостевую операционную систему;

– своевременно реагировать на сигналы-оповещения об инцидентах информационной безопасности, фиксируемых соответствующими системами отслеживания происходящих событий.

Отметим, что установленный на сервере гипервизор обеспечивает более высокий уровень защищенности, чем запущенный в ОС сервера по причине меньшего числа уязвимостей, требующих внимания. Гостевая ВМ запускается с собственными драйверами, что подразумевает более надежное закрытие уязвимостей. Гипервизор должен иметь возможность выбора конфигурации загрузки, для пресечения использования непроверенных драйверов [18]. Все учетные записи (в том числе и персональные данные) рядовых пользователей и администраторов должны интегрироваться в инфраструктуру информационной базы организации, что в свою очередь в совокупности с надежным протоколом аутентификации гарантирует соблюдение политик безопасности и быстрый учет изменений численности пользователей.

4. Повышение уровня защищенности информации в контейнерах:

– настройка безопасного сервера, т.к. информационная безопасность контейнера прежде всего зависит от защищенности хранилища ввиду того, что применяется общее серверное ядро;

– поддержание безопасности контейнеров. Нужно с максимально регулярной периодичностью отслеживать и устанавливать официальные обновления программного обеспечения для своевременного обнаружения и устранения уязвимостей;

– качественная и точная настройка параметров безопасности. Не стоит допускать пользователей, не имеющих соответствующих прав доступа, для настройки служб контейнера.

5. Повышение уровня защищенности информации в сетях. Следует особое внимание уделять безопасности сетевой инфраструктуры для повышения уровня защищенности системы в целом [19]:

– управление правами доступа и контроль доступа имеют первостепенное значение для безопасности виртуальной сети;

– настройка системы безопасности на открытых, общепринятых стандартах;

– защита аутентификационных данных – основа построения надежной системы безопасности и безопасного обмена данными;

– по умолчанию система должна обеспечивать

хотя бы минимальный уровень защищенности;

– внедрению нового средства безопасности должен предшествовать процесс определения конкретных целей, оценки влияния внедряемого решения на безопасность системы в целом, поддержку совместимости с другими средствами обеспечения безопасности.

6. Повышение уровня защищенности информации в гостевых и серверных ОС:

– использование предварительно настроенных ВМ, позволит исключить или минимизировать несанкционированный доступ к конфигурации оборудования ВМ, который может привести к соответствующим, возможно, критическим изменениям в части потери конфиденциальных данных [20];

– строгое соблюдение и следование всем рекомендациям, касающимся управления физической ОС (всевозможные синхронизации, протоколирования происходящих событий, механизмы аутентификации и удаленного доступа);

– своевременная установка всех рекомендуемых обновлений на гостевые ОС;

– сохранение всех резервных копий виртуальных дисков, используемых гостевой ОС;

– отключение неиспользуемого функционала в каждой гостевой ОС;

– использование отдельных механизмов аутентификации в каждой гостевой ОС;

– периодическое исследование каждого экземпляра ОС на наличие уязвимостей или на предмет заражения вредоносным ПО.

Обсуждение. В работе приведен достаточно подробный и информативный перечень мер, которые направлены прежде всего на повышение уровня защищенности системы информационной безопасности в центрах обработки данных при различных вариантах гипервизоров. Практическая значимость полученных в ходе исследований результатов заключается в формировании требований-рекомендаций по настройке системы защиты информации центров обработки данных.

Выводы. Рассмотрены угрозы информационной безопасности при использовании ЦОД. Проведено исследование проблем информационной безопасности при обмене данными и управлении средой виртуализации ЦОД. Определен перечень мер и рекомендаций, направленных на повышение уровня безопасности систем защиты информации в ЦОД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мартышкин А.И. Применение технологии виртуализации в центрах обработки данных // Современные информационные технологии. – 2022. – № 35 (35). – С. 16-21.
2. Мартышкин А.И. Анализ возможности применения способов и технологий виртуализации в вычислительных системах // Современные информационные технологии. – 2022. – № 35 (35). – С. 21-24.
3. Терешкин Д.О., Мартышкин А.И. Обзор применения технологий виртуализации для консолидации серверов // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XIX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 60-летию

первого полета в космос Юрия Алексеевича Гагарина. Под редакцией И.И. Сальникова. Пенза, 2021. – С. 93-97.

4. Haitao Yuan, Jing Bi, Bohu Li, “Workload-aware request routing in cloud data center using software-defined networking,” Systems Engineering and Electronics, Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 26, no. 1, pp. 151–160, 2015.

5. Data Center Market – Global Outlook and Forecast 2021–2026 [Online]. Available: <https://www.arizton.com/market-reports/globaldata-center-market-report-2021-2026> [Online]. Available: <https://www.arizton.com/market-reports/globaldata-center-market-report-2021-2026> (дата обращения: 01.10.2022).

6. Impact, and Forecasts (2021–2026) [Online]. Available: <https://www.cloudscene.com/> (дата обращения: 25.10.2022).

7. Joshua Feinberg. The Data Center Ecosystem [Online]. Available: <https://www.dcsmi.com/selling-to-data-centers-podcast/the-data-centerecosystem> (дата обращения: 28.10.2022).

8. Лонцих П.А., Кунаков Е.П. Анализ стандартов информационной безопасности, построения и эксплуатации центров обработки данных // Проблемы развития экономики и предпринимательства. – 2016. – С. 124-129.

9. Захаров А.И., Брякалов Г.А., Михайлова П.И., Чумакова Е.В. Методика расчета и оценки состава ИТ-оборудования центра обработки данных // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2019. – № 2. – С. 110-119.

10. Прохоров А.Н., Рахматуллин С.С. Центры обработки данных. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое. – М.: ООО «АльянсПринт», 2021. – 416 с.

11. Rakotondravony, N., Taubmann, B., Mandarawi, W. et al. Classifying malware attacks in IaaS cloud environments. J Cloud Comp 6, 26 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13677-017-0098-8>.

12. Kuniyasu Suzuki, Kengo Iijima, Toshiki Yagi, Cyrille Artho, “Software side channel attack on memory deduplication. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, RCIS, Tsukuba, Japan, 2014.

13. Апарина Е.Ю., Михайличенко Н.В., Султанова Я.М., Зубакин В.В. Подход к анализу качества функционирования центров обработки данных // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: материалы круглых столов VI межрегиональной научно-практической конференции. Севастополь, 2020. – С. 52-53.

14. CVE-2022-0185 in Linux Kernel Can Allow Container Escape in Kubernetes. [Online]. Available: <https://blog.aquasec.com/cve-2022-0185-linux-kernel-container-escape-in-kubernetes/> (дата обращения: 01.11.2022).

15. Docker container | Docker Documentation. [Online]. Available: <https://docs.docker.com/engine/reference/commandline/container/> (дата обращения: 01.11.2022).

16. Чернобровцев А. Интернет вещей в центрах обработки данных // Журнал сетевых решений LAN. – 2018. – № 3. – С. 20.

17. Чешейко С.И. Особенности архитектуры центра обработки данных в медицинском учреждении // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2021. – № 49. – С. 12-19.

18. S. Subashini and V. Kavitha, “A survey on security issues in service delivery models of cloud computing,” J. Netw. Comput. Appl., vol. 34(1), pp. 1-11, Jan.2011.

19. M. Zhao, P. Liu and J. Lobo, “Towards collaborative query planning in multi-party database networks.” In Proc. of the 29th Working Conference on Data and Applications Security and Privacy (DBSec 2015), Fairfax, VA, United States, pp. 19-34, 2015.

20. Tom Laszewski, Kamal Arora, Erik Farr, Piyum Zonoz, Cloud Native Architectures: Design high-availability and cost-effective applications for the cloud. Packt Publishing Ltd, 2018. – 354 p.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 339.133.017:612.395.5

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0014

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЖИТЕЛЕЙ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТНОШЕНИИ ОБОГАЩЕННОГО ТВОРОГА И ТВОРОЖНЫХ ПРОДУКТОВ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 4461-2936

AuthorID: 698841

ORCID: 0000-0002-1851-0063

ResearcherID: GPX-6857-2022

ScopusID: 57211159493

ДЕРЖАПОЛЬСКАЯ Юлия Игоревна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технологии переработки сельскохозяйственной продукции»
Дальневосточный государственный аграрный университет
(675009, Россия, Благовещенск, Политехническая, 86, e-mail: yuliya.de.f@yandex.ru)

SPIN: 7916-2760

AuthorID: 939191

ORCID: 0000-0002-0847-4468

ЛУТОВА Юлия Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры «Менеджмента, маркетинга и права»
Дальневосточный государственный аграрный университет
(675009, Россия, Благовещенск, Политехническая, 86, e-mail: lutova-2@mail.ru)

SPIN: 2369-6476

AuthorID: 906379

ORCID: 0000-0003-1448-4328

ResearcherID: AAD-2352-2022

ScopusID: 57211155596

ГРИБАНОВА Светлана Леонидовна, кандидат технических наук,
преподаватель агротехнического колледжа
Дальневосточный государственный аграрный университет
(675009, Россия, Благовещенск, Политехническая, 86, e-mail: lsv24leon@mail.ru)

Аннотация. В статье представлены результаты проведения маркетинговых исследований творога и молочных продуктов в Амурской области. Основной формой проведения наших исследований при выборе творога потребителями послужил сбор информации посредством анкетного опроса. Анкета состояла из 15 вопросов, закрытого и открытого типа, где респонденты выбирали один или несколько вариантов ответов из предложенных, также анкета включала дихотомические вопросы. В ходе проведения исследований было опрошено 500 респондентов различной половозрастной структуры и различных уровней дохода. В ходе исследования установлено, что большинство респондентов 66,7% приобретают творог от случая к случаю, большая часть порошковых – 75,4% отдает предпочтение кисломолочным напиткам и сметане. При выборе творога потребители ориентируются прежде всего на срок годности продукта и его вкусовые качества, на состав продукта обращает внимание 40% опрошенных. На вопрос об информированности о пользе антиоксидантов 58,8% респондентов ответили положительно, но к сожалению, на вопрос «Знакомы ли Вы с БАД «Лавитол», «Лавиокард», «Вита-лаг», из всех респондентов, 71,1 % ответили, что не знакомы с данными добавками.

Ключевые слова: творог, творожные изделия, биологически активные добавки, потребительские предпочтения, респонденты.

RESEARCH OF CONSUMER PREFERENCES OF RESIDENTS OF THE AMUR REGION IN RELATION TO ENRICHED COTTAGE CHEESE AND COTTAGE CHEESE PRODUCTS

© The Author(s) 2022

DERZHAPOLSKAYA Yulia Igorevna, candidate of technical sciences,
associate Professor of the Department "Technologies for processing agricultural products"

LUTOVA Yulia Vladimirovna, candidate of agricultural sciences,
associate Professor of the Department of Management, Marketing and Law

GRIBANOVA Svetlana Leonidovna, candidate of technical sciences, teacher of agrotechnical college
Far Eastern State Agrarian University

(675009, Russia, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya, 86,
e-mails: yuliya.de.f@yandex.ru, lutova-2@mail.ru, lsv24leon@mail.ru)

Abstract. The article presents the results of marketing research of cottage cheese and dairy products in the Amur Region. The main form of our research when choosing cottage cheese by consumers was the collection of information through a questionnaire survey. The questionnaire consisted of 15 questions, closed and open type, where the respon-

dents chose one or more answers from the proposed ones, the questionnaire also included dichotomous questions. In the course of the research, 500 respondents of various gender and age structure and various income levels were interviewed. The study found that the majority of respondents 66,7% purchase cottage cheese from time to time, most of the powdered – 75,4% prefer sour-milk drinks and sour cream. When choosing cottage cheese, consumers primarily focus on the shelf life of the product and its taste, 40% of respondents pay attention to the composition of the product. When asked about the awareness of the benefits of antioxidants, 58,8% of respondents answered positively, but unfortunately, to the question “Are you familiar with the dietary supplements Lavitool, Lavio-card, Vitalag”, out of all respondents, 71,1% answered that not familiar with these supplements.

Keywords: cottage cheese, curd products, dietary supplements, consumer preferences, respondents.

Для цитирования: Держапольская Ю.И. Исследование потребительских предпочтений жителей Амурской области в отношении обогащенного творога и творожных продуктов / Ю.И. Держапольская, Ю.В. Лутова, С.Л. Грибанова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 89-93. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0014.

Введение. К одному из основных элементов маркетинговой политики предприятия относится проведение исследований по изучению потребительских предпочтений, которые являются основой для осуществления прогнозирования и оценки рыночной конъюнктуры при выпуске новых видов продуктов [1-4]. В региональном аспекте разработке и выпуску на рынок обогащенных творожных продуктов предшествует исследование потребительского поведения, формирующего востребованность и спрос на данную группу продуктов [5-7]. Последствия пандемии COVID-19 негативным образом отразились на здоровье населения, в связи с чем, особенно актуально стоит вопрос введения в рацион питания продуктов, позволяющих повысить сопротивляемость организма воздействию различных факторов внешней среды. Одной из групп биологически активных веществ, способствующих повысить эффективность борьбы с пандемией новой коронавирусной инфекции являются антиоксиданты [8]. Введение данной

группы биологически активных веществ в продукты повседневного спроса является перспективным направлением в разработке функциональных продуктов питания [9-11].

Методология. Цель работы – исследование потребительских предпочтений жителей Амурской области в отношении обогащенного творога и творожных продуктов.

Метод исследований – анкетирование респондентов с учетом выборочной совокупности, применением технологий online-опроса и последующий анализ полученной маркетинговой информации.

Результаты. Методом случайной выборки для сбора первичных данных был проведен опрос 500 респондентов, в качестве которых выступали жители Амурской области.

Первый и второй вопросы в анкете при проведении исследований отражали портрет целевой аудитории. Выборочная совокупность респондентов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика выборочной совокупности

Признак группировки респондентов	Категория и доля в выборочной совокупности, %	
	Пол	женский – 77,2
Возраст	15-17 лет – 7	15-17 лет – 0,9
	18-25 лет – 13,2	18-25 лет – 3,5
	26-45 лет – 46,5	26-45 лет – 13,2
	46-60 лет – 7	46-60 лет – 4,4
	60 и более лет – 3,5	60 и более лет – 0,9
Уровень дохода (в месяц на 1 человека)	высокий (более 76 тыс. руб.) – 0,9	высокий (более 76 тыс. руб.) – 3,5
	средний (от 29 до 75 тыс. руб.) – 45,6	средний (от 29 до 75 тыс. руб.) – 15,8
	низкий (менее 28 тыс. руб.) – 30,7	низкий (менее 28 тыс. руб.) – 3,5

Так большинство респондентов употребляющих творог оказались женщины, они составили больше половины опрошенных – 77,2 %, тогда как мужчин – 22,8%.

Средний возраст большинства опрошиваемых от 26 до 45 лет, что составляет для женщин 46,5% от всех опрошиваемых и для мужчин 13,2%.

В процессе исследований было отмечено, что больше творога употребляют респонденты со средним доходом, из них 45,6% – это женщины и 15,8% – мужчины. Из категории с низким доходом творог употребляют 30,7% женщин и 3,5 % мужчин от числа опрошенных данной категории. Респонденты

с высокими доходами (более 76 тыс. руб.) меньше всего приобретают творог, из них на долю женщин приходится 0,9%, мужчин – 3,5%.

В ходе проведения маркетинговых исследований по потребительским предпочтениям молочных продуктов всем опрошиваемым был задан вопрос открытого типа «Какие кисломолочные продукты вы приобретаете?» независимо половозрастной категории и уровня дохода 24,6% всех респондентов ответили, что приобретают творог, 75,4% опрошенных приобретают кисломолочные напитки различного ассортимента и сметану.

Из числа респондентов, приобретающих творог,

частота покупки распределилась следующим образом: 42,9% приобретают творог от случая к случаю, 35,7% респондентов приобретают творог 1 раз в неделю, несколько раз в неделю приобретают творог только 21,4% респондентов.

На вопрос открытого типа «Какие характеристики Вы считаете важными при покупке творога?»

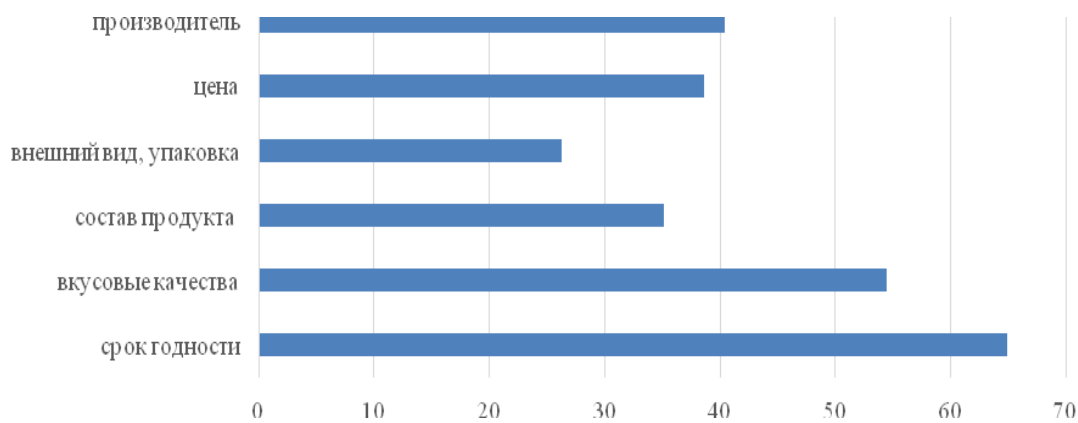


Рисунок 1 – Распределение характеристик по значимости при выборе творога

Как показали маркетинговые исследования рынка творога в Амурской области, потребители отдают предпочтение Амурским производителям. Так на вопрос открытого типа «Творог каких производителей вы предпочитаете приобретать?» первое место среди производителей в Амурской области по выбору 42,1% у респондентов занимает творог, произведенный АО «Молочный комбинат Благовещенский», на втором месте по выбору – 40,4% занимает творог произведенный ИП Мельниченко Д.В., на третьем месте по выбору – 11,4% занимает производитель творога Фермерское подворье (ООО «Хладокомбинат Партнер»). Как показало исследование, наименьшим спросом у респондентов Амурской области пользуется творог других производителей, представленных в торговой сети г. Благовещенска, что соответствует 17,5%.

Рассматривая причину покупки творога респондентами в Амурской области на вопрос закрытого типа с одиночным вариантом ответа «Вы покупаете творог потому что...» – 30% женщин и 25% мужчин ответили, что ведут здоровый образ жизни и относят творог к продуктам здорового питания; 50% респондентов мужчин и 25% женщин любят данный продукт за его вкусовые характеристики и 25% респондентов женщин и 12,5% мужчин считают творог дополнением к основному рациону питания; 12,5% опрошиваемым мужчинам важны лечебно-профилактические свойства продукта. Коэффициент корреляции Пирсона между полом респондентов и причиной покупки творога показал среднее значение и составил 0,83. Не учитывая корреляцию с выборкой респондентов-потребителей творога в обобщенных данных причина покупки творога среди респондентов распределилась следующим образом – 39,5% респондентов ответили, что ведут здоровый образ жизни и относят творог к продуктам здорового

питания, 28,5% респондентов любят данный продукт за его вкусовые характеристики и 25% респондентов считают творог дополнением к основному рациону питания (рис. 2).

Ответы респондентов распределились следующим образом (рис. 1): срок годности 54,4%, тогда как 26,3% респондентов ответили, что упаковка творога играет существенную роль при покупке творога в магазинах Амурской области. Для 38,6% респондентов важной характеристикой является цена, 40,4% важен производитель.

Рассматривая рынок молочной продукции в том числе творога, необходимо отметить значение упаковки как средство увеличения срока годности молочной продукции. Так в ходе проведения исследований на вопрос закрытого типа «Какую упаковку для творога и творожных продуктов Вы считаете наиболее оптимальной?» респондентам были предложены следующие варианты ответов и приведены образцы упаковочных материалов: полипропиленовая пленка, содержащая модифицированную газовую среду; пергаментная бумага; пластиковая упаковка; кашированная фольга. Наибольшее предпочтение 40,4% респондентов к упаковке творога и творожной продукции отдают полипропиленовой пленке, содержащей модифицированную газовую среду, 33,3% респондентов считают перманентную бумагу как оптимальную упаковку для творога. Наименее оптимальной упаковкой для творога 5% респондентов Амурской области считают кашированную фольгу несмотря на то, что в центральной части России ее считают лидером в области упаковки творога.

При выборе оптимальной и удобной расфасовки творога респондентам-потребителям было предложено ответить на вопрос закрытого типа с одиночным выбором «По массе фасовки наиболее приемлемой на ваш взгляд является...?». Таким образом, наиболее предпочтительной является упаковка творога массой 200 и 300 грамм, так считают 34,2 и 33,3% респондентов соответственно. Наименьшим спросом пользуется упаковка творога с массой 500 грамм – 23,7% респондентов, упаковке творога массой 100 грамм отдает предпочтение 6,1% опрошенных и 2,6% предпочитают упаковку творога массой 1 кг.

В ходе закрытого вопроса респонденты-потребители творога на прилавках Амурской области желали бы видеть кулинарную продукцию в виде сырников – 45,6%, 20,2% респондентов

предпочли бы творожные запеканки и пудинги, и наименьшее количество респондентов – 14% отдали бы предпочтение блинчикам с творогом, а 13,2% – вареникам с творогом (рис. 3).

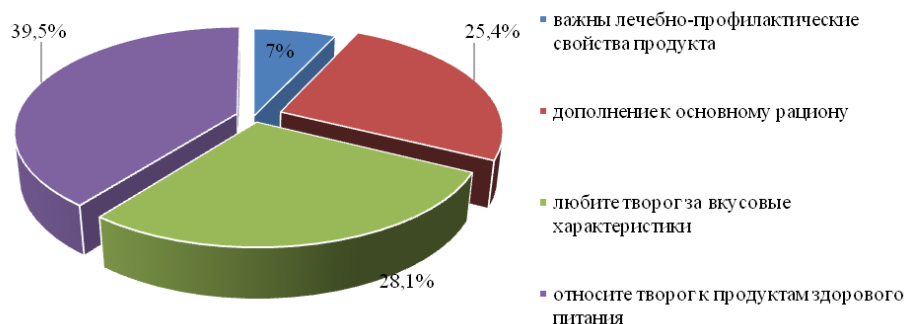


Рисунок 2 – Причина покупки творога респондентами

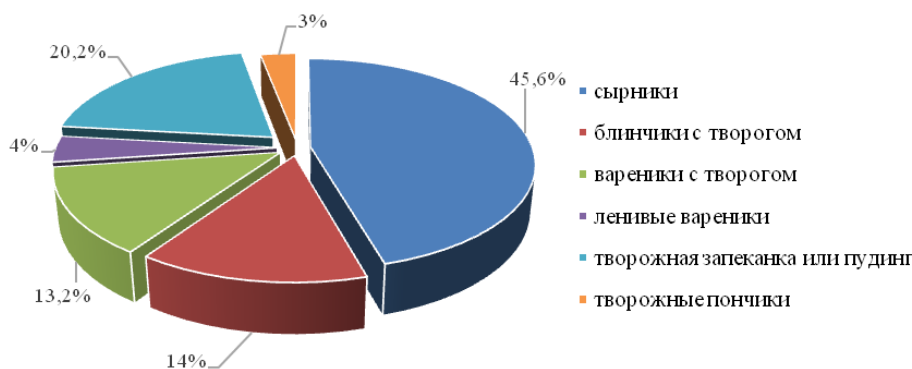


Рисунок 3 – Предпочтения респондентов по выбору кулинарной продукции с творогом

По данным министерства здравоохранения Амурской области заболеваемость населения болезнями эндокринной системы, расстройствами питания, нарушения обмена веществ составляет 925,0 на 100000 человек населения [12].

Согласно распоряжению Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3694 - р, направление 3.4.1 «Разработка технологий здоровьесбережения» включено в программу фундаментальных научных исследований Российской Федерации на период до 2030 года. Разработка инновационных технологий новых специализированных и функциональных пищевых продуктов является приоритетным у государства по причине поиска технологий сбережения здоровья населения [13].

В соответствии с рекомендациями НИИ питания РАМН, творог следует рассматривать как наиболее подходящий для обогащения продукт, так как возможно внесение биологически активных веществ и биологически активных добавок непосредственно практически в готовый продукт [14-17].

В период постковидных ограничений особенно актуально стоит вопрос разработки продуктов, обладающих антиоксидантными свойствами, снижающих токсичные проявления антивирусной терапии [18,

19]. С этой целью проведен опрос респондентов об информированности о пользе антиоксидантов для здоровья человека.

Более половины респондентов 58,8% на дихотомический вопрос о пользе антиоксидантов ответили положительно.

В Амурской области находится биофабрика ЗАО «Аметис» основным видом деятельности которой является создание инновационного высокотехнологичного производства по комплексной переработке древесины лиственницы даурской с последующим извлечением уникальных природных субстанций.

В ходе проведения исследования потребительских предпочтений жителей Амурской области в отношении обогащенного творога и творожных продуктов респондентам был задан дихотомический вопрос «Знакомы ли Вы с БАД «Лавитол», «Лавиокард», «Виталаг», выпускаемыми ЗАО «Аметис» г. Благовещенск?». На что из всех респондентов 71,1% ответили, что не знакомы с данными БАДами, тогда как 28,9% респондентам знакомы данные БАДы как природные антиоксиданты.

Обсуждение. При проведении маркетинговых исследований произведен сбор информации, её

интерпретация. При выборе наиболее эффективного метода исследований выбран метод анкетирования респондентов с применением технологий *online*-опроса. Результаты исследования потребительских предпочтений жителей Амурской области в отношении обогащенного творога и творожных продуктов показали, что спрос на такой кисломолочный продукт как творог недостаточно высок и составляет всего 24,6% всех респондентов. Но несмотря на это, потребители творога относят его к продуктам здорового питания. Среди респондентов-потребителей творога на прилавках Амурской области желали бы видеть кулинарную продукцию в виде сырников – 45,6%, 20,2% респондентов отдают предпочтение – творожным запеканкам и пудингам, и наименьшее количество респондентов – 14% отдают предпочтение при приобретении блинчикам с творогом и 13,2% – вареникам с творогом. Информированность респондентов о пользе антиоксидантов составляет 58,8%, что позволяет предположить то, что введение данных биологически активных веществ в творог и творожные продукты положительно скажется на потребительском спросе. Коэффициент корреляции Пирсона с выборкой респондентов по взаимосвязи половозрастного признака и уровня дохода на исследуемые данные согласно вопросов анкеты составлял от 0,5 до 0,83. Таким образом, можно полагать, что существует, слабая прямая связь между исследуемыми показателями, так как величина коэффициента корреляции не слишком велика по сравнению с единицей.

Выводы. По итогам проведенного исследования установили, что несмотря на невысокий потребительский спрос жителей Амурской области на такой кисломолочный продукт как творог и творожные продукты существуют предпосылки к разработке творога и творожных продуктов, обогащенных биологически активными добавками антиоксидантной природы. Использование данных добавок также позволит увеличить срок годности продуктов исследуемой ассортиментной группы, что по результатам опроса является одной из важных характеристик при покупке творога и творожных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лутова Ю.В., Ли П. К вопросу о состоянии развития производства сельскохозяйственной продукции на современном этапе развития экономики на примере АО «Луч» Ивановского района Амурской области // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях. - Благовещенск, 2021. - С. 235-239.
2. Ростислав К.В., Пономарев Ю.Ю., Радченко Д.М. Имитационная пространственная модель развития российских городов // Экономическое развитие России. – 2022. – № 5. – С. 20-33.
3. Решетник Е.И., Грибанова С.Л., Егоров Д.В., Грицов Н.В. Использование растительного сырья при производстве кисломолочных продуктов для специализированного питания // Индустрия питания. – 2021. – № 4. – Т.6. – С.39-46.
4. Неделько А.Ю., Третьяк А.Ю., Лаврова А.Ю.

Потребительский выбор продуктов питания: факторы, текущее состояние и ожидаемые результаты // Российский журнал менеджмента. – 2020. – №18(4). – С. 605-642.

5. Liang, Z., Sun, J., Yang, S., Li, C., Zhang, G. Fermentation of mung bean milk by *Lactococcus lactis*: Focus on the physicochemical properties, antioxidant capacities and sensory evaluation // Food Biosciences this link is disabled, 2022, 48, 101798.

6. Шарапова С.М., Ханхалаева И.А., Хамханова Д.Н., Доржиева В.В. Исследование потребительских предпочтений на рынке мясных полуфабрикатов Республики Бурятия // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 2(85). – С. 14-21.

7. Рубан Н.Ю., Резниченко И.Ю. Особенности предпочтений людей пожилого и старческого возраста при формировании рациона // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – № 1. – С. 176-184.

8. Даренская М.А., Колесникова Л.И., Колесников С.И. COVID-19: окислительный стресс и актуальность антиоксидантной терапии // Вестник РАМН. – 2020. – №75(4). – С. 318-325.

9. Reshetnik E., Derzhapolskaya Yu., Gribanova S. Study of starter cultures in biotechnology of medical and preventive nutrition products. E3S Web of Conferences. Сер. "Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna, EBWFF 2020" 2020. – С. 04002.

10. Songyi Lin, Ruiwen Yang, Sheng Cheng, Ke Wang, Lei Qin. Moisture absorption and dynamic flavor changes in hydrolyzed and freeze-dried pine nut (*Pinus koraiensis*) by-products during storage. - Food Research International. - Volume 103, 2018. – Pages 243-252.

11. Vesnina A., Prosekov A., Atuchin V., Minina V., Ponasenkov A. Tackling Atherosclerosis via Selected Nutrition // International journal of molecular sciences, 2022, 23(15).

12. Reshetnik E.I., Derzhapolskaya Yu.I., Gribanova S.L., Khamaganova I.V. Development of a specialized high protein product for adaptive nutrition prensa medica argentina. – 2019. – Т. 105. – № 4. – С. 197-204.

13. О Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы) Распоряжение Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 09.01.2021, N 0001202101090048.

14. Danilov, A.M., Bazhenova, B.A., Danilov, M.B., Gerasimov, A.V. Study of lysate activity to modify collagen raw materials to use in sausage mixture // Foods and Raw Material this link is disabled, 2018, 6(2), p. 256–263. Bukharev, A.G., Gavrillova, N.B., Kriger, O.V., Chernopolskaya, N.L. Fermented Cream for Curd Fortified with Probiotic Cultures: Biotechnological Aspects // Food Processing: Techniques and Technology this link is disabled, 2021. – 51(4). – p. 664-673.

15. Derzhapolskaya Y., Reshetnik E., Gribanova S. Use of pine nut resources in food technology as one of the steps of sustainable forestry. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Т. 353 – LNNS. – С. 611-619.

16. Lisin P.A., Moliboga E.A., Trofimov I.E. Parametric structural analysis of nutritional value of personalized foods using microsoft excel // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness" 2021. – С. 012171.

17. Симоненкова А.П., Демина Е.Н., Казаков А.В. Инновационные подходы к проектированию рецептур молочных продуктов в рамках реализации программы три молочных продукта в день // Ползуновский вестник. – 2019. – № 1. – С. 80-84.

18. Khamagaeva I.S., Zambalova N.A., Tsyzhipova A.V., Bubeev A.T. The development of a biologically active additive to reduce the blood cholesterol level //E3S web of conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020, 01093.

19. Kurbanova, M.G., Izhmulkina, E.A., Goppe, A.I. Biotechnological aspects of developing functional food products // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2019, 11(8 Special Issue). – p. 3012-3020.

Статья поступила в редакцию 16.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 637.564.5.061.071:634.723.1:547.918

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0015

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ АГАР-АГАР И АНТОЦИАНЫ, В КАЧЕСТВЕ СМАРТ УПАКОВКИ ДЛЯ РЫБНОГО СЫРЬЯ

© Автор(ы) 2022

ORCID: 0000-0003-3713-8831

Scopus Author ID: 57132471900

РИНЦ Author ID: 53541

SPIN-код: 1779-5453

ЧЕСНОКОВА Наталья Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент,
доцент Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы
«Институт биотехнологии, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690000, Россия, Владивосток, о. Русский, п. Аякс 10)

ORCID: 0000-0001-5972-6904

Scopus Author ID: 57132316900

РИНЦ Author ID: 833120

SPIN-код: 2014-4031

КУЗНЕЦОВА Алла Алексеевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы
«Институт биотехнологии, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690000, Россия, Владивосток, о. Русский, п. Аякс 10)

ORCID: 0000-0003-1320-1787

Scopus Author ID: 57201425207

РИНЦ Author ID: 641061

SPIN-код: 6625-3799

ЛЕВЧУК Тамара Викторовна, кандидат технических наук,
заведующая лабораторией Химии и технологии пищевых систем Департамента пищевых наук и технологий
Передовой инженерной школы «Институт биотехнологии, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690000, Россия, Владивосток, о. Русский, п. Аякс 10)

Аннотация. В работе исследовано влияние содержания антоцианов на структурно-механические характеристики пленок на основе агар-агара. Наиболее оптимальное содержание антоцианов в пленке составляет 30-50%. При данном содержании антоцианов пленка обладает необходимыми для данного вида упаковки структурно-механическими характеристиками. Показано, что количество антоцианов в пленке не является определяющим фактором, приводящим к изменению ее цвета в процессе хранения рыбного сырья. В качестве тест-системы для определения качества рыбного сырья в режиме реального времени рекомендовано использовать пленки с различным содержанием антоцианов. Факторами, влияющими на окраску пленок, являются изменение *pH* продукта в процессе его хранения, степень измельчения рыбного сырья и содержание в нем жира. Показано, что степень измельчения сырья оказывает существенное влияние на изменение окраски пленки после часа контактирования с продуктом. Наибольшее изменение цвета пленки наблюдается в образце с использованием фарша. После часа контактирования с продуктом пленка начинает менять свой цвет и приобретает сероватый оттенок. Цвет пленки с завернутым в нее филе минтая после часа контактирования практически не изменяется. Показано, что изменение цвета пленки, используемой в качестве упаковки для рыбного сырья с высоким содержанием жира происходит более интенсивно, чем у рыб тощих сортов.

Ключевые слова: антоцианы, агар-агар, пленки на основе полисахаридов, рыбное сырье, фарш, филе, минтай, сельдь, контактирование, структурно-механические свойства.

USE OF FILMS CONTAINING AGAR-AGAR AND ANTHOCYANES AS SMART PACKAGING FOR FISH RAW

© The Author(s) 2022

CHESNOKOVA Natalya Yurievna, candidate of Biological Sciences, associate professor,
associate professor Department of Food Science and Technology advanced school of Engineering
"Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems"

KUZNETSOVA Alla Alekseevna, candidate of technical sciences, associate professor
associate professor Department of Food Science and Technology advanced school of Engineering
"Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems"

LEVCHUK Tamara Viktorovna, candidate of technical sciences,

head of the Laboratory of Chemistry and Technology of Food Systems
Department of Food Science and Technology, Advanced Engineering School
"Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems"
Far Eastern Federal University
690000, Russia, Vladivostok, Russky Island, Ajax St. 10

Abstract. The effect of anthocyanin content on the structural and mechanical characteristics of films based on agar-agar was studied. The most optimal content of anthocyanins in the film is 30-50%. With a given content of anthocyanins, the film has the structural and mechanical characteristics necessary for this type of packaging. It is shown that the amount of anthocyanins in the film is not the determining factor leading to a change in its color during the storage of fish raw materials. As a test system for determining the quality of fish raw materials in real time, it is recommended to use films with different anthocyanin content. The factors affecting the color of the films are the change pH of the product during its storage, the degree of grinding of fish raw materials and the content of fat in it. It is shown that the degree of grinding of the raw material has a significant effect on the change in the color of the film after an hour of contact with the product. The greatest change in the color of the film is observed in the sample using minced meat. After an hour of contact with the product, the film begins to change its color. The color of the film with the pollock fillet wrapped in it remains unchanged after an hour of contact. It has been shown that the color change of the film used as packaging for fish raw materials with a high fat content is more intense than in low fat fish.

Keywords: anthocyanins, agar-agar, films based on polysaccharides, fish raw materials, minced meat, fillets, pollock, herring, contacting, structural and mechanical properties.

Для цитирования: Чеснокова Н.Ю. Использование пленок, содержащих агар-агар и антоцианы, в качестве СМАРТ упаковки для рыбного сырья / Н.Ю. Чеснокова, А.А. Кузнецова, Т.В. Левчук // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 94-100. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0015.

Введение. В настоящее время при производстве упаковочных пленок для пищевых продуктов широко используются синтетические полимеры, которые не поддаются биологическому разложению и могут привести к серьезному загрязнению окружающей среды. В последние годы не только в нашей стране, но и во всем мире обострилась экологическая ситуация, связанная с утилизацией полимерных упаковочных материалов, используемых для упаковки пищевых продуктов. Поэтому в качестве сырья для биоразлагаемой упаковки предпочтительнее использовать биополимеры природного происхождения, например, полисахариды и белки, которые являются биоразлагаемыми и нетоксичными для организма человека.

Кроме того, традиционно используемые упаковочные материалы могут защитить пищу только от некоторых внешних условий, таких как влажность, свет, кислород, микроорганизмы и механический стресс [1]. Поэтому появление на рынке Смарт упаковки, содержащей природные нетоксичные компоненты, позволяет расширять сферу ее применения в пищевой индустрии за счет приобретения ею дополнительных свойств, позволяющих сохранять качество упакованных изделий, пролонгировать их сроки годности (активная упаковка), либо контролировать качество пищевых продуктов в режиме реального времени (интеллектуальная упаковка) [2-5]. Приобретение упаковкой данных качеств возможно включением в ее состав биологически активных соединений, обладающих антирадикальной активностью и способных реагировать на изменения активной кислотности (pH) продукта в процессе его порчи. Соединениями, обладающими данными характеристиками, могут служить антоцианы.

Антоцианы представляют собой самую важную

группу водорастворимых пигментов растений, принадлежащих к группе биофлавоноидов и содержащих от трех до шести гидроксильных групп, которые могут быть метилированы [6]. Эти соединения отвечают за красную и синюю окраску большинства фруктов, овощей, злаков и цветов.

Попадая в организм человека антоцианы способны регулировать уровень холестерина в крови, оказывать антигистаминное, противовирусное, капилляроукрепляющее действия, обладать антитромботическими свойствами, способствовать профилактике онкологических заболеваний, а также проявлять цитостатические и противовоспалительные эффекты [7-10]. Будучи водорастворимыми и безвредными пигментами, антоцианы проявляют также антирадикальную активность [11].

Анализ последних публикаций показал (S. Singh et al. [3], V.A. Pereira et al. [5], J. Zhang et al. [12], G. Jiang et al. [13]), что создание пленок на основе полимеров с включением в их состав антоцианов не всегда легко и осуществимо, поскольку необходимо детально изучить различные факторы, влияющие на физические и функциональные свойства пленок, например, такие как условия приготовления пленок, тип используемого для основы пленок биополимера, а также влияние содержания антоцианов на окраску и реологические характеристики пленок.

Методология. Целью данной работы является обоснование использования пленок, содержащих агар-агар и антоцианы, в качестве Смарт-упаковки, позволяющей контролировать свежесть рыбного сырья в процессе хранения.

Объектами исследования являлись замороженные ягоды черной смородины (*Ribes nigrum*), охлажденные филе минтая и сельди и свежемолотый

фарш минтая, а также пленки на основе полисахаридов с добавлением антоцианов.

Замороженные ягоды черной смородины подвергались дефростации и измельчению. Экстракцию ан-

тоцианов проводили водным раствором при температуре 70°C в течение 30 мин.

Блок-схема производства пленки, содержащей агар-агар и антоцианы представлена на рисунке 1.

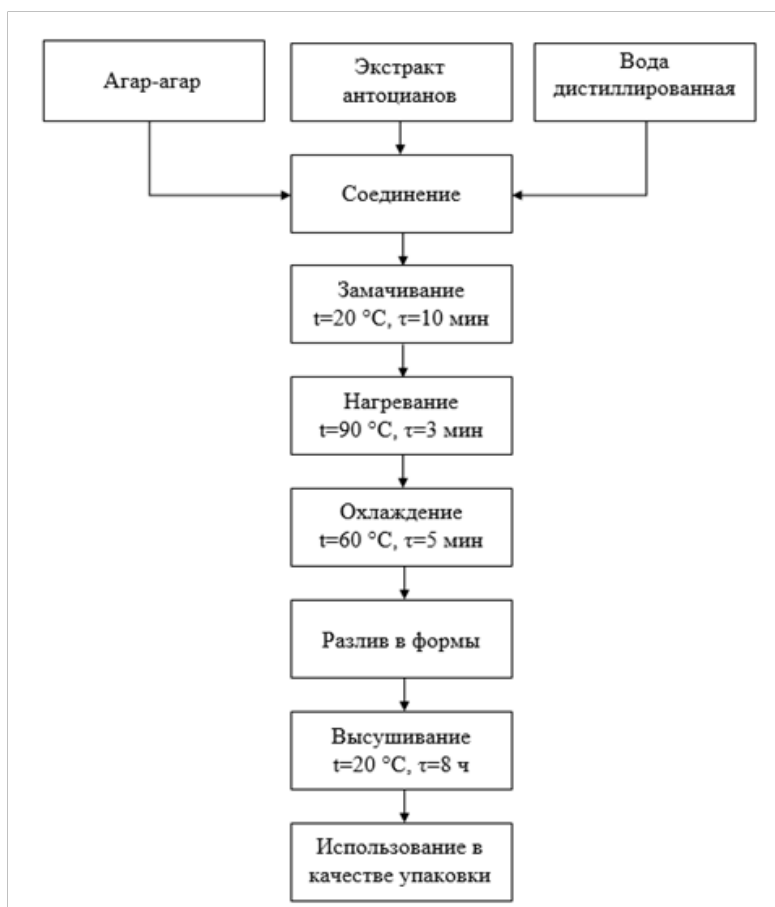


Рисунок 1 – Блок-схема производства пленки, содержащей агар-агар и антоцианы

Для получения пленки в водный раствор антоцианов вводили агар-агар в количестве 1,5%. Полученную смесь тщательно перемешивали и оставляли на 10 мин при комнатной температуре. Затем раствор нагревали до температуры 90°C до полного растворения агар-агара. Далее раствор охлаждали до 60°C и разливали в формы. Высушивание пленки проводили при температуре 20°C и влажности воздуха 40% в течение 8 часов.

Определение содержания антоцианов в пленке проводилось согласно стандартной методике [14].

Исследования антирадикальной активности пленок, содержащих антоцианы, проводились по стандартному методу с использованием в качестве хромоген-радикала – DPPH (2,2-дифенил-1-пикрил-гидразил) [15,16].

Исследование структурно-механических характеристик или прочностных свойств пленок проводили с использованием машины для механических испытаний EZ-LX-1,0кН (Япония, Shimadzu Corporation). Диапазон измерений составлял 0.002 – 1кН, ± 0.5%.

Филе минтая и фарш минтая и сельди заворачивали в пленку, содержащую полимеры и антоцианы, и оставляли при температуре 20°C и относительной

влажности воздуха 40% на час, сутки или двое суток хранения. В качестве контроля использовали образцы филе минтая и фарша минтая и сельди, упакованные в полимерную пленку.

Результаты. Поскольку введение антоцианов в состав пленки может изменять ее характеристики [17], в работе было изучено влияние содержания пигмента на органолептические и структурно-механические свойства пленок. Влияние содержания антоцианов на органолептические и структурно-механические свойства пленок, а также значения антирадикальной активности и содержание в них антоцианов приведено в таблице 1.

Из представленных в таблице 1 результатов видно, что пленки, содержащие 30 и 50 % антоцианов, имели наиболее удачные органолептические и структурно-механические характеристики. Пленки имели красный цвет, обладали антирадикальной активностью, были эластичные, достаточно стойкие к деформации. Максимальная сила деформации при разрыве составляла 7.23 и 5.24 Н.

Увеличение содержания антоцианов в пленке до 8.8 мг/см³ приводило к снижению ее структурно-механических характеристик. Максимальная сила при

разрыве снижалась в два раза и составляла 4.87 Н. Пленка, содержащая 70% антоцианов, становилась менее эластичной, при сгибании на поверхности образовывались трещины и разрывы.

Пленку, содержащую антоцианы, использовали в качестве упаковки для рыбного сырья с целью определения качества продукта в процессе хранения. Внеш-

ний вид образцов пленок, содержащих 30, 50 и 70% антоцианов, с завернутым в них филе минтая после суток и двух суток хранения представлены на рисунке 2.

Характеристика пленок после суток и двух суток хранения при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 40% представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Влияние содержания антоцианов на свойства образцов пленок

Содержание антоцианов в пленке		Антирадикальная активность, в перерасчете Trolox эквивалент, мМ	Максимальная сила при разрыве, Н	Толщина образца, мм	Характеристика пленок
%	мг/см ³				
30	4,3±1,1	1.12±0,09	7.23±1,88	0.25±0.01	Красного цвета, плотная, эластичная, стойкая к деформации
50	6,7±1,0	1.54±0,10	5.24±0.02	0.28±0.01	Ярко-красного цвета, эластичная, стойкая к деформации
70	8,8±1,1	1.79±0.12	4.87±0.02	0.26±0.02	Темно-красного цвета, нестойкая к деформации, образуются трещины

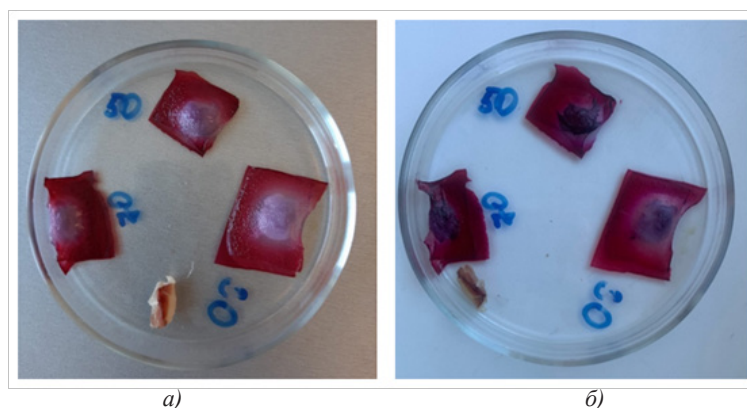


Рисунок 2 – Внешний вид образцов пленок, содержащих 30, 50 и 70 % антоцианов, с завернутым в них филе минтая после хранения при температуре 20 °С в течение: а) суток и б) двух

Таблица 2 – Характеристика пленок после суток и двух суток хранения

Содержание антоцианов в пленке	Характеристика пленок после суток хранения	Характеристика пленок после двух суток хранения
30 %	Поверхность блестящая, цвет пленки светло-красный, в точке соприкосновения с продуктом – сероватый	Поверхность матовая, цвет пленки красный, в точке соприкосновения с продуктом – сине-фиолетовый
50 %	Поверхность блестящая, цвет пленки ярко-красный, в точке соприкосновения с продуктом – сероватый	Поверхность матовая, цвет пленки красный, в точке соприкосновения с продуктом – темно-фиолетовый
70 %	Поверхность блестящая, цвет пленки темно-красный, в точке соприкосновения с продуктом – красный	Поверхность матовая, цвет пленки красный, в точке соприкосновения с продуктом – темно-фиолетовый

Из представленных результатов видно, что в процессе хранения цвет пленки изменялся. Наибольшее изменение цвета после суток хранения рыбного филе наблюдается в пленках, содержащих 30 и 50% антоцианов. В точке соприкосновения пленки с продуктом цвет менялся с красного на серый. При этом такие органолептические показатели филе, как консистенция и запах не изменились.

Цвет пленки, содержащей 70% антоцианов, после суток контактирования с продуктом оставался красным. После суток хранения при температуре 20°C консистенция рыбного филе оставалась плотной, упругой и однородной. Запах рыбного филе не изменялся, оставался свойственным данному виду рыбы, посторонний запах в процессе хранения не появлялся. Видимо, содержание антоцианов – 8.8 мг/см³ и высокие значения антирадикальной активности (1.79 Trolox экв, мМ) данного вида пленки, препятствуют

микробиологической порче продукта и сохраняют ее цвет.

Увеличение сроков хранения рыбного филе до двух суток приводит к изменению цвета всех образцов пленок. Цвет пленок в месте контактирования приобретает сине-фиолетовый или темно-фиолетовый оттенок, что свидетельствует о порче продукта. После двух суток хранения при температуре 20°C консистенция рыбного филе становится рыхлой, появляется посторонний неприятный запах.

Пленку на основе агар-агара и содержащую 50% антоцианов, использовали для хранения фарша и филе минтая, с целью изучения влияния степени измельчения мышечной ткани на сохранность продукта в пленке. Внешний вид образцов пленок, содержащих 50% антоцианов, с завернутыми в них фаршем и филе минтая после часа контактирования представлен на рисунке 3.

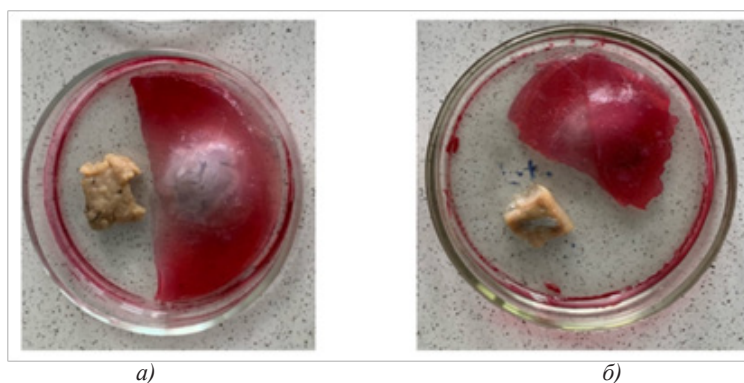


Рисунок 3 – Внешний вид образцов пленок, содержащих 50% антоцианов, с завернутыми в них фаршем (а) и филе минтая (б) после часа контактирования

Из представленных результатов видно, что степень измельчения мышечной ткани существенно влияет на изменение окраски пленки после часа контактирования с продуктом. Наибольшее изменение цвета пленки наблюдается в образце с использованием фарша. После часа контактирования с продуктом пленка начинает менять свой цвет и приобретает сероватый оттенок, что говорит о начале распада белковых молекул в результате микробиологической порчи. Напротив, цвет пленки с завернутым в нее филе минтая после часа контактирования практически не изменяется.

Изучение влияния содержания жира в рыбном

сырье на изменение окраски пленки проводили с использованием двух видов Дальневосточного рыбного сырья сельди и минтая, отличающихся друг от друга содержанием жира в толще мышечной ткани. Минтай по содержанию липидов в съедобном мясе относят к тощим рыбам, поскольку, содержание жира в нем составляет 2%. Содержание жира в сельди колеблется от 8 до 15%, что позволяет относить их к сырью с высокой степенью жирности. Внешний вид образцов пленок, содержащих антоцианы, с завернутыми в них филе минтая и сельди после часа, суток и двух суток контактирования представлено на рисунке 4.

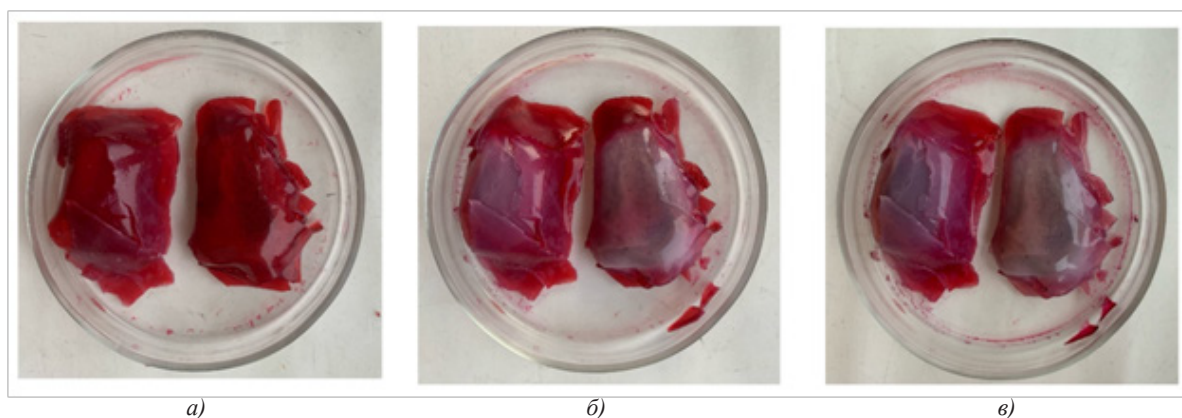


Рисунок 4 – Внешний вид пленок с завернутым в них филе минтая (слева) и сельди (справа) спустя: а) час, б) сутки, в) двое суток контактирования при температуре 20°C

Из представленных результатов видно, что после часа контактирования филе минтая и сельди с пленкой изменение окраски пленки не происходило. После суток хранения филе в пленке наблюдаются изменения в ее окраске. Изменение цвета пленки с филе минтая после суток контактирования было незначительным. Наиболее интенсивно изменялся цвет пленки с филе сельди. После двух суток хранения филе в пленке, изменения ее цвета происходило в обоих образцах рыб. Пленка приобретала темно-серый оттенок.

Обсуждение. В более ранних работах нами было определено, что на структурно-механические характеристики пленки большое влияние оказывают электростатические взаимодействия, возникающие между катионными антоцианами и анионными полисахаридами (N.Yu. Chesnokova et al. [18], Н.Ю. Чесноко-

ва и др. [19]). По-видимому, увеличение содержания антоцианов в растворе (табл. 1) приводит к недостаточному насыщению атома кислорода, содержащегося в гетероциклическом кольце антоцианов, что препятствует образованию стабильного комплекса и, соответственно, ухудшает структурно-механические характеристики пленок. Поэтому, на структурно-механические характеристики пленок существенное влияние оказывает количество входящих в их состав антоцианов. Наиболее оптимальное содержание антоцианов в пленке составляет 30-50%. При данном содержании антоцианов пленка обладает необходимыми для данного вида упаковки структурно-механическими характеристиками.

При контактировании пленок, содержащих различное количество антоцианов в своем составе, с

филе рыб изменение их окраски (рис. 2) происходит в результате смещения pH рыбного сырья в щелочную область за счет распада белковых соединений и образования различных аминов в результате микробиологической порчи продукта [12, 20]. В данном случае антоцианы способны выступать в качестве индикаторов качества продукта, поскольку в процессе хранения в ней рыбного сырья наблюдается изменение цвета пленки с красного на серый, а затем сине-фиолетовый. В процессе хранения филе минтая в пленках, изменение их цвета происходило во всех образцах и практически не зависело от содержания в них антоцианов. Поэтому, в качестве тест-системы для определения качества рыбного сырья в режиме реального времени рекомендуется использовать пленки с различным содержанием антоцианов.

Изучение влияния степени измельчения продукта на изменение цвета пленки (рис. 3) показало, что увеличение площади соприкосновения рыбного сырья с внешней средой ведет к интенсификации гнилостных процессов в белковых молекулах и образованию аммиака и аммонийных солей, что и находит отражение в изменении цвета пленки в процессе хранения фарша. Цвет пленки с завернутым в нее филе минтая после часа контактирования практически не изменяется, что свидетельствует о более долгом сохранении продуктом его качества.

При изучении влияния содержания жира в рыбном сырье на изменение окраски пленки (рис. 4) было определено, что важным фактором, оказывающим влияние на эти изменения, является смещение активной кислотности рыбного сырья в щелочную область. Изменение активной кислотности происходит в результате гнилостных процессов распада белковых молекул, происходящих при хранении рыбного сырья под действием микробиологической порчи с образованием аммиака и аммонийных солей. При хранении филе минтая и сельди в пленке в течение двух суток наблюдается рост активной кислотности образцов. Значения pH филе минтая и сельди, после суток хранения в пленке составляет 7.2 и 7.5, что соответствует значениям pH для рыбы несвежего качества [21]. Кроме того, на значительные изменения цвета пленки, контактирующей с рыбой жирных сортов, помимо распада белковых молекул, вероятно, оказывают влияние окислительные процессы, протекающие в жирах.

Результаты эксперимента показали преимущества хранения филе рыбы в пленке, содержащей антоцианы. Филе рыбы после суток хранения в традиционной целлофановой оболочке приобретало серый оттенок и посторонний неприятный запах испорченной рыбы. Таким образом, использование пленок, содержащих антоцианы в качестве упаковки для рыбного сырья позволяет получать готовый продукт с более длительным сроком годности.

Выводы. Таким образом, на структурно-механические характеристики пленок существенное влияние оказывает количество входящих в их состав антоцианов. Наиболее оптимальное содержание антоцианов

в пленке составляет 30-50%. При данном содержании антоцианов пленка обладает необходимыми для данного вида упаковки структурно-механическими характеристиками. Исследование влияния содержания антоцианов в пленке на изменение ее окраски при контактировании с сырьем показало, что количество антоцианов в пленке не является определяющим фактором, приводящим к перемене цвета. Факторами, влияющими на окраску пленок, являются изменение pH продукта в процессе его хранения, степень измельчения рыбного сырья и содержание в нем жира. Использование пленок, содержащих антоцианы в качестве упаковки для рыбного сырья позволяет получать готовый продукт с более длительным сроком годности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Cazon P., Velazquez G., Ramirez J.A., Vazquez M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review // *Food Hydrocolloids*. – 2017. – Vol. 68. – P. 136-148.
2. Kalpana S., Priyadarshini S. R., Leena M.M., Moses J.A., Anandharamakrishnan C. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 93. – P. 145-157.
3. Singh S., Gaikwad K.K., Lee Y.S. Anthocyanin-a natural dye for smart food packaging systems. // *Korean Journal of Packaging Science & Technology*. – 2018. – Vol. 24. – P. 167-180.
4. Dainelli D., Gontard N., Spyropoulos D., Zondervan-van den Beuken E., Tobback P. Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns. // *Trends in Food Science & Technology*. – 2008. – Vol. 19. – P. S103-S112.
5. Pereira V.A., de Arruda I.N.Q., Stefani R. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (Red Cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging // *Food Hydrocolloids*. – 2015. – Vol. 43. – P. 180-188.
6. Sigurdson G.T., Tang P., Giusti M.M. Natural colorants: food colorants from natural sources // *Ann. Rev. Food Sci. Technol.* – 2017. – Vol. 8. – P. 261-280.
7. Agcam E., Akyildiz A., Balasubramaniam V.M. Optimization of anthocyanins extraction from black carrot pomace with thermosonication // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 237. – P. 461-470.
8. You Y., Han X., Guo J., Guo Y., Yin M., Liu G., Zhan J. Cyanidin-3-glucoside attenuates high-fat and high-fructose diet-induced obesity/thermogenic capacity of brown adipose tissue // *Journal of Functional Foods*. – 2018. – Vol. 41. – P. 62-71.
9. Li D., Wang P., Luo Y., Zhao M., Chen F. Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Vol. 57 (8). – P. 1729-1741.
10. Leong H.Y., Show P.L., Lim M.H., Ooi C.W., Ling T.C. Natural red pigments from plants and their health benefits: A review // *Food Reviews International*. – 2018. – Vol. 34 (5). – P. 463-482.
11. Flanigan P.M., Niemeyer E.D. Effect of cultivar on phenolic levels, anthocyanin composition, and antioxidant properties in purple basil (*Ocimum basilicum* L.) // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 164. – P. 518-526.
12. Zhang J., Zou X., Zhai X., Huang X., Jiang C., Holmes M. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 272. – P. 306-312.
13. Jiang G., Hou X., Zeng X., Zhang C., Wu H., Shen G., et al. Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) anthocyanins for monitoring fish freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – Vol. 143. – P. 359-372.
14. Ivanova V., Domyei A., Mark L., Vojnoski B., Stafilov T., Stefova V., Kilar F. Polyphenolic content of Vranec wines produced by different vinification conditions // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 124. – P. 316-325.
15. Buijnsters M., Bicanic D., Chirtoc M. M., Nicoli M.C.,

Min Y. Evaluation of Antioxidative Activity of Some Antioxidants by Means of a Combined Optothermal Window and a DPPH Free Radical Colorimetry // Analytical Sciences (Japan). – 2001. – Vol. 17. – P. 544-546.

16. Kamiloglu S. Pasli A., Ozcelir B., Camp J., Capanoglu E. Colour retention, anthocyanin stability and antioxidant capacity in black carrot (*Daucus carota*) jam and marmalades: Effect of processing storage conditions and in vitro gastrointestinal digestion // Journal of functional foods. – 2015. – № 13. – P. 1-10.

17. Chen H.Z. Zhang M., Bhandari B., Yang C.H. Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness // Food Hydrocolloids. – 2020. – Vol. 100. – A. 105438.

18. Chesnokova N.Yu., Levochkina L.V., Kuznetsova A.A., Zakharyan R.A. The use of anthocyanin of black currant and polysaccharides in the production of sweet dishes // Biomedical and Pharmacology Journal. – 2015. – Vol. 8 (2). – P. 697-703.

19. Чеснокова, Н.Ю. Приходько Ю.В., Кузнецова А.А., Кушнарченко Л.В., Герасимова В.А. Использование пленок, обогащенных антоциановым пигментом в качестве индикатора свежести рыбного фарша // Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology). – 2021 – Т.51. – № 2. – С.340-362.

20. Мегеда Е.В., Ким И.Н. Биохимические аспекты формирования запаха сырых гидробιονтов // Известия ТИНРО. – 2008. – Т. 154. – С. 345-371.

21. Богданов В.Д., Волотка Ф.Б. Функционально-технологические свойства Дальневосточной краснопёрки и кефали-лобана // Известия ТИНРО. – 2013. – Т. 173. – С. 280-292.

Статья поступила в редакцию 30.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 637.1

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0016

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРУКТУРИРОВАННОГО СЫВОРОТОЧНОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ МОРСКОГО ПЕКТИНА (ЗОСТЕРИНА)

© Автор(ы) 2022

SPIN: 9119-9229

AuthorID: 447231

ORCID: 0000-0002-7068-911X

ResearcherID: D-4719-2017

ScopusID: 56737195500

ТАБАКАЕВА Оксана Вацлавовна, доктор технических наук, доцент,
профессор Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы
«Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ,
e-mail: yankovskaya68@mail.ru)

SPIN: 1892-5080

AuthorID: 1170452

ORCID: 0000-0001-9239-9730

ВАЛЕВИЧ Анастасия Леонидовна, аспирант Департамента пищевых наук и технологий
Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ,
e-mail: valevich_al@dvfu.ru)

SPIN:2649-0189

AuthorID: 967567

ORCID: 0000-0001-5658-5069

ResearcherID: AAD-6291-2022

ScopusID: 56741306200

ТАБАКАЕВ Антон Вадимович, кандидат технических наук,
доцент Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы
«Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»
Дальневосточный федеральный университет
(690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ,
e-mail: tabakaev92@mail.ru)

Аннотация. Стратегической задачей пищевой технологии является создание функционального питания, обеспечивающего поддержание и активизацию жизненно важных функций человека, повышение общей сопротивляемости организма агрессивным условиям окружающей среды. Современные тенденции совершенствования структуры питания ориентированы на разработку продуктов из натурального сырья с направленным его изменением, достаточных по пищевой и биологической ценности и соответствующих потребностям различных групп населения. Большую роль в питании населения играют безалкогольные напитки из природного и растительного сырья, оказывающие положительное физиологическое воздействие на организм человека. С каждым годом становятся более популярными сывороточные напитки, приготовленные с добавлением природного сырья в сочетании с плодово-ягодными соками. С целью расширения ассортимента продуктов функционального назначения и удовлетворения физиологических потребностей организма человека, были проведены органолептические исследования структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином. Результаты исследования показывают высокие потребительские качества разработанного структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином.

Ключевые слова: структурированные сывороточные напитки, зостерин, фруктовые соки, органолептический анализ, профили.

ORGANOLEPTIC EVALUATION OF THE QUALITY OF STRUCTURED WHEY DRINK WITH ADDITION OF MARINE PECTIN (ZOSTEROL)

© The Author(s) 2022

ТАБАКАЕВА Oksana Vatslavovna, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the Department of Food Sciences and Technology
ВАЛЕВИЧ Anastasia Leonidovna, postgraduate student
ТАБАКАЕВ Anton Vadimovich, associate professor
Institute of Biotechnology, Bioengineering, and Food systems

Eastern Federal University

(690000, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, 10, p. Ajax,

e-mails:yankovskaya68@mail.ru, valevich_al@dyfu.ru, tabakaev92@mail.ru)

Abstract. The strategic objective of food technology is to create a functional nutrition that ensures the maintenance and activation of vital human functions, increasing the overall resistance of the body to aggressive environmental conditions. Modern trends in improving the structure of nutrition are focused on the development of products from natural raw materials with a directed change, sufficient in nutritional and biological value and corresponding to the needs of various groups of the population. Soft drinks made from natural and vegetable raw materials, which have a positive physiological effect on the human body, play an important role in the nutrition of the population. Whey drinks made with the addition of natural raw materials in combination with fruit and berry juices are becoming more popular every year. In order to expand the range of functional products and meet the physiological needs of the human body, organoleptic studies of a structured whey drink with fruit juice (peach) and zosterin were conducted. The results of the study show the high consumer qualities of the developed structured whey drink with fruit juice (peach) and zosterin.

Keywords: structured whey drinks, zosterol, fruit juices, organoleptic analysis, profiles.

Для цитирования: Табакаева О.В. Органолептическая оценка качества структурированного сыворо-
точного напитка с добавлением морского пектина (зостерина) / О.В. Табакаева, А.Л. Валевиц, А.В. Табака-
ев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 101-106. – DOI:
10.46548/21vek-2022-1160-0016.

Введение. Принципы функционального питания как нового направления в нутрициологии и производстве пищевых продуктов активно развиваются в XXI в. Продукты функционального назначения являются системами естественного происхождения и характеризуются регулирующим действием на организм человека при условии систематического употребления [1]. Актуальность разработки новых пищевых продуктов с функциональными свойствами основывается на данных Всемирной организации здравоохранения, которые демонстрируют, что в современном существующем состоянии здоровья населения, выражающемся в увеличении числа людей, страдающих различными хроническими заболеваниями, часть из которых обуславливается алиментарными факторами [2].

В повседневном рационе современного человека явно существует проблема дефицита минорных пищевых соединений (биологически активных веществ различного происхождения, макро- и микроэлементов, балластных веществ) [3].

Перспективными пищевыми системами для разработки новых продуктов, в том числе и с функциональными свойствами являются продукты из молочного сырья, при условии глубоких изменений химического состава и свойств [4].

Разработка технологий новых продуктов на основе полного использования продуктов побочной переработки, обладающих определенной пищевой и биологической ценностью, является актуальной в связи с возрастающим дефицитом пищевых ресурсов. В молочной отрасли производится значительное количество недостаточно востребованного ресурса отрасли – молочная сыворотка (лактозосодержащее сырье). В Российской Федерации ежегодные объемы производства сыворотки превышают 6 млн. т. (в том числе подсырной сыворотки – 3,3 млн. т), но в то же время промышленной переработке подвергается только до 40% [5].

Молочная сыворотка – побочный продукт переработки молока после производства творога, казеина, сыров. Молочная промышленность Российской Федерации выпускает подсырную (54% от общего объема) и творожную (45% от общего объема) сыворотки. Химический состав характеризуется высоким содержанием лактозы, белковых веществ (альбумины, глобулины), минеральных веществ, липидов. Благодаря своему богатому химическому составу молочная сыворотка является биологически ценным сырьем [14, 15].

Однако существуют определенные ограничения для использования сыворотки в качестве ценного пищевого сырья, связанные в первую очередь с ее органолептическими характеристиками – своеобразный запах и вкус. Снятие этих ограничений может осуществляться путем модификации химического состава и свойств сыворотки физико-химическими и биохимическими методами. Получаемые продукты могут применяться в качестве основы для создания функциональных пищевых систем. Это позволит реализовать дополнительные возможности для решения проблемы комплексной, экономически обоснованной и экологически безопасной переработки побочных продуктов переработки молока [7].

Сыворотка чаще всего используется как основа для сывороточных напитков, а также для получения отдельных ее компонентов. Разработка новых сывороточных напитков с заданными свойствами (невысокая калорийность, высокая биологическая ценность) является актуальной задачей молочной промышленности, которая может быть решена за счет введения в рецептуру сывороточных напитков дополнительных компонентов различной направленности. В этом направлении перспективным является использование сырья морского генеза, характеризующегося уникальными БАВ, в частности пектина из морской травы *Zostera* (зостерина), являющегося структурообразователем.

Зостерин относится к пектиноподобным гетеро-

генным полисахаридам, мономерами в молекуле которого являются полигалактуронозная и полиглюкуронозная кислоты и гексозы. Свободные карбоксильные группы, присутствующие в составе зостерина вступают в реакции с щелочными металлами, образуя водорастворимые соли (зостераты натрия, калия, аммония). Особенностью данных солей является высокая вязкость их растворов как гидрофильных коллоидов [8, 9]. Источниками зостерина являются морские травы – филлоспадикс (содержание 8% по сухому веществу) и зостера (содержание 20% по сухому веществу) [10].

Пектин из морской травы *Zostera* (зостерин) характеризуется уникальными свойствами, обоснованными смешанным механизмом сорбции, большой сорбционной емкостью. Данные свойства обуславливаются содержанием уоновых кислот не менее 60%, что определяет высокую сорбционную активность по отношению к тяжелым металлам, вирусам и бактериям. Кроме того, этому способствует наличие сахара апиозы, препятствующего гидролизу зостерина ферментами бактерий в желудочно-кишечном тракте человека [11]. Также необходимо отметить, что зостерин обладает способностью не накапливаться в органах и тканях организма и полностью выводиться из организма в течение 24-36 часов [12].

Таблица 1 – Дескрипторы органолептических характеристик структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином

Органолептические показатели продукта	Дескрипторы
Вкус	Кислый, сладкий, освежающий, обусловленный вкусом используемого фруктового сока, гармоничный, сывороточный, без посторонних привкусов
Цвет	Желто-оранжевый, молочный, песочный, равномерный по всему объему
Внешний вид	Прозрачная жидкость, непрозрачная жидкость, без осадка, сходство с фруктовым соком, сходство с молочной сывороткой
Консистенция	Неоднородная, вязкая, текучая, жидкая
Запах	Ярко выраженный, характерный для используемого сока, характерный для молочной сыворотки, гармоничный, насыщенный, приятный

Унифицированная шкала органолептической оценки структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином представлена в таблице 2.

Балльная оценка применяется для каждой органолептической характеристики в отдельности. Максимальная балльная оценка будет составлять 25 баллов, минимальная – 5 баллов.

Органолептическая оценка структурированных сывороточных напитков с фруктовым соком (персик) и зостерином осуществлялась с использованием закрытых дегустаций, дегустаторами выступали сотрудники Департамента пищевых наук и технологий ДВФУ.

Результаты. Разработка рецептуры структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином осуществлялась путем оценки органолептических показателей модельных систем напитков с различной массой добавленного зостерина. Варианты рецептур с различным содержанием зос-

терина представлены в таблице 3.

Максимальная Рецептура 1 характеризуется минимальным содержанием зостерина, рецептура 4 – максимальным, соотношение сыворотка:фруктовый сок составляет 1:1.

Общая качественная оценка органолептических показателей структурированных сывороточных напитков с добавлением морского пектина (зостерина) представлена в таблице 4.

Полученные результаты органолептической оценки структурированных сывороточных напитков с фруктовым соком (персик) и зостерином демонстрируют, что максимально приемлемыми органолептическими характеристиками характеризуется напиток с содержанием зостерина 6,25 г на 50 л готового продукта (рецептура 2), сенсорные профили в сравнении с контрольным образцом представлены на рисунке 1. В качестве контроля был использован сы-вороточный напиток, пастеризованный с соком «Molli».

Кроме практического применения зостерина в качестве эффективного сорбента он и его соли находят применение при производстве пищевых продуктов в качестве стабилизатора, загустителя и желирующей добавки [13].

Таким образом, исходя из вышесказанного можно предположить, что совместное использование пектина из морской травы *Zostera* (зостерина) и молочной сыворотки обеспечит повышение биологической ценности и заданные свойства.

Целью исследования являлась оценка органолептических показателей нового структурированного напитка на основе сыворотки и фруктового сока с добавлением морского пектина (зостерина).

Методология. Объектом исследования являлись напитки на основе молочной сыворотки и фруктового сока (персик) с добавлением морского пектина (зостерина).

Органолептическая оценка проводилась с использованием профильного метода и унифицированной шкалы. Основными органолептическими характеристиками являлись вкус, цвет, запах и консистенция [16, 17].

Для оценки профиля новых напитков использовали дескрипторы, характерными для данной группы продуктов и представленные в таблице 1.

Таблица 2 – Унифицированная шкала органолептической оценки структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином

Уровень качества, балл	Характеристика органолептических показателей качества				
	Консистенция	Внешний вид	Вкус	Запах	Цвет
5	Неоднородная, в меру вязкая	Поверхность неровная, по объему есть небольшие расслоения, наполнитель выражен в виде желеобразных сгустков	Кисло-сладкий, с небольшим послевкусием сыворотки	Чистый, без сывороточного запаха	В зависимости от сока, неравномерный по всей массе
4	Неоднородная, излишне вязкая	Поверхность неровная, наполнитель выражен слабо, есть расслоения по объему	Сладкий, сывороточный вкус слабо выражен	Чистый, сывороточный запах слабо выражен	Светло-оранжевый, равномерный по всей массе
3	Неоднородная, мажущаяся	Поверхность неровная с чрезмерно крупными частицами наполнителя	Кислый, сывороточный вкус выражен	Сывороточный запах выражен	Молочный, равномерный по всей массе
2	Неоднородная, жидкая, текучая	Поверхность бугристая, наблюдается интенсивное расслоение по объему, с чрезмерно крупными частицами наполнителя	Сывороточный вкус сильно выражен	Сывороточный запах сильно выражен	Бледный, неравномерный
1	Неоднородная, расслоившаяся	Нехарактерная поверхность, чрезмерное расслоение по объему, желеобразные сгустки не выражены	Не выраженный	Не выраженный	Нехарактерный

Таблица 3 – Данные о вносимых ингредиентах структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерина

Наименование вносимого компонента	Содержание, на 50 кг готового продукта			
	Рецептура № 1	Рецептура № 2	Рецептура № 3	Рецептура № 4
Зостерин, г	3,75	6,25	10	12,5
Молочная сыворотка, л	25	25	25	25
Фруктовый сок (персик), л	25	25	25	25

Таблица 4 – Органолептические показатели структурированных сывороточных напитков с фруктовым соком (персик) и зостерином

Показатель	Органолептические показатели напитка			
	Рецептура № 1	Рецептура № 2	Рецептура № 3	Рецептура № 4
Внешний вид	Поверхность неровная, по объему есть расслоения, наполнитель выражен в виде желеобразных сгустков	Поверхность неровная, по объему есть расслоения, наполнитель выражен в виде желеобразных сгустков	Поверхность неровная, по объему есть расслоения, наполнитель выражен в виде желеобразных сгустков	Поверхность неровная, по объему есть расслоения, наполнитель выражен в виде желеобразных сгустков
Консистенция	Неоднородная, жидкая	Неоднородная, в меру вязкая	Неоднородная, вязкая	Неоднородная, вязкая
Вкус	Кисло-сладкий, с небольшим послевкусием сыворотки	Кисло-сладкий, с небольшим послевкусием сыворотки	Кисло-сладкий, с небольшим послевкусием сыворотки	Кисло-сладкий, с небольшим послевкусием сыворотки
Запах	Свойственный персиковому соку, без сывороточного запаха	Свойственный персиковому соку, без сывороточного запаха	Свойственный персиковому соку, без сывороточного запаха	Свойственный персиковому соку, без сывороточного запаха
Цвет	Молочно-оранжевый, неравномерный по всей массе	Молочно-оранжевый, неравномерный по всей массе	Молочно-оранжевый, неравномерный по всей массе	Молочно-оранжевый, неравномерный по всей массе

Диаграмма, представленная на рисунке 1 под буквой А, отражает сравнение опытного образца с контролем по вкусу. Сывороточный напиток обладает более сладким вкусом и менее выраженным вкусом молочной сыворотки в отличие от контрольного образца.

На диаграмме под буквой В на рисунке 1 можно увидеть, что цвет опытного образца немного неоднородный, желто-оранжевый, почти не имеет молочного цвета. В контрольном образце наоборот преобладает равномерный молочный цвет.

Представленная диаграмма на рисунке 1 под буквой В, отражает сравнение исследуемого продукта с контрольным объектом по показателю внешнего вида. Можно сказать, что сывороточный напиток непрозрачный, имеет наибольшее сходство с плодово-

ягодным соком и имеет желеобразные включения, образованные зостерином, что и является главным отличием от других сывороточных напитков, в том числе и контрольного образца.

Диаграмма, представленная под буквой Г на рисунке 1 отображает консистенцию напитков. В контрольном образце она более текучая и жидкая, в опытном образце отличается тем, что является более вязкой и неоднородной.

В диаграмме под буквой Д на рисунке 1 представлено сравнение напитков по показателю запаха. Запах структурированного сывороточного напитка является более гармоничным, приятным насыщенным с выраженным запахом фруктового сока, в отличие от сывороточного напитка, взятого за контроль.

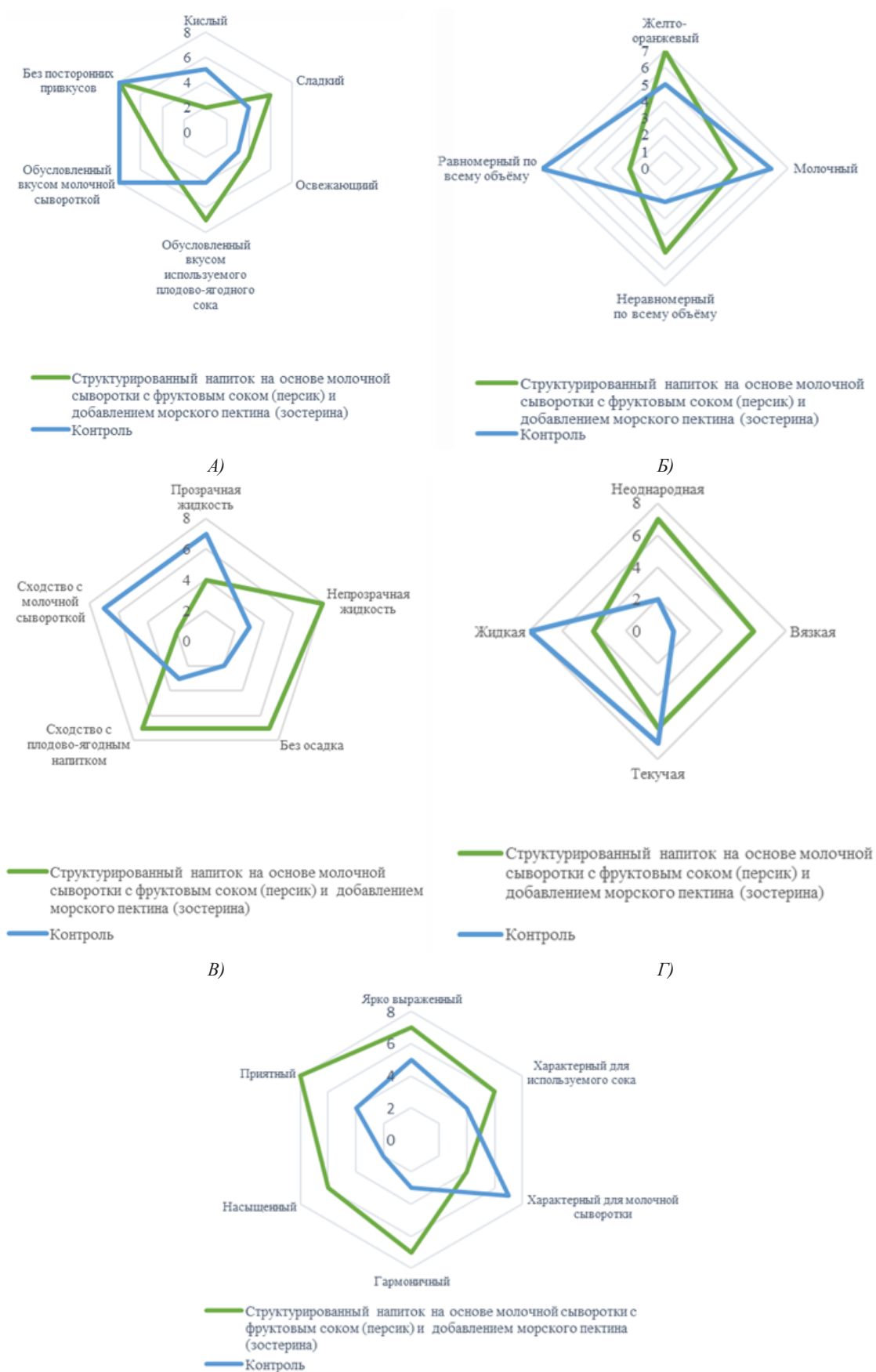


Рисунок 1 – Профилограмма органолептических показателей качества структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином и контрольного образца – напитка сывороточного, пастеризованного с соком (персик) «Molli» (А – вкус, Б – цвет, В – внешний вид, Г – консистенция, Д – запах)

Обсуждение. Дегустационную оценку органолептических показателей проводили 8 дегустаторов. Результаты исследований органолептических показателей структурированного сывороточного напитка

с фруктовым соком (персик) и зостерином и контрольного образца – напитка сывороточного пастеризованного с соком (персик) «Molli» представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Дегустационная оценка структурированного сывороточного напитка с фруктовым соком (персик) и зостерином и контрольного образца

Наименование	Вкус	Цвет	Внешний вид	Консистенция	Запах	Сумма баллов
Структурированный сывороточный напиток с фруктовым соком (персик) и зостерином	5	4	5	5	5	24
Контрольный образец (Напиток сывороточный пастеризованный с соком (персик) «Molli»)	4	5	3	2	3	16

Представленные в таблице 5 данные доказывают, что структурированный сывороточный напиток с фруктовым соком (персик) и зостерином (6,25 г на 50 л готового продукта) характеризуется высокими органолептическими характеристиками – общая балльная оценка составляет 24 балла, что существенно больше, чем у контрольного образца. Максимальные различия с контрольным образцом установлены для таких органолептических показателей как внешний вид, консистенция и цвет. По показателям вкус и цвет новый структурированный сывороточный напиток с фруктовым соком (персик) и зостерином также превосходит контрольный образец.

Выводы. Полученные данные органолептического анализа разработанного структурированного напитка на основе молочной сыворотки и плодово-ягодного сока (персик) с добавлением морского пектина (зостерина) демонстрируют высокие органолептические характеристики, зависящие от концентрации зостерина. Максимально приемлемыми являются органолептические показатели при содержании зостерина 0,0125%. Сравнение с контрольным образцом доказывает, что разработанный структурированный напиток на основе молочной сыворотки и плодово-ягодного сока (персик) с добавлением морского пектина (зостерина) характеризуется лучшими органолептическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Храмцов, А.Г. Научно-технические основы биотехнологии молочных продуктов нового поколения: учебное пособие / А.Г. Храмцов, Б.М. Синельников, И.А. Евдокимов [и др.]. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2002. – 56 с.
2. Зябрев, А.Ф. Переработка сыворотки – путь к созданию эффективности молочного производства / А.Ф. Зябрев, Т.А. Кравцов, Н.В. Горячий [и др.] // Молочная промышленность. – 2011. – № 8. – С. 13.
3. Понаморёв, А.Н. Применение молочной сыворотки в функциональном питании / А.Н. Понаморёв, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2013. – 180 с.
4. Храмцов А.Г. Безотходная технология в молочной промышленности / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко; под ред. А.Г. Храмцова. М.: Агропромиздат, 1989. – 279 с.
5. Клюкина, О.Н. Инновационные технологии комплексной переработки продукции сельского хозяйства и ее отходов на территории Российской Федерации / О.Н. Клюкина, Н.В. Неповинных, Е.В. Кунташов, О.С. Фоменко, О.А. Маркина, Е.Ю. Вольф, Ю.В. Евпатченко, О.А. Кучнова, Т.М. Гиро, С.С. Зубов, Н.М. Птичкина. – Саратов:

- издательство Саратовский источник, 2015. – 289 с.
6. Банникова, Л.А. Основы молочного производства: справочник / Л.А. Банникова, Н.С. Королева, В.Ф. Семенихина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
7. Золотарева М.С. Молочная сыворотка в технологии выработки цельномолочных продуктов / М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, В.А. Михнева, И.А. Евдокимов, Б.В. Чаблин // Переработка молока. – 2010. – № 5. – С. 6-8.
8. Мезенова, О.Я. Биотехнология рационального использования гидробактерий / О.Я. Мезенова. – М., 2013. – 413 с.
9. Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. – Владивосток: ТИПРО-центр, 2006. – 243 с.
10. Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Полезные вещества морских зеленых макроводорослей (CHLOROPHYTA) и морских трав (MAGNOLIOPHYTA): структура, содержание, накопление и использование // Известия ТИПРО-Центра. – 2011. – Т. 166. – С. 283-295.
11. Лоенко Ю.Н., Артюков А.А., Козловская Э.П., Мирошниченко В.А., Еляков Г.Б. Зостерин. Владивосток: Дальнаука, 1997. – 211 с.
12. Новиченко О.В. Биологически активные вещества высших водных растений *Potamogeton perfoliatus* L. и *Zostera noltii*: состав, свойства, применение // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 1. – С. 137-142.
13. Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищевая промышленность, 1967. – 416 с.
14. Храмцов, А.Г. Молочная сыворотка [Текст] / А.Г. Храмцов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
15. Залашко, М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки / М.В. Залашко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
16. Кантере, В.М. Основные методы сенсорной оценки продуктов питания / В.М. Кантере и др. // Пищевая промышленность 2003. – №10. – С. 6-13.
17. Родина Т.Г. Дегустационный анализ продуктов. – М: Колос, 1994. – 192 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 22-76-0000-8).

Статья поступила в редакцию 03.11.2022
Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 644

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0017

**О ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ
И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПЛАСТИКОВОЙ УПАКОВКИ**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 8595-4447

AuthorID: 839997

ORCID: 0000-0003-3506-3303

МУРАШКИНА Оксана Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440028, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул.Гагарина, 1а/11, e-mail: xeniam13@yandex.ru)*

SPIN: 9220-0752

AuthorID: 254439

ORCID: 0000-0001-6623-7228

АВРОРОВ Валерий Александрович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Пищевые производства»

*Пензенский государственный технологический университет**(440028, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул.Гагарина, 1а/11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)*

SPIN: 4884-0473

AuthorID: 839818

ORCID: 0000-0001-7952-359X

САРАФАНКИНА Елена Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440028, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул.Гагарина, 1а/11, e-mail: satel18@mail.ru)***ФЕДОРОВА Мария Петровна**, студент кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440028, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул.Гагарина, 1а/11)*

Аннотация. За последние десятилетия изделия из пластика, благодаря своим техническим характеристикам и относительной дешевизне, стали популярны практически во всех сферах производства, вытеснив более дорогое сырье – дерево, стекло, металл, камень. Полимерные материалы широко используются во всех областях человеческой деятельности. Большинство изделий, изготовленных из пластика, считаются неразлагаемыми. Поэтому вопрос рециклинга является актуальным. Дан анализ применяемой технологии для переработки использованной пластиковой упаковки пищевых продуктов. Приведено описание характеристик и основных свойств пластических масс. Приведены схемы и особенности оборудования для измельчения пластиковой упаковки, отмечены преимущества и недостатки способов измельчения полимерных отходов. Предложена конструктивно-технологическая схема установки для непрерывного силового измельчения различных видов пластиковой упаковки и тары. Разработаны технологическая схема и машино-аппаратурная схема линии для производства полимерных полуфабрикатов и готовой продукции. Рассмотрены возможные варианты вторичного использования измельченных пластиковых отходов для изготовления различных видов технических изделий.

Ключевые слова: использованная пластиковая упаковка и тара, переработка пластиковых отходов, скоростное и силовое измельчение отходов, машино-аппаратурная схема линии для переработки отходов, полимерные изделия из отходов

**ABOUT THE TECHNOLOGY OF OBTAINING POLYMER SEMI-FINISHED PRODUCTS
AND FINISHED PRODUCTS FROM USED PLASTIC PACKAGING**

© The Author(s) 2022

MURASHKINA Oxana Aleksandrovna, senior lecturer of the department of “Food production”**AVROROV Valery Aleksandrovich**, doctor of technical sciences, professor of the department of “Food production”**SARAFANKINA Elena Aleksandrovna**, senior lecturer of the department “Food production”**FEDOROVA Maria Petrovna**, student of the department "Food production"*Penza State Technological University**(440028, Russia, Penza, pr. Baidukova/Gagarin st. 1a/11,**e-mails: xeniam13@yandex.ru v_avrorov@bk.ru, satel18@mail.ru)*

Abstract. Over the past decades, plastic products, due to their technical characteristics and relative cheapness, have become popular in almost all areas of production, displacing more expensive raw materials – wood, glass, metal, stone. Polymer materials are widely used in all areas of human activity. Most products made of plastic are considered non-degradable. Therefore, the issue of recycling is relevant. The analysis of the applied technology for the processing of used plastic packaging of food products is given. The description of the characteristics and basic properties of plastic masses is given. Schemes and features of equipment for shredding plastic packaging are given, advantages and disadvantages

of methods for shredding polymer waste are noted. A design and technological scheme of the installation for continuous power grinding of various types of plastic packaging and containers is proposed. The technological scheme and the machine-hardware scheme of the line for the production of polymer semi-finished products and finished products have been developed. Possible options for the secondary use of crushed plastic waste for the manufacture of various types of technical products are considered.

Keywords: used plastic packaging and containers, recycling of plastic waste, high-speed and power shredding of waste, machine-hardware scheme of the line for waste processing, polymer products from waste.

Для цитирования: Мурашкина О.А. О технологии получения полимерных полуфабрикатов и готовых изделий из использованной пластиковой упаковки / О.А. Мурашкина, А.В. Авроров, Е.А. Сарафанкина, М.П. Федорова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 107-113. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0017.

Введение. Если еще полвека назад предлагаемая потребителю пищевая продукция упаковывалась в бумажные кульки и пакеты и поставлялась в магазины в деревянных ящиках и мешках из пеньки или джута, то в настоящее время упаковка из термопластичных полимеров стала повсеместной и разнообразной по форме и объему фасуемой продукции [1].

Ее широкое внедрение обусловлено долговечностью, легкостью, устойчивостью к механическим повреждениям и действию химических веществ, прозрачностью, эластичностью и гигиеничностью. Кроме того, пластик легко поддается формованию, на него легко наносится краска и печать. Жесткая и прочная полимерная тара (контейнеры, ящики, бочки, мешки и т.п.) может использоваться неоднократно.

Пластиковая упаковка в виде пакетов, коробок,

контейнеров, сумок, кухонной и столовой посуды, бутылок, банок, крышек, ведер, прокладок, оберточной пленки и т.д. позволяет решить любую упаковочную задачу всех видов пищевых продуктов независимо от их состояния. Продукты в такой упаковке поддаются заморозке и различным видам тепловой кулинарной обработки.

Механические свойства пластмасс характеризуются высокими показателями прочности при растяжении и разрыве, жесткости, модулем упругости, адгезионной стойкостью и другими показателями. Из теплофизических свойств одним из основных показателей являются температуры плавления и стеклования [2, 3].

В таблице 1 приведены основные характеристики пластиков, наиболее широко используемых для упаковки пищевых продуктов.

Таблица 1 – Основные характеристики пластиков, используемых для упаковки пищевых продуктов

Наименование пластика	Вид упаковки	Показатели			
		Температура плавления, °С	Температура стеклования, °С	Плотность, г/см ³	Прочность, МПа
Полиэтилен низкой плотности	Пленка, пакеты, контейнеры, банки, бочки, ведра, посуда и др.	105–115	– 70	0,91–0,97	10–16
Линейный полиэтилен низкой плотности		122–124	– 70	0,91–0,94	13–28
Полиэтилен высокой плотности		125–130	–100	0,94–0,965	22–32
Полипропилен	Пленка, крышки	160–175	–20	0,89–0,92	31–42
Поливинилхлорид	Пленка, бутылки, крышки	Температура разложения более 100°С с выделением HCl	75–80	1,22–1,4	9,7–2,4 кПа
Полистирол	Контейнеры, чаши, тарелки, крышки	160–170	80	1,06–1,076	–
Нейлон	Контейнеры, емкости, чаши	210–220	60–65	1,12–1,14	65,9
Полиэтилентерефталат	Бутылки для напитков	212–265	70–80	1,35–1,41	172
Поликарбонат	Тара для жидкостей, мучных изделий, мяса, сыра и др.	156	150	1,2	90–110

Достижения химической промышленности в области создания и массового выпуска различных видов полимеров позволили успешно решить задачи фасовки и упаковки пищевой продукции и практически исключить ее потери при транспортировании и хранении. Но, с другой стороны, породили острую проблему массовой переработки использованной тары, а при невозможности использования – окончательной утилизации без нанесения ущерба окру-

жающей среде.

Методология. Цель настоящей работы заключалась в рассмотрении и обосновании рациональной технологии повторной переработки пластиковых отходов и анализа возможностей вторичного использования полимерных полуфабрикатов, получаемых из отходов.

Результаты. Анализ технологии переработки пластиковых отходов. Основные экономические вы-

годы от положительного решения проблемы дальнейшей переработки и использования полимерных отходов будут заключаться в следующем:

- в сокращении площадей, выделяемых для полигонов и свалок по утилизации, а также мощностей по уничтожению неиспользуемых пластиков;
- в снижении затрат на производство первичных полимеров путем их частичной замены вторичными полимерами, полученными из отходов;
- в расширении номенклатуры более дешевых изделий, получаемых из смеси первичных и вторичных полимеров или целиком из вторичных полимеров.

Для того чтобы получить конечный полуфабрикат из использованной упаковки и брака при производстве первичных полимеров, пригодного для изготовления вторичной продукции, необходимо выполнить ряд технологических операций, определяющих в конечном итоге техническую и экономическую эффективность технологии переработки данного вида отходов.

Выбор необходимых операций, их характеристик и технологических показателей целесообразно проводить с учетом результатов анализа подобных операций в смежных отраслях, связанных с переработкой сырья и получаемых при этом отходов, например, таких как, производство комбикормов,

угарное производство в хлопкопрядении, металлообработка и др.

К типовым операциям процесса переработки отходов, характерным для ряда отраслей промышленности, относятся операции сортирования по видам и размерам отходов, их мойки и очистки (при необходимости), прессования или сушки, измельчения, дозирования, смешивания, формообразования (экструдирования, гранулирования и т.д.), фасовки и упаковки. В зависимости от специфики отраслей эти операции выполняются по определенным технологическим схемам на специализированном оборудовании.

Переработка использованного пластика является более затратной, чем производство первичных полимеров, поскольку требуется его предварительная очистка (мойка и высушивание) и другие операции, которые отсутствуют в производстве первичных полимеров. Особенно это касается пластиковой упаковки и тары из-под масел, спрэдов, пастообразных продуктов и т.п.

Применительно к переработке пластиковых отходов в полуфабрикат определенной формы и размеров, и получения из него конечной продукции на рисунке 1 представлен один из возможных вариантов технологической схемы.

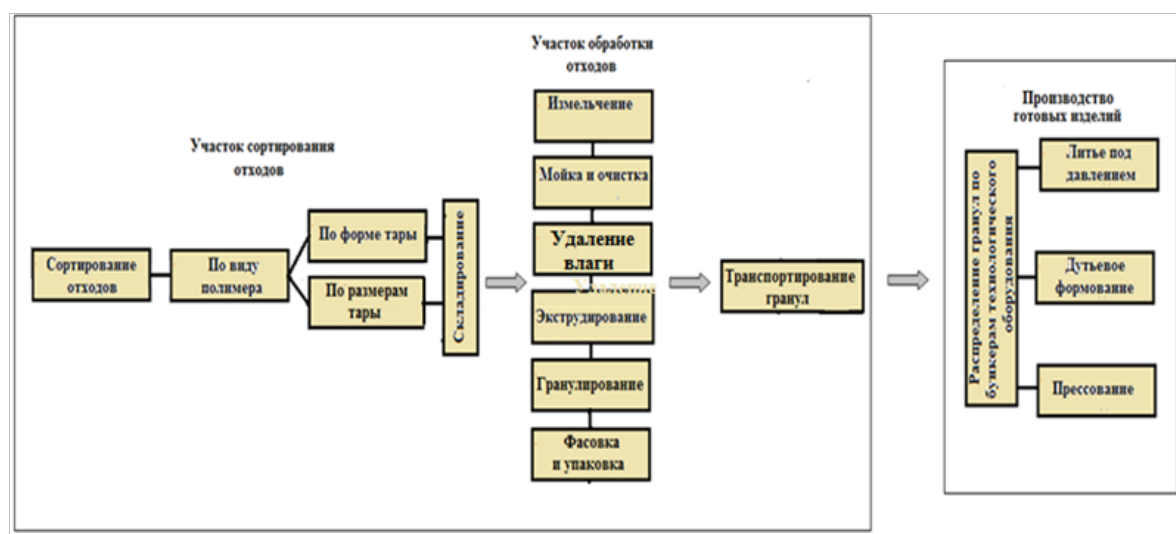


Рисунок 1 – Технологическая схема обработки пластиковых отходов и получения из них вторичной продукции

Сортирование отходов. Перед дальнейшей обработкой пластиковые отходы должны иметь примерно одинаковые физико-механические показатели, главным образом, температуру плавления, поэтому при сортировании в одну партию должны подбираться полимеры одного вида или, в крайнем случае, имеющие небольшой разброс по температуре плавления.

Сортирование пластиковых отходов осуществляется вручную на конвейерах с линейной секционной компоновкой. Необходимость сортирования отходов по форме упаковки и размерам зависит от способа измельчения и конструктивных особенностей из-

мельчающего оборудования, установленного на производстве.

Форма и размеры отходов не имеет большого значения для силовых измельчающих машин, оснащенных рифлеными плоскостными валками, поэтому способных одновременно измельчать разные по видам, форме и размерам пластиковые отходы.

Измельчение отходов. Возможны два основных способа измельчения: скоростной динамический и силовой. В большинстве известных моделей измельчающих установок используется скоростное динамическое роторное измельчение (рис. 2).

Скоростное измельчение возможно также при-

менением комплекта быстровращающихся дисковых ножей (фрез) или барабана, обтянутого цельнометаллической пыльчатой лентой (ЦМПЛ), наподобие того, как это реализовано, например, в приемном узле кардочесальной машины для хлопка.

Ударные нагрузки при высокой угловой скорости вращения ножей приводят к интенсивному измельчению пластика, но в тоже время уменьшают эксплуатационную надежность измельчающей установки с позиций срока службы ножей, необходимости периодической разборки роторного узла для их

заточки, необходимости точной выставки и регулярной проверки зазоров между подвижными и неподвижными ножами.

Более рациональным решением, на наш взгляд, является силовое непрерывное резание с использованием режущего инструмента, выполненного в виде многолезвийного ножевого вала, лезвия которого располагаются по винтовым линиям с определенным числом заходов, вращающегося с небольшой скоростью, и жестко опирающегося при своем вращении на опорный вал (рис. 3) [4].

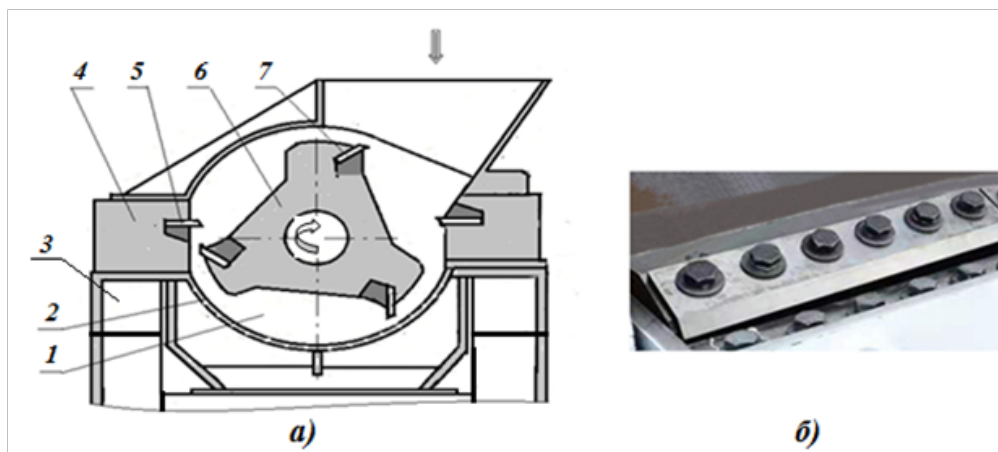


Рисунок 2 – Схема роторного измельчителя пластиковых отходов (а), крепление ножей к ротору (б):
1 – рабочая зона измельчения пластика, 2 – ситовая поверхность, 3 – рама, 4 – основание для крепления неподвижных ножей, 5 – неподвижный нож, 6 – ротор, 7 – нож ротора

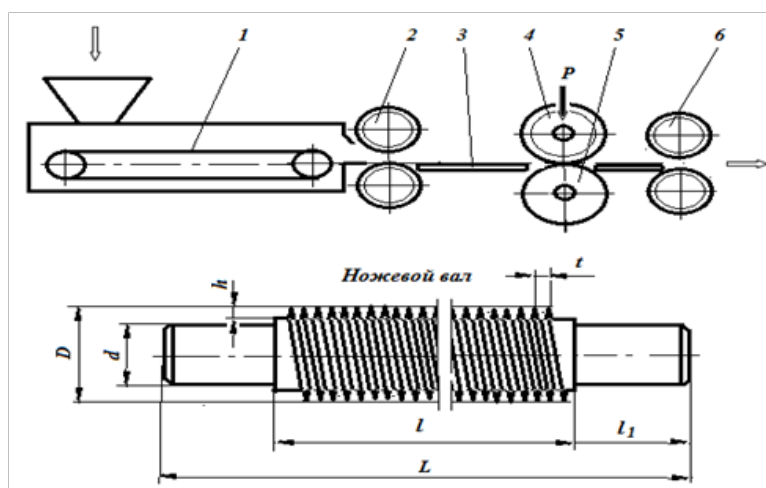


Рисунок 3 – Схема резательной машины для измельчения пластиковых отходов:
1 – конвейер подачи отходов, 2 – входные плуцильные валки, 3 – столик, 4 – ножевой вал, 5 – опорный вал, 6 – выходные валки

Технологические операции в установках с конвейерной подачей и отводом продукта относятся к операциям III класса, в которых транспортные и технологические операции взаимно согласованы [5]. Материал обрабатывается при его непрерывном транспортировании, измельчаясь в зоне ножевого и опорного валов.

Многозаходный ножевой вал является жесткой конструкцией, установленной в корпусах спаренных

игольчатых подшипников. Профиль режущих лезвий – треугольный с углом при вершине α , угол подъема витков β , твердость поверхности лезвий не менее 64...66 HRC.

Такое конструктивное решение ножевого вала делает резательную машину универсальной с позиций измельчения различных по природе материалов и промышленных отходов. Ножевой вал машины способен разрезать, что подтверждается практикой, на

отдельные короткие полоски и частицы пластиковую пленку и другую упаковку, отходы текстильных тканей, синтетические волокна, бумагу, картон, отходы деревообработки (щепу, стружку, кору и пр.), отходы кожевенной промышленности, твердые отходы мясной промышленности (хрящи, кости для приготовления мясокостной муки.) и др.

Пропускная способность ножевой резательной машины, кг/ч

$$Q = 0,25k\rho(R_2^2 - R_1^2) \left(S - \frac{b_2 - b_1}{2\cos\alpha} \right) n_{O.B.} k_H k_C$$

где k – число заходов ножевого вала;

ρ – плотность измельчаемого материала, кг/м³;

R_1, R_2 – наружный и внутренний радиусы ножевого вала по лезвиям, м;

S – шаг витков режущих лезвий ножевого вала, м;

b_1, b_2 – ширина профиля лезвия вала в нормальном сечении по внутреннему и наружному радиусам, м;

α – угол подъема лезвия по среднему диаметру вала, град.;

k_H – коэффициент заполнения пространства между лезвиями;

k_C – коэффициент качества резания.

Мойка и очистка измельченных отходов. Измельченные пластиковые отходы перед экструдированием подвергаются мойке от загрязнений и последующему подсушиванию или отжиму до содержания влаги смачивания не более 20%, необходимого для качественного выполнения процесса экструдирования.

Для мойки пластиковых отходов можно использовать известные конвейерные или барабанные моечные машины непрерывного или периодического действия: отмочные, форсуночные или отмочно-форсуночные с проточной или оборотной жидкой средой [6, 7].

Для удаления лишней влаги из измельченных отходов перед их экструдированием может быть применена сушильная установка конвейерного типа или более простая барабанная или шнековая отжимная машина [8, 9].

Экструдирование и гранулирование. Для получения полимерных полуфабрикатов (гранул) применяется горячая (термопластическая) экструзия, протекающая при высоких скоростях и давлениях [10].

Для экструдирования подготовленных пластиковых отходов используются экструдеры, выходная матрица которых содержит фильеру с отверстием преимущественно цилиндрической формы, аналогично тому, как это имеет место в известном макаронном прессе [11-13]. После матрицы для получения гранул определенной длины из жгута, выходящего из отверстия фильеры, устанавливается отрезное устройство, скорость вращения ножа которого согласуется со скоростью выхода сформированного продукта.

Полученные гранулы могут добавляться к пер-

вичным гранулам, что удешевляет изготавливаемую продукцию, или использоваться в чистом виде. Так, например, гранулы, полученные из полиэтилена высокого давления, эластичны, морозостойки, являются диэлектриками, обладают низкой теплопроводностью и стойкостью к химическим воздействиям. Материалы, получаемые из гранул поливинилхлорида, легко окрашиваются и обрабатываются на любом оборудовании. Гранулы из отходов полипропилена обладают повышенной прочностью, термоустойчивостью, гидрофобностью и стойкостью к кислотам и спиртам. Эти гранулы рекомендуются для использования на литьевых машинах. Гранулы из отходов полистирола и поликарбоната имеют сбалансированное соотношение гибкости и жесткости, обладают достаточной прочностью и инертны к химическим воздействиям.

Транспортирование. Для транспортирования гранул и заполнения бункеров литьевых машин (при их большом количестве) может быть использован автоматический многоканальный пневматический распределитель с мальтийским исполнительным механизмом или обычная более простая конвейерная система [14-16].

Транспортирование и распределение материалов по бункерам литьевых машин с помощью автоматического распределителя может осуществляться двумя способами:

– по обегавшей системе при непрерывном вращении мальтийского креста, когда подача происходит поочередно в каждый бункер;

– по запросу отдельных бункеров литьевых машин.

На рисунке 4 приведен один из возможных вариантов машино-аппаратурной схемы для производства пластиковых гранул.

К основным промышленным способам изготовления изделий из пластиковых отходов относятся литье под давлением, дутьевое формование и выдавливание [18,19]. Изделия, полученные этими способами, имеют гладкую поверхность, точные размеры и не требуют дополнительной механической обработки.

Габаритные изделия типа корпусов фигурных емкостей получают дутьевым, вакуумным или комбинированным формованием; профильные листовые или пленочные полуфабрикаты получают выдавливанием на специальном оборудовании.

Литье под давлением используется для изготовления изделий разной формы из термопластичных материалов (полиэтилена, полистирола, полиамида, полиуретана и др.) на литьевых установках, осуществляющих расплавление пластика и подачу его поршнем под давлением 50–250 МПа в закрытую и охлаждаемую пресс-форму.

Полученные полуфабрикаты из пластиковых отходов могут быть использованы при производстве следующих вторичных технических изделий:

– плитки для облицовки фундаментов и тротуарной плитки;

- листов различных видов, размеров и толщин, черепицы для кровли;
- панелей ограждений приводов технологического оборудования;
- емкостей, контейнеров, коробок, поддонов, подставок и т.п.;
- различных полимерно-песчаных изделий;

- пластиковой мебели, элементов теплиц, светотехнических изделий, канцтоваров;
- армированных плоских пластиковых лент и шнуров повышенной прочности;
- труб, садового инвентаря;
- материалов для утепления, каналов для кабелей и др.

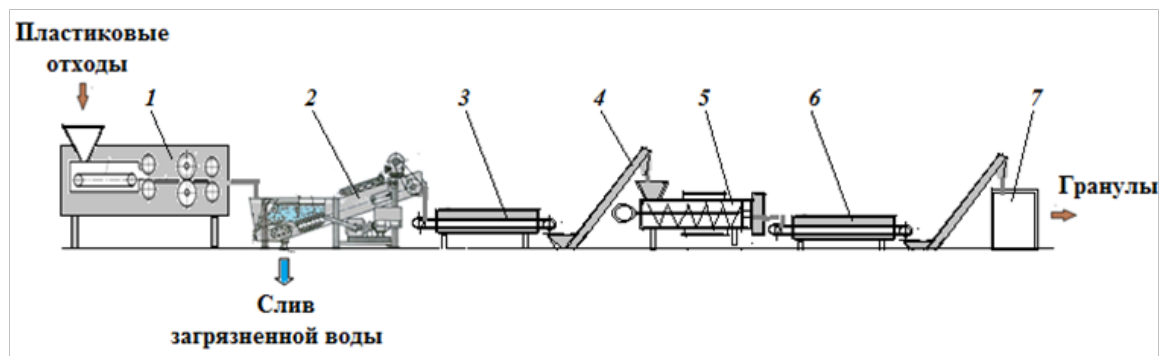


Рисунок 4 – Машинно-аппаратурная схема получения пластиковых гранул:

1 – ножевой измельчитель пластиковых отходов, 2 – моечно-очистительная машина, 3 – туннельная конвейерная сушилка*, 4 – шнековый питатель, 5 – экструдер-гранулятор, 6 – охладитель гранул, 7 – фасовочно-упаковочная станция.

Примечание: * вместо сушилки может быть применен пресс-компактор [9,17].

Для придания получаемым изделиям необходимых свойств в их состав могут вводиться различные наполнители:

- стеклоткань, хлопчатобумажная ткань, кордовые или металлические нити для повышения прочности;
- древесная мука, опилки, песок и другие, дисперсные материалы для уменьшения усадки и удешевления изделий;
- пигменты для окраски изделий;
- стабилизаторы (сажа и др.) для повышения стойкости изделий против старения;
- пластификаторы (дибутилфталат и др.) для повышения пластичности изделий;
- модификаторы (графит, дисульфид молибдена) для повышения антифрикционных свойств и др.

Обсуждение. На рисунке 5, в качестве примера, приведен один из вариантов изготовления полимерных изделий (черепицы, листов, тротуарной плитки и другой подобной продукции) с применением полуфабриката из пластиковых отходов с добавлением наполнителя, красящего пигмента и стабилизатора.

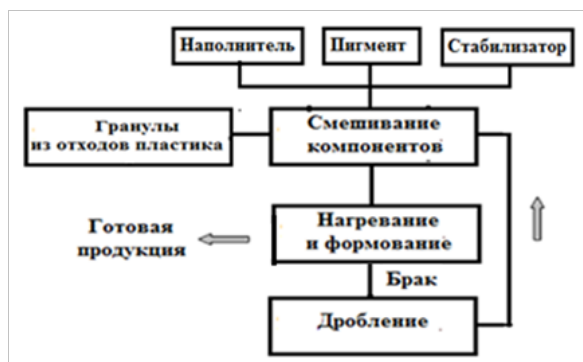


Рисунок 5 – Технологическая схема производства полимерно-песчаных изделий

В состав рецептурной смеси входит в качестве наполнителя чистый кварцевый песок, гранулы или просто измельченные частицы полиэтилена или других пластиков, жидкий пластификатор для лучшего соединения песка с полиэтиленом (1,9-1,5%), красящий пигмент (3,0-5,0%) и стабилизатор для повышения стойкости к старению.

Выводы. Определен необходимый набор технологических операций для переработки использованной пластиковой упаковки с непрерывным силовым ее измельчением, на основе которого предложен вариант машинно-аппаратурной схемы поточной линии для получения полуфабрикатов из пластиковых отходов.

Приведены возможные виды вторичной полимерной продукции, которую рекомендуется изготавливать из переработанных пластиковых отходов, и разработана технологическая схема производства листовых полимерных изделий с наполнителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авроров В.А. Упаковочные материалы и фасовочно-упаковочное оборудование пищевых продуктов: учебное пособие для вузов. – М: Издательство ЮРАЙТ, 2022. – 283 с.
2. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. – М: Химия, 1965. – 442 с.
3. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия. 1984. – 628 с.
4. Авроров В.А., Ловцева В.В., Польдяева М.А., Тутов Н.Д. Установа для измельчения пластиковой упаковки и других промышленных отходов / Химическое и нефтегазовое машиностроение. – № 11. – 2016. – С. 13-16.
5. Панфилов В.А., Ураков О.А. Технологические линии пищевых производств: создание технологического потока. – М: Пищевая промышленность, 1996. – 472 с.
6. Кирпичников В.П., Ботов М.И. Оборудование предприятий общественного питания. Ч.1. Механическое оборудование. – М: Академия, 2010.
7. Чаблин Б.В., Евдокимов И.А. Оборудование пред-

приятий общественного питания. 2-е изд. – М: Издательство Юрайт, 2021. – 719 с.

8. Авроров В.А., Редченко М.А., Мурашкина О.А. Барабанная отжимная машина для прессования влагосодержащих промышленных отходов / Химическое и нефтегазовое машиностроение. № 2. – 2021. – С. 20-22.

9. Авроров В.А., Редченко М.А., Мурашкина О.А. Разработка компоновки пресс-компактора для прессования влагосодержащих промышленных отходов и анализ процесса влагоотделения в зоне шнекового движителя / Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 1. – 2021. – С. 15-17.

10. Фатыхов Ю.А., Канопка Л. Экструзионные технологии пищевых производств. – Вильнюс: Техника, 2007. – С. 88.

11. Остриков А.Н. и др. Экструзия в пищевой технологии. – С.Пб: ГИОРД, 2004. – С. 288.

12. Авроров В.А., Курочкин А.А. и др. Теоретическое исследование условий движения обрабатываемого материала в одношнековом экструдере с модернизированной матрицей // Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции «Пищевая промышленность: и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы». – Пенза: ПДЗ, 2014. – С. 3-8.

13. Алексанян И.Ю., Синяк С.В. Выбор рациональных параметров экструдирования и гранулирования для оптимизации сушки пищевых и кормовых продуктов // Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности: материалы II междунар. научн. техн. конф. – Воронеж: Изд. ВГТА, ч. II, 2004. – С. 66-67.

14. Указания к проектированию пневматического транспорта на зерноперерабатывающих предприятиях. Утверждены 28.07.1971.

15. Указания к проектированию пневматического транспорта на мельницах. Утверждены 20.10.1976

16. Кулишенко С.А., Романовский Б.В., Широкова О.В., Ерохин В.С. Подъемно-транспортные устройства. Расчет и проектирование ленточного конвейера. – Пенза: ПГТА, 2005. – 62 с.

17. Редченко М.А. Совершенствование процесса прессования свекловичного жома и получение из него пищевых волокон / Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – М: РЭУ им. Г.В.Плеханова, 2020. – 24 с.

18. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Кн.3. – М: Машиностроение, 1977. – 360 с.

19. Справочник металлиста. В 5-и т. Т.3. Под. ред. А.Н.Малова. – М: Машиностроение, 1977. – 748 с.

Статья поступила в редакцию 25.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 636.087.24

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0018

ВЛИЯНИЕ АДАПТАЦИИ ДРОЖЖЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ

© Автор(ы) 2022

ORCID: 0000-0003-2410-8860

ОБУШНИКОВА Елена Борисовна, магистрант

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: obus.elena@yandex.ru)

ORCID: 0000-0003-4984-5234

КУЗЬМИНА Ольга Борисовна, магистрант

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: obus.olga@yandex.ru)

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. В работе исследовано влияние адаптации культур штаммов дрожжей ($n = 16$) на продуктивность их роста по биомассе в среде ферментативного гидролизата пивной дробины. По накоплению клеточной массы (г/л) в неадаптированных и адаптированных культурах оценивали эффективность биоконверсии компонентов пивной дробины как основного отхода пивоваренного производства. Сравнение образцов адаптированных и неадаптированных культур проводили с учетом особенностей селекции штаммов, их систематической (родовой) принадлежности и индивидуальных особенностей. Установлены достоверные различия в продуктивности между адаптированными и неадаптированными культурами в общей выборке. Методы селекции штамма, в отличие от систематической принадлежности и индивидуальных особенностей метаболизма, не влияют на адаптируемость клеток к гидролизатам дробины. Штаммы ($n = 3$), демонстрирующие высокую продуктивность по биомассе на продуктах гидролиза пивной дробины в независимости от адаптированности к ней считались нативно высоко специфичными к субстрату. Штаммы с низкой субстратной специфичностью ($n = 13$), напротив объективно увеличивали накопление клеточной массы после периода адаптации к питательной среде. Процесс адаптации низко специфичных к субстрату штаммов повышает эффективность биоконверсии его компонентов. Продукенты с нативно высокой субстратной специфичностью не нуждаются в процессе адаптации для эффективной биотрансформации компонентов питательной среды.

Ключевые слова: дрожжи, пивоварение, дробина, биоконверсия, биотехнологии, штамм, адаптация, субстратная специфичность, ферментативный гидролиз, культивирование, утилизация, дисперсионный анализ.

IMPACT OF YEASTS ADAPTATION ON EFFICIENCY OF SPENT GRAIN BIOCONVERSION

© The Author(s) 2022

OBUSHNIKOVA Elena Borisovna, master's student of Biotechnology and Technosphere Safety Department

KUZMINA Olga Borisovna, master's student of Biotechnology and Technosphere Safety Department

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-mails: obus.elena@yandex.ru, obus.olga@yandex.ru, kuzmin-puh@yandex.ru)

Abstract. Effect of yeast strains cultures ($n = 16$) adaptation on their biomass productivity in fermented brewer's spent grain (BSG) was studied. Biomass concentration (g/l) in wild and adapted cultures was used to evaluate an effectivity of major brewery waste – BSG components bioconversion. Comparison of wild and adapted samples was performed in attention to strain selection method, systematics (genus) and individual features. Significant differences in productivity between wild and adapted cultures in total sample were revealed. Strain selection methods, in contrast to the systematic affiliation and individual characteristics of metabolism, do not affect the adaptability of cells to BSG hydrolysates. Strains ($n = 3$) demonstrating high biomass productivity on the products of BSG hydrolysis, regardless of their adaptation to it, were considered to be natively highly specific to the substrate. Strains with low substrate specificity ($n = 13$), on the contrary, objectively increased the accumulation of cell mass after a period of adaptation to medium. The process of adaptation of strains with low specificity to the substrate increases the efficiency of bioconversion of its

components. Producers with natively high substrate specificity do not need adaptation for efficient biotransformation of medium components.

Keywords: yeasts, brewer's spent grain (BSG), bioconversion, biotechnology, strain, adaptation, substrate specificity, enzymatic hydrolysis, cultivation, recycling, analysis of variance.

Для цитирования: Обушникова Е.Б. Влияние адаптации дрожжей на эффективность биоконверсии пивной дробины / Е.Б. Обушникова, О.Б. Кузьмина, А.А. Кузьмин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 114-121. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0018.

Введение. Процесс биоконверсии отходов переработки сырья пищевых производств является одной из флагманских зеленых биотехнологий по двум причинам. С одной стороны, утилизация органических отходов микроорганизмами обеспечивает снижение техногенной нагрузки производства на окружающую среду. С другой стороны, использование уже отработанных, а, значит, экономически доступных источников питательного субстрата, богатого разнообразными нутриентами, повышает эффективность биотехнологий (в том числе, пищевых), целью которых является накопление клеточной биомассы.

Несмотря на высокое содержание питательных веществ в отходах пищевой промышленности, их биодоступность затруднена макромолекулярным состоянием и многокомпонентным составом отходов. Поэтому для увеличения скорости накопления клеточной биомассы продуцента и, одновременно, полноты биотрансформации отхода как субстрата для роста массы последнего подвергают гидролизу (ферментативному или кислотному).

Другим не менее важным условием обеспечения эффективности биодеструкции отходов пищевых производств является правильный подбор штамма продуцента, обладающего объективно максимальным средством к субстрату по сравнению со штаммами-конкурентами. Достижение высокого средства к субстрату обеспечивает как нативная специфичность продуцента к питательному субстрату, так и прижизненная адаптация. Выполнение этих условий позволит не только получить максимальный выход биотехнологического продукта (например, клеточной биомассы), но и максимально эффективно утилизировать органический субстрат.

Методология. Одним из ведущих направлений пищевой промышленности в пензенском регионе является пивоварение [1]. На территории области функционируют 5 крупных и более 15 средних и мелких пивоваренных предприятий. Главным органическим отходом пивоварения является дробина, остающаяся в виде влажной массы после варки и отстаивания сула [2]. Дробина составляет до 85% массы отходов при производстве пива [3]. Традиционно, изначально влажную массу высушивали для консервирования, в свежем и высушенном состояниях использовали как корм для сельскохозяйственных животных, дополняли ею комбикорма, перерабатывали в биогаз или подвергали захоронению на полигонах ТБО [4]. Основу дробины составляет зерновая шелуха ячменного солода в сочетании с остатками околосолода и семенной

оболочки. Несмотря на вариабельность химического состава дробины в зависимости от сорта ячменя и условий его выращивания, пивная дробина обычно богата клетчаткой, гемицеллюлозой, лигнином и белком [5]. Высокая питательная ценность пивной дробины стала основной причиной ее использования как субстрата для выращивания различных микроорганизмов – продуцентов биологически активных веществ [6]. Одним из потенциальных потребителей гидролизата пивной дробины в качестве питательного субстрата являются дрожжи [7]. Различные штаммы дрожжей демонстрируют различную продуктивность по биомассе при культивировании на гидролизатах пивной дробины, полученных различными способами (ферментативный и кислотный гидролиз) [8]. Автор работы отмечает связь между адаптированностью клеток к субстрату и приростом дрожжевой биомассы как показателя эффективности усвоения субстрата, однако, не приводит объективных доказательств этой связи.

Цель работы – оценить влияние адаптации дрожжей на эффективность биоконверсии пивной дробины.

Материалом работы послужили данные концентрации клеточной биомассы (г/л) дрожжевых штаммов ($n = 16$), принадлежащих к 7 родам, при выращивании образцов адаптированных и неадаптированных (диких) культур ($n = 10$) на гидролизатах пивной дробины, полученных методами ферментативного и кислотного гидролиза. Характеристика штаммов, их систематическая принадлежность, институты селекции, методы получения гидролизатов дробины, культивирования и адаптации клеточных культур, определения концентрации биомассы представлены в работе [8].

Для попарного сравнения средних значений выборок концентраций клеток в неадаптированных и адаптированных культурах применяли модифицированный Уэлчем t -критерий Стьюдента [9, 10]. В качестве группирующих факторов (т.е. причин предполагаемых различий) использовали: систематическую (родовую) принадлежность штаммов, их происхождение (институт селекции), индивидуальную принадлежность культуры к определенному штамму.

Средство продуцента к субстрату оценивали по накоплению биомассы дрожжей (г/л) в образцах культур, как прошедших, так и не прошедших адаптационный процесс к новой питательной среде. Неадаптированные образцы культур сравнивали для определения нативной специфичности штаммов к субстрату. Вероятность высокой специфичности рассчитывали как процент низко специфичных штаммов, в сравнении с которыми данный штамм в неадаптированном состо-

янии демонстрировал статистически значимое превышение показателя концентрации клеток.

Влияние адаптации на полноту усвоения субстрата для низко специфичных к нему штаммов оценивали по разности средних значений концентраций клеток в культурах, адаптированных и неадаптированных к гидролизату пивной дробины. Для оценки влияния того или фактора на способность клеток усваивать субстрат, а также при сравнении нескольких групп образцов одновременно применяли дисперсионный анализ (*ANOVA*) [11]. Поиск статистически значимых различий между группами проводили по величине среднего Тьюки [12-14].

Порог статистической значимости (p) во всех применяемых тестах принимали равным 0,05. Количе-

ство однотипных объектов указывается в скобках ($n = \dots$) после их упоминания в тексте.

Структурирование исходных данных проводили в табличном редакторе *Microsoft Excel* [15]. Статистические тесты, графическое представление данных выполняли с помощью языка программирования *R* в среде *RStudio* [16, 17].

Результаты. Средние значения выборок величин концентраций клеточной биомассы культур, неадаптированных (13,78 г/л, $n = 160$) и адаптированных (22,70 г/л, $n = 240$) к гидролизатам пивной дробины в независимости от способа их получения статистически значимо отличаются ($t = -12,635$; $df = 271,22$; $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$). Диаграмма разброса величин в выборках представлена на рисунке 1.

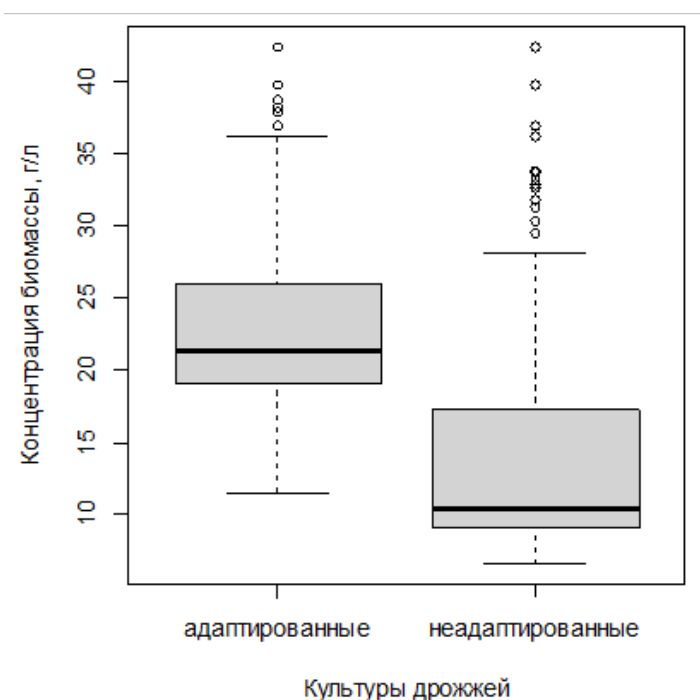


Рисунок 1 – Диаграмма разброса величин концентраций клеточной биомассы культур дрожжей, адаптированных и неадаптированных к гидролизату пивной дробины в независимости от способа его получения

Величины накопления биомассы в культурах неадаптированных к субстрату клеток получены при их выращивании на продукте ферментативного гидролиза пивной дробины. Поэтому для объективной оценки результатов культивирования все последующие тесты проводились для образцов, культивированных на субстрате, полученном ферментативно.

Средние значения выборок величин концентраций клеточной биомассы культур, неадаптированных (13,78 г/л, $n = 160$) и адаптированных (23,28 г/л, $n = 160$) к гидролизатам пивной дробины, полученным путем ферментативного гидролиза статистически значимо отличаются ($t = -12,603$; $df = 294,55$; $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$).

Для проверки предположения о влиянии методики получения штаммов на их способность приспосабливаться к новой питательной среде адаптированные и неадаптированные образцы культур разделены на группы в зависимости от места их селекции.

Средние значения выборок величин биомассы культур, неадаптированных (15,44 г/л, $n = 110$) и адаптированных (23,81 г/л, $n = 110$) к ферментированному субстрату, селекции Горского государственного аграрного университета (г. Владикавказ) статистически значимо отличаются ($t = -8,358$; $df = 192,85$; $p < 1,2 \cdot 10^{-14}$). Аналогичные результаты получены при сравнении адаптированных (23,52 г/л, $n = 40$) и неадаптированных (9,83 г/л, $n = 40$) культур штаммов селекции Института микробиологии АН Казахстана ($t = -18,028$; $df = 44,074$; $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$), а также адаптированных (16,468 г/л, $n = 10$) и неадаптированных (11,312 г/л, $n = 10$) культур штамма *Sacharomyces cerevisiae* (K-7), применяемого в технологии спиртзаводов ($t = -8,2379$; $df = 10,18$; $p < 8,126 \cdot 10^{-6}$). Результаты тестов указывают на отсутствие влияния методов селекционной работы на способность штаммов усваивать ферментный гидролизат пивной дробины как

питательный субстрат.

Систематическая принадлежность штамма, обусловленная его филогенетическими связями, может быть причиной особенностей его метаболизма, в частности, способности адаптироваться к потреблению неспецифичного питательного субстрата [18, 19].

Для проверки применимости данного предположения к исследуемым штаммам, выделены родовые группы культивируемых образцов. Результаты сравнений неадаптированных и адаптированных к ферментированной дробине культур штаммов дрожжей в родовых группах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты теста сравнений неадаптированных и адаптированных к ферментированной дробине культур штаммов дрожжей в родовых группах

№	Род	n	Среднее значение концентрации клеток (г/л) в		t	p
			неадаптированных культурах	адаптированных культурах		
1	<i>Metschnikowia</i>	50	14,3855	22,6790	-5,2878	$1,181 \cdot 10^{-6}$
2	<i>Cryptococcus</i>	10	19,659	22,826	-7,6881	$6,096 \cdot 10^{-7}$
3	<i>Hanseniaspora</i>	10	19,980	21,356	-1,7897	0,09408
4	<i>Sacharomyces</i>	40	14,6548	23,8086	-5,0604	$2,25 \cdot 10^{-6}$
5	<i>Rhodotorula</i>	10	10,660	24,499	-17,327	$2,202 \cdot 10^{-11}$
6	<i>Trichosporon</i>	10	9,156	31,268	-46,269	$4,596 \cdot 10^{-15}$
7	<i>Candida</i>	30	10,05067	20,93067	-38,003	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Следует отметить, что штаммы рода *Hanseniaspora* на первый взгляд демонстрируют низкие адаптивные возможности к усвоению гидролизата пивной дробины, полученного ферментативным путем. Однако, отсутствие достоверного различия между средними значениями концентраций клеточной биомассы в культурах до и после адаптации к субстрату может, наоборот, указывать на изначальную приспособленность штаммов этого рода к потреблению гидролизата пивной дробины, что потенциально делает их предпочтительными

продуцентами ее биоконверсии.

Способность адаптировать метаболизм к определенному питательному субстрату может быть ограничена индивидуальными особенностями штамма микроорганизмов [20].

Результаты сравнений средних значений накопления клеточной массы в неадаптированных и адаптированных к гидролизату пивной дробины образцах культур ($n = 10$), сгруппированных по принадлежности к определенному штамму, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты t-теста различий в концентрации клеток (С, г/л) между образцами адаптированных (а) и неадаптированных (w) культур дрожжей различных штаммов

Штамм	Вид дрожжей	C_w	C_a	t	p
ВКПМ Y-3146	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	13,700	16,379	-2,1434	0,05136
ВКПМ Y-3147	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	25,770	28,214	-1,1813	0,2562
ВКПМ Y-3148	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	8,572	17,194	-28,428	$2,818 \cdot 10^{-11}$
ВКПМ Y-3149	<i>Cryptococcus flavescens</i>	19,659	22,826	-7,6881	$6,096 \cdot 10^{-7}$
ВКПМ Y-3150	<i>Hanseniaspora uvarum</i>	19,980	21,356	-1,7897	0,09408
ВКПМ Y-3151	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	9,500	28,929	-32,963	$2,562 \cdot 10^{-14}$
ВКПМ Y-3152	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	9,516	20,131	-26,961	$4,859 \cdot 10^{-14}$
ВКПМ Y-3414	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	9,779	19,673	-22,568	$1,318 \cdot 10^{-11}$
ВКПМ Y-3415	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	7,937	25,941	-47,978	$3,081 \cdot 10^{-15}$
ВКПМ Y-3416	<i>Sacharomyces unisporis</i>	34,73	36,83	-1,2444	0,2301
ВКПМ Y-3469	<i>Rhodotorula glutinis</i>	10,660	24,499	-17,327	$2,202 \cdot 10^{-11}$
ВКПМ Y-437	<i>Trichosporon cutaneum</i>	9,156	31,268	-46,269	$4,596 \cdot 10^{-15}$
ВКПМ Y-438	<i>Candida guilliermondii</i>	10,434	21,079	-22,866	$7,332 \cdot 10^{-14}$
ВКПМ Y-439	<i>Candida parapsilosis</i>	9,854	21,438	-22,276	$2,773 \cdot 10^{-12}$
ВКПМ Y-440	<i>Candida tropicalis</i>	9,864	20,275	-23,172	$8,365 \cdot 10^{-14}$
K-7	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	11,312	16,46	-8,2379	$8,126 \cdot 10^{-6}$

Результаты t-теста показывают, что 4 из 16 (25%) исследуемых дрожжевых штаммов в при общем рассмотрении обладают низким адаптивным потенциалом по отношению к гидролизату пивной дробины, полученному путем ферментной деградации. Однако, отсутствие отличий в показателе накопления клеточной биомассы в неадаптированных и прошедших адаптацию к субстрату образцах культур может быть проявлением нативно высокого сродства штамма к гидролизату пивной дробины.

Если предположить, что выявленные 4 штамма дрожжей исходно высоко специфичны к гидролизату пивной дробины, то средние значения концентраций

биомассы в образцах их культур должны достоверно превышать таковые для культур низко специфичных штаммов, демонстрирующих значимый прирост биомассы после процесса субстратной адаптации (табл. 2). Результаты дисперсионного анализа предположительно высоко и низко специфичных штаммов указывают на статистически значимое влияние принадлежности образцов к тому или иному штамму на итог накопления клеточной биомассы ($F = 103,1; p < 2,0 \cdot 10^{-16}$). Применение критерия Тьюки позволило выявить достоверные отличия штаммов в этом показателе попарно. Концентрация клеток в образцах диких культур штамма ВКПМ Y-3146 достоверно превы-

шает этот показатель низко специфичных штаммов ($n = 11$) за исключением штаммов *K-7* и ВКПМ *Y-3469* (вероятность высокой специфичности – 83,3%). Накопление биомассы в диких образцах штаммов ВКПМ *Y-3147* и ВКПМ *Y-3416* достоверно больше такового всех ($n = 12$) низко специфичных к субстрату штаммов (вероятность высокой специфичности – 100%). Концентрация клеток в образцах диких культур штамма ВКПМ *Y-3150* достоверно превышает этот показатель всех низко специфичных штаммов за исключением штамма ВКПМ *Y-3149* (вероятность высокой

специфичности – 91,7%). Результаты анализа позволяют рассматривать штаммы ВКПМ *Y-3147*, ВКПМ *Y-3150* и ВКПМ *Y-3416* как нативно высоко специфичные, т.е. обладающие высоким средством к ферментному гидролизату пивной дробины как питательному субстрату.

Диаграмма разброса значений концентраций биомассы в образцах неадаптированных культур исследуемых штаммов дрожжей при выращивании на гидролизате пивной дробины, полученном путем ферментативного гидролиза, представлена на рисунке 2.

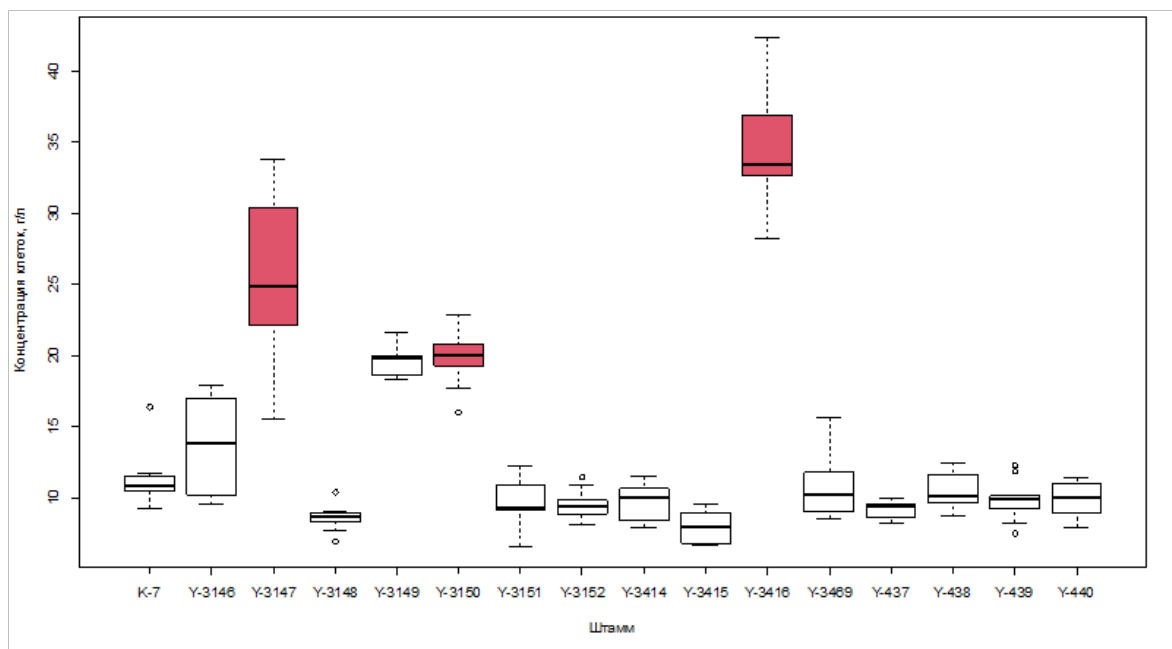


Рисунок 2 – Диаграмма разброса концентраций клеток в образцах неадаптированных культур при выращивании на гидролизате пивной дробины, полученном путем ферментативного гидролиза (цветом выделены боксы штаммов с высокой нативной специфичностью к ферментированной пивной дробине)

Если образцы культур штамма, прошедшие адаптационный процесс к гидролизату пивной дробины, показывают статистически значимую положительную разницу в накоплении клеточной биомассы по сравнению с неадаптированными образцами (табл. 2), то такой штамм обладает исходно низкой специфичностью к исследуемому субстрату, а влияние процесса адаптации на полноту усвоения субстрата следует считать объективно достоверным. Подтверждением этому служат результаты дисперсионного анализа различий в накоплении клеточной массы в образцах культур низко специфичных к гидролизату дробины штаммов, адаптированных и неадаптированных к питательному субстрату. Особенности селекции штаммов статистически значимо влияют на различия между группами ($F = 10,01$; $p = 9,15 \cdot 10^{-5}$). При этом приросты биомассы в группах достоверно отличаются друг от друга. Наибольший прирост наблюдается в группе штаммов селекции Института микробиологии АН Казахстана. (13,688 г/л; $n = 40$, рис. 3А). Фактор систематической принадлежности продуцента к определенному роду дрожжей также объективно влияет на прирост массы клеток после адаптации низко специфичных штаммов

к субстрату ($F = 18,07$; $p < 1,95 \cdot 10^{-13}$). Максимальный прирост демонстрируют культуры рода *Trichosporon* (22,112 г/л; $n = 10$), минимальный – культуры рода *Cryptococcus* (3,167 г/л; $n = 10$).

Образцы других родов по среднему накоплению биомассы достоверно отличаются от вышеупомянутых, но не между собой (рис. 3Б).

Таким образом, процесс адаптации низко специфичных штаммов дрожжей к гидролизатам пивной дробины как субстратам роста достоверно повышает накопление клеточной биомассы в адаптированных образцах по сравнению с неадаптированными, а, следовательно, увеличивает эффективность биоконверсии отхода пивоваренной промышленности.

Для выявления продуцента с максимальной адаптируемостью к усвоению ферментного гидролизата пивной дробины образцы культур низко специфичных к субстрату штаммов выделены в отдельные группы. Результаты дисперсионного анализа средних значений разностей концентраций клеток в образцах культур низко специфичных к субстрату штаммов, прошедших процесс адаптации и неадаптированных к продуктам гидролиза пивной дробины указывают

на статистически значимое влияние принадлежности образцов к тому или иному штамму на эффективность накопления биомассы, а, следовательно, биодеструкции потребляемого субстрата ($F = 112,8$; $p < 2 \cdot 10^{-16}$). Максимальная разность в концентрации клеток между адаптированными и неадаптированными образцами культур низко специфичных к субстрату дрожжей отмечается для штаммов ВКПМ Y-437 (22,112 г/л;

$n = 10$), а также ВКПМ Y-3151 (19,429 г/л; $n = 10$) и ВКПМ Y-3415 (18,004 г/л; $n = 10$). Средние значения в группах этих продуцентов достоверно отличаются от таковых у остальных низко специфичных штаммов дрожжей общей выборки.

Диаграмма разброса значений в выборках низко специфичных к субстрату штаммов представлена на рисунке 4.

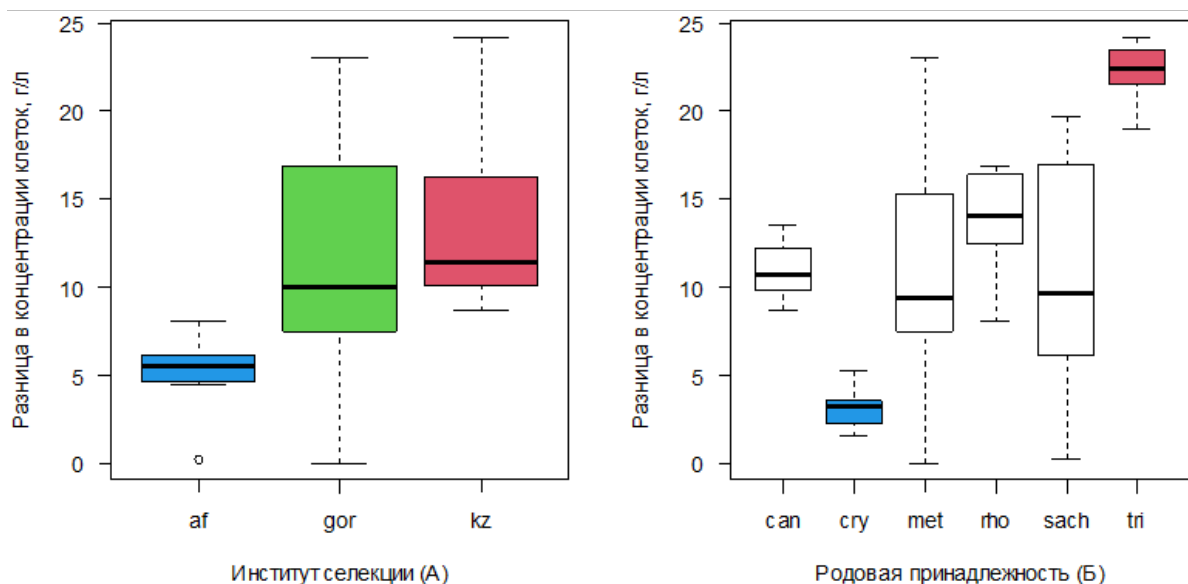


Рисунок 3 – Диаграммы разброса различий в накоплении клеточной массы в образцах культур низко специфичных к гидролизату пивной дробины штаммов дрожжей, прошедших и не прошедших адаптацию к питательному субстрату. А – образцы разделены на группы по особенностям селекции (af – штаммы, широко используемые при промышленном производстве спирта, gor – штаммы селекции Горского государственного аграрного университета (г. Владикавказ), kz – штаммы селекции Института микробиологии АН Казахстана). Б – Группы сформированы на основе родовой систематической принадлежности штаммов (can – *Candida*, cry – *Cryptococcus*, met – *Metschnikowia*, rho – *Rhodotorula*, sach – *Sacharomyces*, tri – *Trichosporon*)

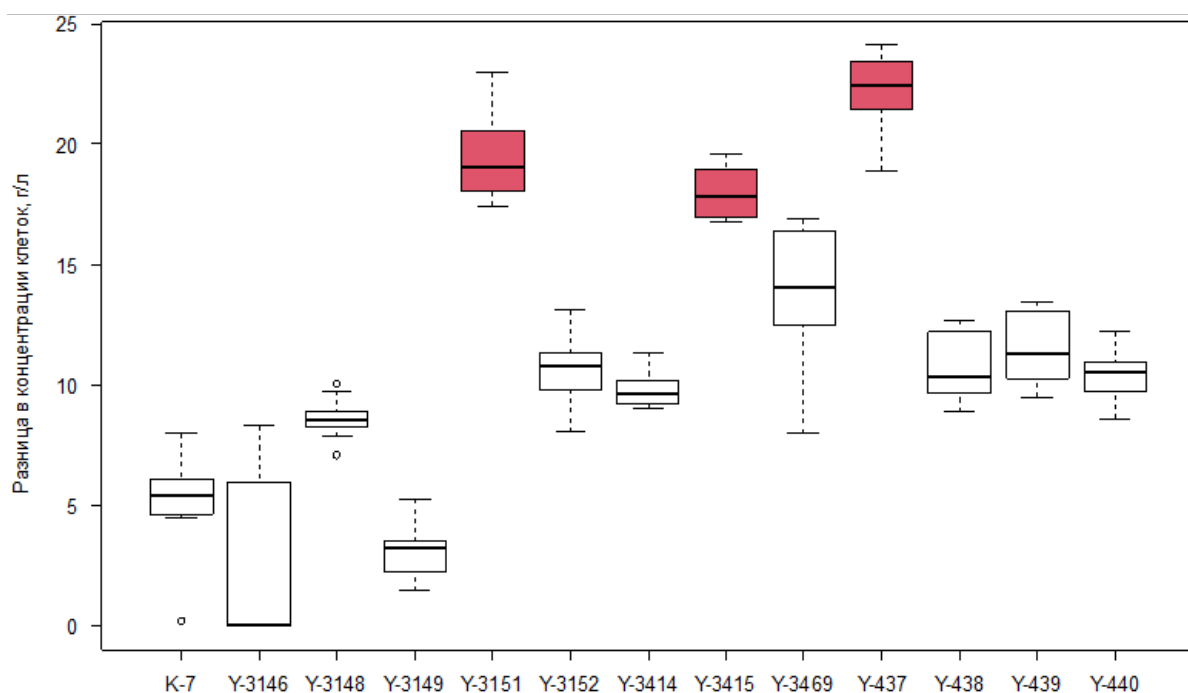


Рисунок 4 – Диаграмма разброса значений разности концентраций клеточной массы в образцах культур, не прошедших адаптацию и адаптированных к ферментным гидролизатам пивной дробины, низко специфичных к субстрату дрожжевых штаммов (цветом выделены выборки, максимально и достоверно превышающие остальные)

Таким образом, указанные выше низко специфичные штаммы отличаются максимальной адаптируемостью к питательному субстрату. Следовательно, выбор этих дрожжей в качестве продуцентов в процессах биодеструкции пивной дробины представляется оптимальным.

Однако, этот выбор будет оправдан только в том случае, если продуктивность неадаптированных высоко специфичных к субстрату штаммов будет достоверно ниже таковой низко специфичных, но эффективно адаптируемых к гидролизату пивной дробины штаммов. В противном случае необходимость в адаптации

продуцента к питательному субстрату отсутствует.

Для проверки предположения проведено сравнение средних значений концентраций клеток в образцах неадаптированных к гидролизату пивной дробины культур высоко специфичных к нему штаммов (26,82667; $n = 30$) и образцах культур с низкой нативной специфичностью к субстрату, но прошедших адаптацию к его потреблению, результатом которой стало максимальное среди аналогичных штаммов накопление биомассы в процессе биотрансформации субстрата (28,71267; $n = 30$). Диаграмма разброса значений в выборках представлена на рисунке 5.

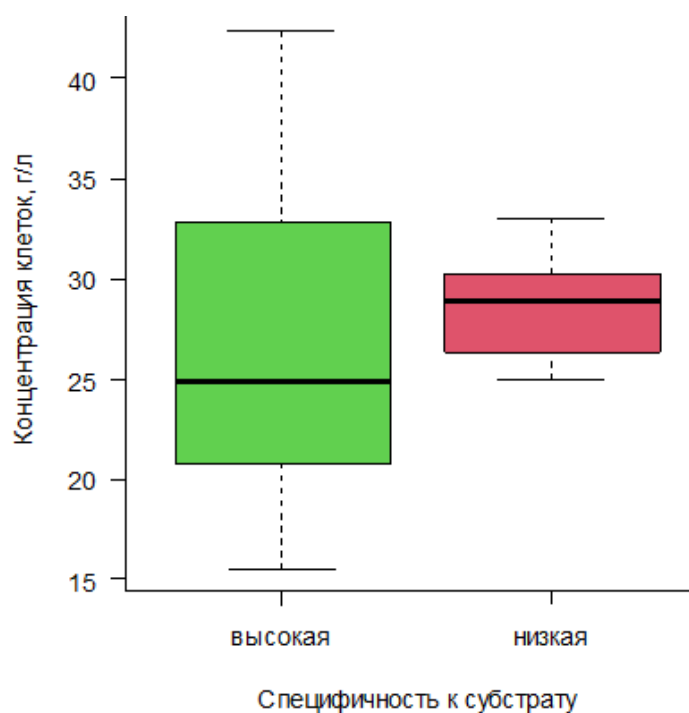


Рисунок 5 – Диаграмма разброса концентраций клеток в выборках культур штаммов с высокой специфичностью к гидролизату пивной дробины, но неадаптированных к ней, и культур штаммов с низкой специфичностью к субстрату, но адаптированных к нему и демонстрирующих максимальное накопление биомассы при его биоконверсии

Результаты анализа указывают на отсутствие статистически значимых различий между выборками ($t = 1,329$; $df = 35,105$; $p = 0,1924$). Таким образом, адаптированность культур дрожжей положительно влияет на эффективность биоконверсии гидролизата пивной дробины при условии, что данный штамм исходно слабо приспособлен к потреблению данного субстрата. Штаммы, исходно обладающие высокой специфичностью к продуктам ферментативного гидролиза пивной дробины, не требуют предварительной адаптации для высоко эффективной ее биодеструкции.

Обсуждение. Эффективная утилизация отходов пищевой промышленности является актуальной проблемой. Использование в этих целях процессов биоконверсии с применением продуцентов биологически активных веществ позволяет не только снизить техногенную нагрузку производства на окружающую среду, но и получить готовый к употреблению продукт с высокой питательной ценностью. Ярким примером биоконверсии является переработка пивной дробины

культурами дрожжей.

Согласно логике массообменных процессов, в живых системах степень превращения субстрата прямо пропорциональна накоплению биомассы продуцента [21], поэтому оценка эффективности биодеструкции по определению концентрации дрожжевых клеток в культуре, растущей на гидролизате пивной дробины представляется объективной.

В экобиотехнологической практике повышению эффективности утилизации компонентов питательной среды способствуют: предварительная обработка питательного субстрата с целью гидролиза его компонентов с одной стороны и адаптация продуцента к потреблению нового субстрата [22, 23]. Выявленное статистически значимое различие в показателе накопления биомассы в образцах культур, различных по сформированной приспособленности к гидролизатам пивной дробины, подтверждает целесообразность процесса адаптации. Отсутствие данных по выращиванию дрожжей на свежей пивной дробине, не под-

вергавшейся гидролизу, не позволяет достоверно оценить влияние предварительной обработки субстрата на качество его биоконверсии продуцентом.

Среди исследуемых штаммов дрожжей, некоторые демонстрировали низкую адаптируемость к питательной среде. Однако, достоверно высокие показатели накопления клеточной массы в образцах их «диких» культур указывают на исходно высокую специфичность этих штаммов к гидролизатам пивной дробины. Такие штаммы продуцентов эффективны в утилизации компонентов среды в независимости от степени их адаптированности к ней. Адаптация продуцента к субстрату эффективна только в случае низкой нативной специфичности клеток к компонентам питательной среды. Таким образом, подбор штамма для биоконверсии следует начинать с выяснения его природного родства к питательным веществам среды культивирования.

Выводы. Адаптация продуцента к питательной среде объективно повышает накопление биомассы в культурах клеток. Способность штаммов усваивать ферментный гидролизат пивной дробины не зависит от методов селекции продуцента. Систематическая принадлежность продуцента определяет его метаболические особенности, в том числе способность адаптироваться к неизвестному субстрату. Низкий эффект адаптации клеток на их продуктивность может быть связан с изначально высокой специфичностью продуцента к данному питательному субстрату. Наоборот, адаптация клеток эффективна только в случае низкой нативной специфичности продуцента к питательному субстрату. Процесс адаптации низко специфичных к субстрату штаммов повышает эффективность биоконверсии компонентов питательной среды. Продуценты с высокой нативной субстратной специфичностью не нуждаются в процессе адаптации для эффективной биотрансформации компонентов питательной среды.

Развитие исследования перспективно в направлении изучения влияния способа получения гидролизата пивной дробины на эффективность ее биодеструкции, а также выяснения причин высокой нативной специфичности продуцента к питательному субстрату.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пензенская область в цифрах. Статистический справочник. Официальное издание. 2020 г. Пенза. – Изд-во: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области (Пензстат). 87 с.
2. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: пер. с нем. – СПб., Изд-во «Профессия», 2007. – 912 с., ил.
3. Mussatto S.I. 2014. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications: Brewer's spent grain and its potential applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94 (7): 1264–1275. doi:10.1002/jsfa.6486. hdl:1822/31486. PMID 24254316.
4. Aliyu S., Bala. 2010. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*. 10: 324–331 – via Academic Journals.
5. Santos M., Jiménez J.J., Bartolomé B., Gómez-Cordovés C., del Nozal M.J. 2003. Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*. 80 (1): 17–21.
6. Касагкина А.Н., Лещина Е.К., Градова Н.Б. 2008. Способы повышения биологической ценности дробины. *Комбикорма*. № 5. С. 51–52.
7. Градова Н.Б. Особенности микроорганизмов, используемых в технологических процессах получения белка и биологически активных веществ / Н.Б. Градова, О.А. Решетник. Казань: КХТИ, 1987. – 80 с.
8. Плиева З.А. Биоконверсия пивной дробины с использованием разных видов дрожжей: автореф. дисс. ... кандидата биологических наук: Владикавказ, 2015. – 26 с.
9. "Student" William Sealy Gosset. 1908. The probable error of a mean. *Biometrika*. 6 (1): 1–25. doi:10.1093/biomet/6.1.1. hdl:10338.dmlcz/143545. JSTOR 2331554
10. Welch, B. L. 1947. The generalization of "Student's" problem when several different population variances are involved. *Biometrika*. 34 (1–2): 28–35. doi:10.1093/biomet/34.1-2.28. MR 0019277. PMID 20287819.
11. Chambers, J.M., Freeny, A and Heiberger, R.M. (1992) Analysis of variance; designed experiments. Chapter 5 of *Statistical Models in S* eds J.M. Chambers and T.J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
12. Hoaglin, D.C., Mosteller, F., Tukey, J.W. *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*. John Wiley & Sons, New York (2000).
13. Miller, R.G. (1981) *Simultaneous Statistical Inference*. Springer.
14. Yandell, B.S. (1997) *Practical Data Analysis for Designed Experiments*. Chapman & Hall
15. Microsoft Corporation, 2018. Microsoft Excel, Available at: <https://office.microsoft.com/excel>.
16. R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
17. RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
18. Long M. R., Ong W. K., Reed J. L. (2015). Computational methods in metabolic engineering for strain design, *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 34, Pages 135-141, ISSN 0958-1669, doi:10.1016/j.copbio.2014.12.019.
19. Gawand, Pratih & Hyland, Patrick & Ekins, Andrew & Martin, Vincent & Mahadevan, Radhakrishnan. (2013). Novel Approach to Engineer Strains for Simultaneous Sugar Utilization. *Metabolic engineering*. 20. 10.1016/j.ymben.2013.08.003.
20. Roullier-Gall C, David V, Hemmler D, Schmitt-Kopplin P, Alexandre H. Exploring yeast interactions through metabolic profiling. *Sci Rep*. 2020 Apr 8;10(1):6073. doi: 10.1038/s41598-020-63182-6. PMID: 32269331; PMCID: PMC7142100.
21. CH Posten, CL Cooney (1993) Growth of Microorganisms in Biotechnology Second, Completely Revised Edition, 111. Vol. 1, H Sahm (ed.), VCH Verlagsgesellschaft, ISBN 3-527-28337-4
22. P Nisipeanu (1999) Laws, Statutory Orders and Directives on Waste and Wastewater Treatment in Biotechnology 2nd Edition, 141. Vol. 11a, J Winter (ed.), Wiley-VCH, ISBN 3-527-28321-8
23. T Raphael (1996) *Umweltbiotechnologie*, Springer-Verlag, ISBN 3-540-61423-0

Статья поступила в редакцию 25.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 579.66

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0019

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ НА
РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОБНОЙ КУЛЬТУРЫ *STREPTOMYCES ANTIBIOTICUS***

© Авторы 2022

SPIN: 8511-8302

AuthorID: 619001

ORCID: 0000-0001-6749-1287

ScopusID: 55510800500

МАРЫНОВА Марина Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры Биотехнологии и техносферная безопасность

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: marynova-m.a@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-1982-8997

МАРКИНА Милианна Олеговна, аспирант

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: markinamilianna@yandex.ru)

Аннотация. Целью любого биотехнологического процесса является достижение максимальной продуктивности культуры продуцента. При этом необходимо исключить чрезмерное нарастание биомассы, так как это ухудшает процессы массо- и газообмена в ферментаторе, осложняет проведение стадий выделения целевого продукта, особенно на стадии фильтрации. Как известно, для большинства продуцентов БАВ характерна двухфазность развития: фаза роста сменяется фазой накопления целевого продукта. Для обеспечения баланса между этими фазами используются различные технологические приёмы: снижение температуры биосинтеза, ступенчатое изменение активной кислотности среды, изменение состава питательной среды и др. Для каждого технологического процесса подбирается свой механизм регулирования, который определяется физиологией конкретного продуцента. В работе показано влияние содержания общего фосфора в питательных средах различного целевого назначения на развитие и антибиотикообразование микробной культуры *Streptomyces antibioticus*.

Ключевые слова: биологически активное вещество, питательные среды, биосинтез, фаза развития, пассирование, культура-продуцент, *Streptomyces antibioticus*, общий фосфор.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS CONTENT IN NUTRITIONAL MEDIA FOR THE
DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF MICROBIAL CULTURE *STREPTOMYCES ANTIBIOTICUS***

© The Author(s) 2022

MARYNOVA Marina Alexandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Biotechnology and technosphere safety

MARKINA Milianna Olegovna, post-graduate student

Penza state technological university

(Russia, 440039, Penza, Pr. Baidukova/Gagarina Street, 1a / 11,

e-mails: marynova-m.a@mail.ru, markinamilianna@yandex.ru)

Abstract. The goal of any biotechnological process is to achieve maximum productivity of the producer culture. At the same time, it is necessary to exclude an excessive increase in biomass, since this worsens the processes of mass and gas exchange in the fermenter, complicates the stages of isolation of the target product, especially at the filtration stage. As is known, the majority of BAS producers are characterized by a two-phase development: the growth phase is re-placed by the accumulation phase of the target product. To ensure the balance between these phases, various technological methods are used: lowering the biosynthesis temperature, stepwise change in the active acidity of the medium, changing the composition of the nutrient medium, etc. For each technological process, its own control mechanism is selected, which is determined by the physiology of a particular producer. The work shows the effect of the total phosphorus content in nutrient media of various purposes on the development and antibiotic formation of the microbial culture *Streptomyces antibioticus*.

Keywords: biologically active substance, nutrient media, biosynthesis, developmental phase, passaging, producing culture, *Streptomyces antibioticus*, total phosphorus.

Для цитирования: Марынова М.А. Изучение характера влияния содержания фосфора в питательных средах на развитие и продуктивность микробной культуры *Streptomyces Antibioticus* / М.А. Марынова, М.О. Маркина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 122-127. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0019.

Введение. При осуществлении биотехнологического процесса с использованием культур микроорганизмов на характер накопления клеточной биомассы и целевого биологически активного вещества (БАВ) влияют различные технологические параметры: температура процесса, активная кислотность и количество растворённого кислорода в среде выращивания, интенсивность перемешивания, внесение добавок и др. [1]. В этом списке состав питательных сред имеет исключительное значение [2]. Набор и соотношение компонентов питательных сред необходимо сбалансировать таким образом, чтобы обеспечить, с одной стороны, физиологические потребности биологического объекта, с другой – максимальную продуктивность биосинтеза по целевому БАВ [3]. Эти процессы могут быть разнонаправлены.

На качество питательных сред влияет не только наличие основных источников питания, но и содержание микро- и макроэлементов, которые выполняют важнейшие физиологические функции клетки: регулируют проницаемость клеточной мембраны, участвуют в энергетических процессах, выполняют роль активаторов ряда ферментов и др. [4].

Среди биогенных элементов существенное значение для функционирования микробной клетки имеет фосфор, который входит в состав различных биомолекул: нуклеиновых кислот, фосфолипидов, нуклеопротеидов, полифосфатов, и некоторых других. Количество фосфора в питательной среде существенно влияет как на первичный, так и на вторичный метаболизм клетки микроорганизма, поскольку для осуществления многочисленных биохимических реакций требуется энергия макроэргических фосфоросодержащих соединений, прежде всего АТФ [5, 6].

Кроме того, фосфор является тем элементом, который позволяет посредством изменения его концентрации в среде регулировать активность ферментных систем углеводного обмена, в частности переключать метаболизм углеводов с гликолитического на гексозомонофосфатный путь [7, 8].

В процессе биосинтеза БАВ часто применяются комплексные питательные среды. Преимуществом комплексных сред является то, что на них хорошо развиваются микроорганизмы большинства видов, так как в их составе имеются все компоненты,

необходимые для роста и развития культуры продуцента. Основным источником фосфора в них служит кукурузный экстракт. Но содержание фосфора в таких средах не всегда является оптимальным. Поэтому для создания требуемой концентрации фосфора в питательные среды наряду с различными естественными субстратами может вноситься добавка минеральной фосфоросодержащей соли.

Развитие микробной культуры на жидкой питательной среде имеет общие закономерности [9]. В течение трофофазы активно потребляются источники питательных веществ, что ведет к накоплению биомассы продуцента, БАВ не обнаруживается или обнаруживается в незначительных количествах. В идиофазу прирост биомассы замедляется и наступает процесс активного накопления целевого продукта [10,11].

В биотехнологических процессах культура-продуцент проходит цепь последовательных этапов – от моноклональной культуры до засева и развития в крупнотоннажном промышленном оборудовании. Важно учитывать, что потребность в фосфоре в зависимости от фазы развития культуры может быть различной. Поэтому задачей изучения явилась оценка влияния концентрации фосфора в питательных средах разного целевого назначения на развитие и продуктивность микробной культуры.

Методология. В качестве объекта изучения использовалась культура *Streptomyces antibioticus* ОЛ-71, являющаяся продуцентом антибиотика олеандомицина. Пассирование микробной культуры предназначалось для поддержания штамма в рабочем состоянии и для проверки её потенциальной продуктивности [12].

В качестве источника фосфора в питательных средах использовался кукурузный экстракт с содержанием сухих веществ (48,0-50,0)% и минерального растворимого фосфора около 0,6% [13]. Обогащение среды фосфором проводилось внесением расчётного количества минеральной добавки в виде калия фосфорнокислого однозамещённого (квалификация х.ч.).

Пассирование культуры, оценка её развития и продуктивности проводились в лабораторных и опытно-промышленных условиях в аппаратах вместимостью 0,10 м³, 1,0 м³, 2,0 м³ на средах, виды которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды питательных сред, применяемых в ходе исследования

Наименование питательной среды	Назначение питательной среды	Содержание общего фосфора в питательной среде, мкг/мл	
		контрольная	обогащённая
1. Агаризованная	1.1 Рассев на единичные колонии на чашках Петри 1.2 Получение моноклональной культуры на скошенном агаре	30	80,0 – 100,0
2. Лабораторная:			
- посевная	2.1 Выращивание вегетативного посевного материала в колбах	100,0 – 120,0	200,0 – 220,0
- ферментационная	2.2 Оценка продуктивности моноклональной культуры	100,0 – 120,0	по вариантам*
3. Опытно-промышленная:			
- для инокулятора	3.1 Выращивание посевного материала на 1 ступени	120,0 – 160,0	200 – 220
- для посевного аппарата	3.2 Выращивание посевного материала на 2 ступени	120,0 – 160,0	200 – 220
- для ферментатора	3.3 Биосинтез БАВ	100,0 – 140,0	190 – 220

*) – см. таблицу 5

На каждом из этапов выращивания проводилась сравнительная оценка развития продуцента по изменению морфологических характеристик культуры и/или по накоплению антибиотика в культуральной жидкости. В качестве контроля использовали питательную среду регламентного состава (контрольная). Состав и количество других компонентов в питательных средах не изменялись.

Единичные колонии получали методом Пастера. Для этого готовили серию последовательных десятикратных разведений суспензии моноклональной культуры (МКК) в стерильной дистиллированной воде с последующим высевом 0,2 мл микробной взвеси и распределением по поверхности плотной питательной среды в чашках Петри. Засеянные чашки помещали в термостат для проращивания в течение 8 суток при $t = (28 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Затем единичные колонии засеивали в биологические пробирки со скошенной агаризованной средой того же состава и выращивали при указанных выше параметрах, получая моноклональную культуру (МКК).

Морфологию культуры продуцента оценивали визуально и микроскопическим методом с использованием светового микроскопа Микмед-5. Для микроскопирования готовили фиксированный и окрашенный метиленовой синью препарат. Изучение препарата проводили с использованием иммерсионного объектива [14].

Выращивание культуры в жидких лабораторных средах проводилось на ротационной качалке со скоростью вращения 220-240 мин⁻¹ при температуре $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$. Время выращивания посевного материала – 48 ч, в лабораторной ферментационной среде 6 суток.

Объёмную долю влажной биомассы определяли центрифугированием в пробирках при 1000 об/мин.

Активность культуральной жидкости определяли методом диффузии в агар [15].

Концентрацию общего фосфора определяли фотометрическим методом [16]. Данные получали в двух циклах пассирования культуры.

Результаты. На первом этапе было изучено влияние содержания фосфора на морфологию еди-

ничных колоний культуры-продуцента *Str. antibioticus*, полученных путём посева на агаризованной среде, предназначенной для отбора продуктивных вариантов.

Оценку морфологии выросших колоний и МКК проводили визуальным сравнением с контрольным вариантом, характеристики которого представлены в паспорте продуцента.

Результаты оценки представлены в таблице 2.

Поскольку МКК используется в производстве для получения рабочей партии посевного материала, далее проводили оценку влияния состава агаризованной среды на антибиотикообразование.

С этой целью по 10 вариантов полученной МКК, засеивали в лабораторных условиях на посевную среду, а затем выросший на ней посевной материал – в ферментационную среду контрольного состава.

Результаты оценки потенциальной продуктивности МКК представлены в таблице 3.

На втором этапе оценивалось влияние концентрации фосфора на качество лабораторного посевного материала.

Колбы со стерильной посевной средой засеивались контрольной МКК.

Оценки морфологии и продуктивности вегетативного посевного материала представлены в таблице 4.

Далее эксперименты продолжили с лабораторной ферментационной средой, засеянной вегетативным посевным материалом, выращенным на обогащённой питательной среде. Результаты применения обогащённой ферментационной лабораторной среды представлены в таблице 5.

Далее в полупромышленных условиях проводились операции биосинтеза олеандомицина в ферментаторе $V = 2 \text{ м}^3$.

В составе питательной среды для выращивания посевного материала в колбах, инокуляторе и в посевном аппарате применялся обогащённый по минеральному фосфору кукурузный экстракт.

Профили накопления антибиотика и потребления минерального фосфора представлены на рисунке 1.

Сравнительные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 2 – Зависимость морфологии единичных колоний и МКК от применяемого кукурузного экстракта

Образец питательной среды	Внешний вид единичных колоний	Внешний вид МКК на скошенном агаре	Соответствие паспортным характеристикам
Контрольный	Колонии диаметром 6,0-12,0 мм, складчатые. Воздушный мицелий светло-серого цвета. Субстратный мицелий темный, почти черный, выделяет в среду темно-бурый пигмент.	Сплошной слой воздушного мицелия, хорошо развит, светло-серого цвета. Субстратный мицелий темный, почти черный, выделяет в среду темно-бурый пигмент.	да
Обогащённый	Колонии диаметром 2-3 мм, складчатые, но есть и выпуклые не складчатые. Воздушный мицелий светло-серого цвета, но есть и колонии без воздушного мицелия. Субстратный мицелий темный, выделяет в среду слабый пигмент.	Рост виде отдельных колоний. Воздушный мицелий хорошо развит, светло-серого цвета. Субстратный мицелий темный, выделяет в среду темно-бурый пигмент.	нет

Таблица 3 – Влияние концентрации фосфора в агаризованной питательной среде на продуктивность МКК

№ МКК	Состав среды	Активность, ЕД/мл		Активность, ЕД/мл		
		опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2	средняя
1	Контрольный	3440	3180	3200	3169	3185
2		3040	3069			
3		3240	2990			
4		3140	3230			
5		3140	3250			
6		3250	3170			
7		3140	3170			
8		3110	3310			
9		3140	3080			
10		3360	3240			
11	Обогащённый	2700	2980	2747	2898	2823
12		2960	2740			
13		2960	3000			
14		2180	2880			
15		2540	3050			
16		2460	2860			
17		3010	2900			
18		2530	2890			
19		3100	2810			
20		3030	2870			

Таблица 4 – Влияние концентрации фосфора на качество вегетативного посевного материала, выращенного на лабораторной посевной среде

Состав среды	Описание посевного материала	Объёмная доля биомассы в посевном материале		Активность, ЕД/мл	
		опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2
Контрольный	Хлопьевидная масса серо-бежевого цвета. При микроскопировании – колонии II стадии развития, гифы базофильные, однородные. Биомасса осела на 1/3 от объёма пробы	10	10	3160	3260
Обогащённый	Равномерная хлопьевидная масса серо-бежевого цвета. При микроскопировании – густая сетка из колоний II стадии развития, гифы базофильные, однородные. Биомасса распределена равномерно по всему объёму пробы	15	17	3200	3200

Таблица 5 – Влияние концентрации фосфора в лабораторной ферментационной среде на продуктивность микробной культуры

№ варианта	Состав среды	Содержание фосфора, мкг/мл	Активность, ЕД/мл			% к контролю
			опыт 1	опыт 2	среднее	
1	Контрольная	116	3180	3300	3240	100
2	Обогащённая	196	4320	4440	4380	135
3		250	4000	4240	4120	127
4		296	2922	2678	2800	87
5		341	2280	2360	2320	72
6		382	1590	1770	1680	52

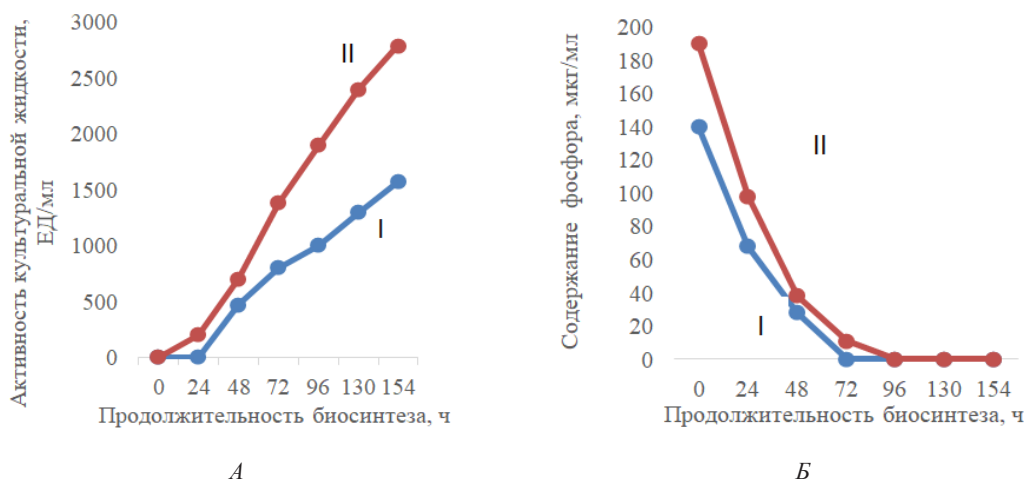


Рисунок 1 – Профиль накопления антибиотика (А) и потребления фосфора (Б) в ходе биосинтеза в ферментаторе с использованием питательной среды: I – контрольного состава, II – обогащённой фосфором

Таблица 6 – Сравнительная продуктивность биосинтеза олеандомицина на контрольной и обогащённой питательных средах

Состав среды	Содержание фосфора в ферментационной питательной среде	Продолжительность процесса ферментации, час	Активность культуральной жидкости на сливе, ЕД/мл	Объёмная доля влажной биомассы, %
Контрольный	117	150	1700	50
	136	152	1570	50
Обогащённый	216	148	2800	50
	200	150	2790	51

Обсуждение. Как видно из представленных в таблице 2 данных увеличение содержания фосфора в агаризованной питательной среде приводит к несоответствию морфологии единичных колоний и МКК характеристикам, заявленным в паспорте культуры. Неблагоприятные условия получения МКК сказались на её продуктивности. Из данных представленных в таблице 3 видно, что при использовании обогащённой по фосфору питательной агаризованной среды единичные колонии приобретают не только морфологию отличную от регламентированной в паспорте, но снижается потенциальная продуктивность МКК более чем на 10%.

Представленные в таблице 4 результаты показывают, что для выращивания вегетативного посевного материала в колбах при обогащении среды фосфором несколько изменяется морфология вегетативного посевного материала: при микроскопировании наблюдается более густая сетка гиф, что визуальнo коррелирует с тем, что объёмная доля влажной биомассы продуцента в пробе несколько выше на (5-7)%. Значимых различий в продуктивности посевного материала, выращенного на контрольной и обогащённой средах не наблюдалось.

Как показано на рисунке 1 исчерпание фосфора в ферментационной среде происходит практически за 48 часов. Далее культура переходит от стадии роста в стадию накопления целевого БАВ.

Анализ данных представленных в таблице 5 показал, что до определённого предела (190-250) мкг/мл увеличение концентрации фосфора в ферментационной питательной среде приводит к повышению активности культуральной жидкости по сравнению с контролем. Дальнейшее повышение концентрации фосфора сказывается отрицательно на продуктивности культуры – продуцента *Str. antibioticus*.

Выводы. В серии экспериментов было показано, что концентрация фосфора в питательных средах, используемых на всех лабораторных и опытно-промышленных стадиях развития продуцента может существенно повлиять на ход процесса биосинтеза.

При получении единичных колоний и МКК дополнительное обогащение фосфором агаризованной питательной среды негативно сказывается на развитии культуры-продуцента, её морфологии и потенциальной продуктивности.

На стадии интенсивного роста и накопления биомассы продуцент активно потребляет минеральный фосфор. Поэтому дополнительное обогащение

посевной среды приводит к получению большего объёма вегетативного посевного материала, но не сказывается в дальнейшем на повышении выхода целевого БАВ на стадии биосинтеза.

Дополнительное внесение фосфора в лабораторную ферментационную питательную среду показало, что до определённого момента этот фактор оказывает положительное влияние на продуктивность культуры. Но чрезмерное увеличение содержания фосфора в ферментационной среде сказывается негативно на антибиотикообразовании.

На первых часах развития культуры в ферментаторе культура активно потребляет фосфор и накапливает биомассу. К 48 часам роста содержание общего фосфора в ферментационной питательной среде практически исчерпывается, культура переходит к накоплению БАВ.

Избыточное количество фосфора в питательной среде биосинтеза приводит к снижению выхода конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Нетрусов А.И. Микробиология: учебник для студ. Высш. Уч. Заведений / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – 3-е изд., испр. – М.: Академия, 2009. – 352 с.
2. Бирюков, В.В. Основы промышленной биотехнологии / В.В. Бирюков. – М.: КолосС, 2004. – 269 с.: ил.
3. Яковлев В.И. Технология микробиологического синтеза. Учебное пособие. –Л.: Химия. 1987. – 272 с.
4. Пассет Б.В., Воробьева В.Я. Технология химико-фармацевтических препаратов и антибиотиков. М., Медицина, 1977, 430 с.
5. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках – М.: Наука, 2004. - 528 с.
6. Н.П. Елинов. Основы биотехнологии: учебное пособие для студентов химико-технологических институтов, аспирантов и практикующих работников. – СПб.: Наука: Высшая школа, 1995. – 600 с
7. Влияние фосфора на биосинтез антибиотиков. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.activestudy.info/vliyanie-fosfora-na-biosintez-antibiotikov/>
8. Современная микробиология. Прокариоты: В 2-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Й.Ленгера, Г. Дресса, Г. Шлегеля. – М.:Мир, 2005. – 656 с.
9. Егорова Т.А. Основы биотехнологии : учебное пособие для высш. Учебн. Заведений / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 208 с.
10. Тимошенко Л.В. Основы микробиологии и биотехнологии: учебное пособие /Л.В. Тимошенко, М.В. Чубик, А.Н. Пестряков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 188 с.
11. Биотехнология: Учебник / И.В.Тихонов, Е.А. Рубан, Т.Н. Грязнева и др.; Под ред. Акад. РАСХН Е. С. Воронина. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 790 с.
12. В.Д. Похиленко, А.М. Баранов, К.В. Детушев. Методы длительного хранения коллекционных культур микроорганизмов и тенденции развития // Известия высших

учебных заведений, № 4 (12), 2009 /

13. Экстракт кукурузный сгущённый. Технические условия //ТУ 10-04-08-14-88.

14. Микробиологические методы: учебное пособие / Г.К. Давлетшина, М.М. Туйгунов, Ю.З. Габидуллин, А.А. Ахтариева, А.К. Булгаков, Т.А. Савченко. – Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2018. – 119 с.

15. ОФС.1.2.4.0010.15 Определение антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар [Электронный ресурс]: URL: <http://pharmascoroeia.ru/ofs-1-2-4-0010-15-opredelenie-antimikrobnoj-aktivnosti-antibiotikov-metodom-diffuzii-v-agar/>

16. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение содержания фосфора спектрометрическим методом. ГОСТ ISO 6491-2016.

Статья поступила в редакцию 27.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 53.08

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0020

КЛАССИФИКАЦИЯ И АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

© Авторы 2022

SPIN: 1840-8993

AuthorID: 305899

ORCID: 0000-0001-7871-9400

ResearcherID: FCJ-3439-2022

ScopusID: 57210314120

ГУМАРОВ Гали Сагингалиевич, доктор технических наук, профессор

Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова

(090001, Казахстан, г. Уральск, проспект Н.Назарбаева, 162, e-mail: idozkgu@mail.ru)

SPIN: 6039-6718

AuthorID: 617338

ORCID: 0000-0002-5011-5354

ResearcherID: P-7520-2018

ScopusID: 57193789361

КОНОВАЛОВ Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Технология машиностроения»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: konovalov-penza@rambler.ru)

SPIN: 7286-5218

AuthorID: 1170842

ORCID: 0000-0003-4134-7898

ResearcherID: HCG-8700-2022

САГИНГАЛИЕВА Аяжан Галиевна, аспирант кафедры «Технологии продуктов питания»

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова

(410005, Россия, г. Саратов, ул. Большая Садовая, д.220, e-mail: gas9-7@bk.ru)

Аннотация. Статья посвящена разработке классификации и аспектам применения в пищевых системах ультразвуковых технических средств. Актуальность представленной работы определяется современным вектором развития ультразвуковых технологий, практикой их применения в различных отраслях экономики и недостаточным уровнем их использования в пищевой промышленности. Целью проведения данного исследования являлось систематизация информации об ультразвуковых технических средствах, применяемых в настоящее время в пищевой индустрии и выявление перспектив их развития. Объектами исследований обозначены ультразвуковые технологические процессы и технические средства, применяемые в пищевой промышленности. Представлены основные специфические свойства ультразвуковых волн. Раскрыты отличительные преимущества применения ультразвуковых технологий при изготовлении пищевых продуктов. Выявлены существенные квалификационные признаки и разработана схема классификации применяемых в пищевых системах ультразвуковых технических средств. Сформулированы основные направления производственного применения ультразвуковых технических средств. Приведены конкретные примеры и показана перспективность применения в пищевых технологиях нетепловых ультразвуковых методов. Раскрыты некоторые аспекты перспектив развития использования в пищевых системах ультразвуковых технологий и технических средств. При этом акцентируется внимание на эффективность использования взаимодополняющего комбинирования ультразвукового с различными тепловыми и нетепловыми методами и что, ультразвук, всё более становится высокоэффективным универсальным технологическим инструментом для создания и разработки новых пищевых технологий и продуктов питания с улучшенными органолептическими качествами и с длительными сроками хранения. Обозначены задачи по широкому промышленному применению в пищевой индустрии ультразвуковых технологий и технических средств.

Ключевые слова: классификация, пищевые системы, применение ультразвука, ультразвуковые волны, ультразвуковые технические средства, ультразвуковые технологии.

CLASSIFICATION AND ASPECTS OF APPLICATION OF ULTRASONIC TECHNICAL MEANS IN FOOD SYSTEMS

© The Author(s) 2022

GUMAROV Gali Sagingalievich, doctor of technical sciences, professor

Makhambet Utemisov West Kazakhstan University

(090001, Kazakhstan, Uralsk city, Nazarbayev Avenue, 162, e-mail: idozkgu@mail.ru)

KONVALOV Vladimir Viktorovich, doctor of technical Sciences, professor

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarin Street, 1a / 11, e-mail: kononov-penza@rambler.ru)

SAGINGALIEVA Ayazhan Galievna, postgraduate student of the Department of Food Technology

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

(410005, Russia, Saratov, Bolshaya Sadovaya Street, 220, e-mail: gas9-7@bk.ru)

Abstract. The article is devoted to the development of classification and aspects of the use of ultrasonic technical means in food systems. The relevance of the presented work is determined by the modern vector of development of ultrasonic technologies, the practice of their application in various sectors of the economy and the insufficient level of their use in the food industry. The purpose of this study was to systematize information about ultrasonic technical means currently used in the food industry and identify prospects for their development. The objects of research are ultrasonic technological processes and technical means used in the food industry. The main specific properties of ultrasonic waves are presented. The distinctive advantages of the use of ultrasonic technologies in the manufacture of food products are revealed. The essential qualification features are revealed and the classification scheme of ultrasonic technical means used in food systems is developed. The main directions of industrial application of ultrasonic technical means are formulated. Concrete examples are given and the prospects of using non-thermal ultrasound methods in food technologies are shown. Some aspects of the prospects for the development of the use of ultrasound technologies and technical means in food systems are disclosed. At the same time, attention is focused on the effectiveness of using a complementary combination of ultrasound with various thermal and non-thermal methods and that ultrasound is increasingly becoming a highly effective universal technological tool for the creation and development of new food technologies and food products with improved organoleptic qualities and with long shelf life. The tasks for the wide industrial application of ultrasonic technologies and technical means in the food industry are outlined.

Keywords: classification, food systems, ultrasound application, ultrasonic waves, ultrasonic technical means, ultrasonic technologies.

Для цитирования: Гумаров Г.С. Классификация и аспекты применения в пищевых системах ультразвуковых технических средств / Г.С. Гумаров, В.В. Коновалов, А.Г. Сагингалиева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 128-136. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0020.

Введение. Практика применения ультразвука, как технологического инструмента, во всем мире весьма обширна и обусловлено это большей частью широким возможностями использования специфических свойств ультразвука для решения важных технологических задач стоящих перед производственной и непроизводственной сферой экономики тех или иных государств.

В научной отрасли ультразвук широко применяется в практике физических, химических и биологических исследований и зарекомендовал себя как эффективный научный метод познания сущности многих явлений и процессов. Достаточно заметить, что в конце XX и в начале XXI веков ультразвук нашло своё новое применение в таких областях, как акустоэлектроника, голография, интроскопия, квантовая акустика, ультразвуковая фазометрия. Благодаря кропотливому труду коллективов ученых в настоящее время создаются фундаментальные основы ультразвуковой химии, молекулярной акустики и т.д. [1-7].

Естественно будет предположить и этого нельзя нам исключать, что со временем, возможно появление нового раздела в науке о процессах и аппаратах пищевых производств – ультразвуковые технологии пищевых производств или ультразвуковые технологии пищевых систем, по крайней мере, уже сейчас, на наш взгляд, заметны усилия ученых и видны ростки, элементы этого нового.

Вместе с тем, следует заметить, что не в полной мере изучен вопрос применения ультразвука в

процессах сельского хозяйства, транспорта, легкой промышленности и других отраслях экономики. Более того, на наш взгляд, в настоящее время ультразвуковые технологии ещё не вполне достаточно широко используются в такой весьма специфичной отрасли, как пищевая промышленность.

Поэтому вопрос, которому посвящена данная статья, а именно классификация и аспекты применения в пищевых системах ультразвуковых технических средств является актуальным и имеет большую значимость, как для науки, так и для практики.

Актуальность работы ещё определяется современным уровнем развития ультразвуковых технологий, необходимостью выявления предпосылок, устойчивых тенденции и проведения их анализа. Посредством классификации появляется возможность спрогнозировать дальнейшее развитие ультразвуковых технологий и технических средств, которые обязательно найдут своё применение в различных производственных процессах пищевой индустрии. Здесь нельзя не отметить, что дальнейшее развитие ультразвуковых технологий и технических средств, как правило, создадут условия и дадут возможность организовать производственный процесс на более высокотехнологичном и интеллектуальном уровне, что в свою очередь сгенерирует импульс к последующему витку развития науки и техники, вскроет до сих пор неизученные горизонты возможностей.

Методология. Исследования в области практического применения ультразвуковых технологий

и положительные результаты Акопян В.Б., Верболоз Е.И., Красуля О.Н., Петрушко И.В., Потороко И.Ю., Хмелева В.Н. Шестаков С.Д. и других ученых стали методологической и теоретической основой совершенствования, создания инновационных технологических процессов и модернизации существующих аппаратов и машин пищевой промышленности. В результате кропотливого труда Афанасьева В.А., Брачихина А.А., Демченко В.А., Иванова В.С., Кардашова П.В., Корко В.С., Кречетниковой А.Н., Смирнова, И.В., Трифонова Д.О., Хмелева В.Н. и других ученых, были достигнуты определенные результаты. Более того, благодаря им получили дальнейшее развитие исследования и разработки по оптимизации режимов применения ультразвука в пищевой индустрии. Активизировались научные исследования в области применения ультразвука в пищевой промышленности на базе Всероссийского НИИ пищевой биотехнологии, специализированных фирм «Центр ультразвуковых технологий», «Александра-Плюс» и др. [8-17].

Надо думать, что активные практики последних двадцатилетий по изучению воздействия ультразвуковых волн на объекты выпускаемых пищевой промышленностью, продиктованы неподдельными интересами дальнейшего развития теории ультразвуковых колебаний и эффективными приложениями позитивных результатов научных исследований к современным пищевым системам. Так как невозможно себе представить развитие пищевой индустрии в перспективе без использования большого потенциала ультразвуковых методов.

Целью настоящей работы являлась систематизация информации об ультразвуковых технических средствах, применяемых в настоящее время в пищевой промышленности путем выявления присутствующим им общих наиболее значимых специфических признаков и на этой основе разработать их классификацию.

В ходе выполнения данной работы задачами исследования являлись сбор и изучение информации об ультразвуковых технологиях и технических средствах используемых в пищевой индустрии, выявление существенных квалификационных признаков и разработка схемы классификации ультразвуковых технических средств, а также рассмотрение некоторых аспектов возможностей развития их применения в современных пищевых системах.

Объектами исследований явились ультразвуковые технологические процессы и технические средства, применяемые в пищевой промышленности.

В процессе данного изыскания нами были использованы такие основные научные общелогические методы и приемы исследования, как анализ, синтез, сравнение, сопоставление, обобщение, описание и системный подход.

Результаты. Напомним, что под ультразвуком понимаются упругие механические волновые колебания частиц газообразной, жидкой среды или

твердого тела с частотой от 20 кГц до 1000 МГц [18-20]. По физической природе и свойствам, находящийся за пределами слышимости, ультразвук ни чем не отличается от звука слышимого для органов слуха человека.

Практический интерес, привлекающий внимание многих исследователей в последние двадцатилетие заключается в особых свойствах, которыми обладают ультразвуковые волны (УЗ волны). При этом к этим основным специфическим свойствам относят:

- возможность получения значительных по величине энергии УЗ волн;
- осуществимость импульсного излучения УЗ волн;
- функциональность лучевого характера движения УЗ волн;
- способность дифрагировать УЗ волн;
- особенность поглощаться УЗ волн газовой средой, причем в большей степени, чем в других средах;
- достижимость практического получения направленного излучения УЗ волн;
- потенциальность одновременно создавать немалое количество важных специфических эффектов в среде воздействия и др.

На сегодняшний день, ультразвуковые технологии получили сравнительно широкое распространение в металлургии, медицине, машиностроении, нефтегазовой сфере и химической промышленности [20-23].

Как известно [1, 8, 24], в пищевой индустрии от правильного выбора способа переработки сырья и полуфабрикатов во многом зависят количественный выход отходов, потери в массовом эквиваленте, утрата питательной ценности, ароматно-вкусовые составляющие готовой продукции, степень усвояемости продукта и др.

Изучив опыт применения ультразвуковых технологий при изготовлении пищевых продуктов жизнеобеспечения человека, можно привести ряд положительных сторон их использования в пищевых системах, которые характеризуют их неотъемлемые преимущества перед остальными технологиями. Перечислим эти преимущества [6-13, 15-17]:

1. Существенно повышается качество конечного продукта;
2. Заметно возрастает сохранность готового продукта;
3. Значимо сберегаются, а в некоторых случаях ощущаются проявления специфических и вкусовых особенностей, и даже наблюдаются присутствующие конкретным продуктам палитра визуально определяемых качеств;
4. Значительно уменьшается технологическое время обработки, приготовления продукта;
5. Максимально сохраняются пищевая ценность продуктового сырья и весьма полезные для человеческого организма незаменимые витамины, макро- и микроэлементы и жиры;

6. Снижается использование консервантов и пищевых добавок на химической основе, а также возможно нулевое их применение;

7. Сокращается расход некоторых вспомогательных рецептурных компонентов;

8. Радикально ускоряется технологический процесс, что приводит к интенсификации производства;

9. Отмечается снижение отходов в количественном отношении;

10. Намного повышается антимикробный эффект;

11. Гораздо сокращается выделенное время необходимое для «созревания» сырья;

12. Кардинально решается вопрос создания более устойчивых пищевых эмульсий с требуемыми дисперсными характеристиками;

13. Весомо снижается энергоёмкость выпускаемой продукции;

14. Положительно решаются экологические вопросы и др.

Вышеназванные преимущества следует рассматривать, как позитивный опыт выявленных потенциальных возможностей, которые необходимо учесть и в дальнейшем расширить путем научных изыскания в данном направлении.

Их широкое использование в пищевых системах являются важными предпосылками для создания конкретных пищевых продуктов с новыми потребительскими свойствами и расширения существующего ассортимента различных видов продукции с учетом всех производственных и технологических особенностей их выработки.

Продолжая изложение результатов исследования, на наш взгляд, требует разъяснения понятие «ультразвуковые технические средства». Целесообразность дать определение обусловлено отсутствием такового в различных категориях и широком спектре источников информации, отражающих проблематику затрагиваемой нами темы.

Мировая практика применения ультразвуковых технологий и технических средств позволяет констатировать о том, что они используются практически во всех производственных и непроизводственных отраслях экономики [1, 4, 7].

В соответствии с этим, в широком смысле, под ультразвуковыми техническими средствами (УТС) понимается совокупность различных по степени конструктивной сложности устройств генерирующих ультразвуковые волны и предназначенных для осуществления ультразвуковых технологических процессов в производственных и непроизводственных сферах деятельности человека.

В относительно узком смысле, в частности для пищевой индустрии, под ультразвуковыми техническими средствами понимается совокупность различных по степени конструктивной сложности устройств генерирующих ультразвук и предназначенных для проведения процессов пищевой технологии с использованием ультразвуковых волн с частотой и интенсивностью определенного диапазона.

На рисунке 1 представлена классификация ультразвуковых технических средств используемых в пищевых системах.

Анализируя совокупность нашедших своё применение на практике ультразвуковых технических средств, на наш взгляд, можно прибегнуть к их классификации по таким отличительным признакам, как вид производственного применения, тип обрабатываемого биологического сырья, вид агрегатного состояния обрабатываемого объекта, степень конструктивной сложности и количество выполняемых технологических функции (рис. 1). Немаловажное значение здесь имеют и такие признаки как, тип исполнения и род использования, принцип устройства и работы, величина частоты и интенсивность ультразвуковых колебаний, характер воздействия на сырьё и функционально-технологические особенности конструкции.

По виду производственного применения УТС можно выделить следующие направления:

Во-первых, как мониторинговый и оценочный инструмент для проведения неразрушающего контроля качества сырья и готовой продукции.

Во-вторых, как инструмент, обладающий противомикробным действием, т.е. для подготовки к использованию сырья, рабочих поверхностей технологических аппаратов, машин и вспомогательного оборудования, а также потребительской тары, например стеклотары,

В-третьих, как технологический инструмент для непосредственного воздействия на базовый продукт производства и на рецептурно-сырьевые компоненты продукта производства.

В-четвертых, как инструмент проводящий герметизацию объектов, а именно для разрезки и запайки или запечатывания пищевых пакетов содержащий готовый продукт производства.

В-пятых, как инструмент технического сервиса, т.е. для технического обслуживания и ремонта технологических машин, аппаратов и оборудования.

В-шестых, как инструмент безреагентной подготовки самого важнейшего сырьевого ресурса для любого пищевого предприятия, т.е. воды.

Ультразвук способен качественно обрабатывать биологическое сырьё, как растительного, так и животного происхождения.

УТС можно применять для оказания активного воздействия и переработки сырья в твердом и жидком виде, а также изменения состояния газообразной среды, которые порождаются в ходе технологического процесса. При этом могут быть реализованы различные цели, такие как форсирование процессов тепло- и массообмена, деструктуризация сырья, интенсификация химических реакций, ускорение кристаллизации и декристаллизации, например меда и др. [6, 13, 15, 24].

По степени конструктивной сложности технические ультразвуковые средства делятся на аппараты, приборы, реакторы, станки, стенды и установки (рис.

1). Здесь необходимо отметить гибкую возможность встраивания УТС на любые участки технологической производственной линии и это открывает широкие возможности их применения.

Специализированные технические средства предназначены для исполнения какой-нибудь одной производственной задачи, например, сушка или распыление экстракта и это связано с конструктивными особенностями их устройства, а многофункциональные можно применять для достижения различных эффектов при обработке сырья и полуфабрикатов.

Тип исполнения обуславливает производственные условия применения УТС, поэтому их создают для эксплуатации в лабораторных, промышленных и лабораторно-промышленных условиях.

Производственная специфика и функциональное назначение предполагают стационарное или мобильное (переносное) использование технических средств.

Принцип устройства и работы УТС напрямую зависят от используемого преобразователя электромагнитных колебаний. Известны динамические, магнитострикционные, пьезометрические и электромагнитные преобразователи [19, 21]. Однако, наиболее широкое практическое внедрение получили пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи.

Стандартизированная классификация пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей описана в ГОСТ Р 55725-2013 и ГОСТ 27955-88 [25-26]. В настоящее время, современная промышленность в большинстве своем выпускает генераторы, которые предназначены для обеспечения электропитания пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей.

Базовыми характеристиками служащие для оценки ультразвука являются частота колебаний и их интенсивность, в связи с чем, они являются важными показателями колебательных систем и как следствие, собственно и самого УТС.

Согласно величине вырабатываемой частоты ультразвуковых колебаний технические средства бывают низкой (от $1,12 \cdot 10^4$ до $1,0 \cdot 10^5$ Гц) и высокой (от $1,0 \cdot 10^5$ до $1,0 \cdot 10^9$ Гц) частоты, а по степени интенсивности ультразвуковых волн их подразделяют на два типа: слабой (до 10^3 Вт/м²) и сильной (до 10^7 Вт/м²) интенсивности.

Необходимо обратить внимание, что выбор или определение оптимального сочетания величин частоты и интенсивности УЗ колебаний даёт запланированный эффект воздействия и реализацию технологического процесса.

По специфике характера оказываемого воздействия ультразвуковых колебаний на обрабатываемый объект производства можно выделить технические средства с внутренним, внешним и комплексным воздействием. Вместе с этим, безусловно, такое особое воздействие ультразвуковых

колебаний вызывает сопряженное появление акустического, биологического, механического, термического, химического или комплексного эффекта.

Создав реализацию оптимальных режимов тех или иных процессов, ультразвуковое воздействие позволяет при минимальных затратах достичь максимальный эффект. К таким технологическим процессам пищевых производств относятся: диспергирование, эмульгирование, экстракция, осветление, дегазация, ферментация, стерилизация и другие (рис. 1).

В качестве примера, опишем процессы пищевой технологии, в основе которых на настоящее время уже используется ультразвуковое воздействие, потенциал применения которого ещё неисчерпан и требует расширения [6, 9-17, 27-35].

Диспергирование. Бийск центр ультразвуковых технологий предлагает выполнять мелкодисперсное распыление жидких сред с широким диапазоном вязкости, и это достигается без нарушения их структуры и физических свойств. Вместе с тем, есть возможность осуществлять это при помощи ультразвукового аппарата, например УЗР 0,1/44-О «Туман» [6, с. 316]. Более того, доказана эффективность применения не ручного, а именно автоматизированного управления процессом.

При воздействии УЗ волн возрастает выход пищевого сока из свежего сырья винограда и иных ягод в среднем на 10-15%, чем обычным способом, при этом они более прозрачны и сохраняют все вкусовые свойства [6, с. 342].

Эмульгирование. Получение пищевых эмульсий из растительных и животных жиров с использованием ультразвуковых колебаний способствует проявлению их весьма ценных свойств, улучшению вкуса, запаха и повышению устойчивости без применения стабилизирующих веществ. Из практики известны следующие примеры:

- ультразвукового экспресс-эмульгирования при производстве кремов, майонезов, маргарина, напитков из овощей и фруктов, пудингов и соусов, а также при введении в комбинированные продукты различных добавок на основе молока;

- изготовления вкусо-ароматических и жировых эмульсий для ввода в фарш при производстве сосисок, сарделек и колбасных изделий;

- повышения качества при создании хлебобулочных изделий путем добавления в тесто жировых эмульсий. Значительную экономию жира (до 90%) можно достичь посредством использования жировых эмульсий в приготовлении мучных кондитерских изделий и хлебопечении, если им смазать пекарские, кондитерские листы и хлебные формы [9, 6, с. 337].

Кристаллизация. Ультразвук позволяет в условиях производства произвести кристаллизацию винного камня в процессе обработки сока винограда и интенсифицировать процесс их управляемого удаления. Таким образом, сокращается процесс кристаллизации от 3-4 месяцев до 2-3 суток [6, с. 342].

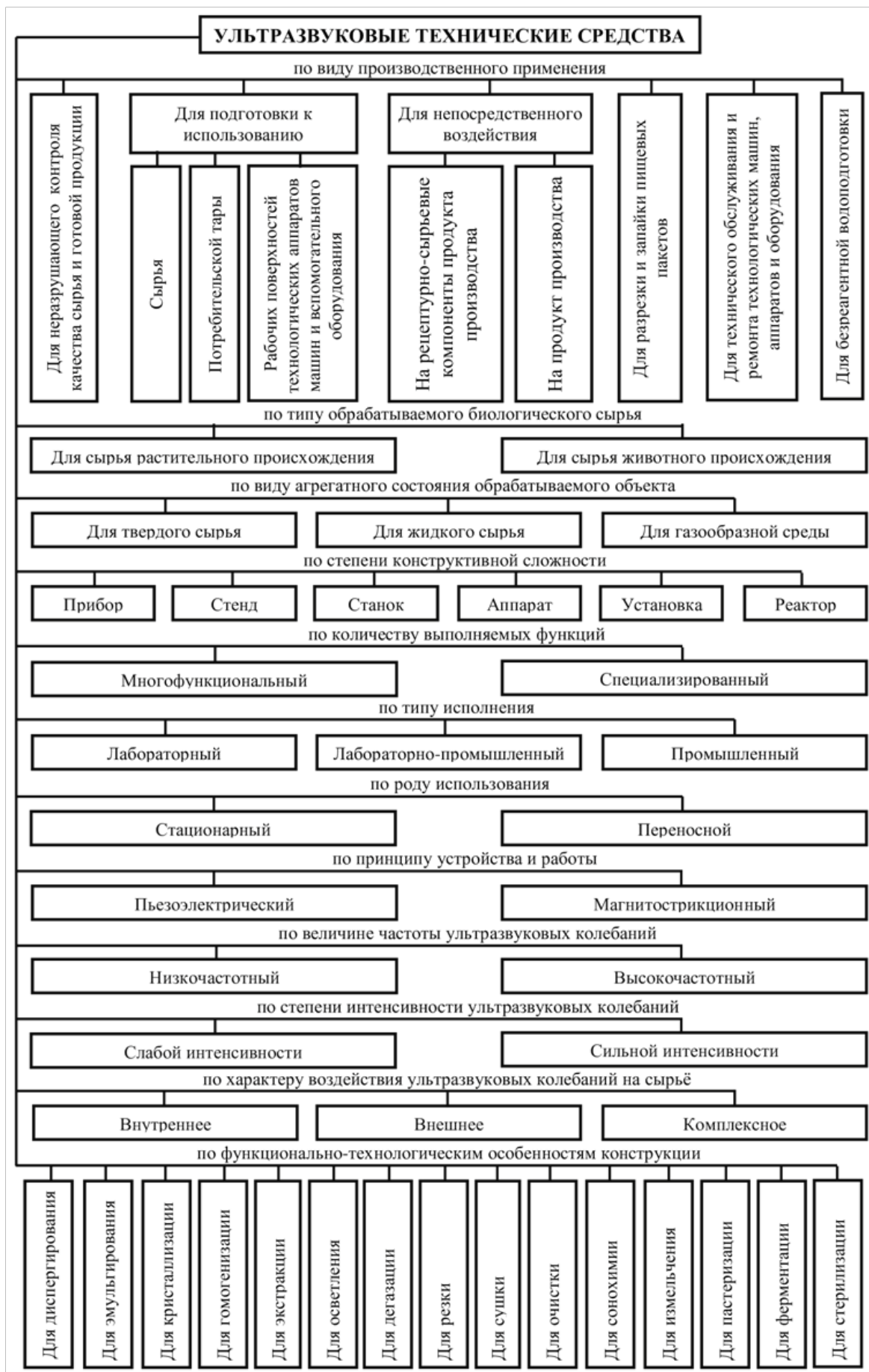


Рисунок 1 – Классификация ультразвуковых технических средств используемых в пищевых системах

Гомогенизация. Известен факт, проведения гомогенизации молочных продуктов на базе фирмы «Партнер» города Москва.

Экстракция. В настоящее время находят своё применение процессы экстракции с использованием ультразвукового поля, при этом реализовываются такие цели, как:

– ускорение экстракционного процесса, например получение из рыбьей печени высокоценного и полезного рыбьего жира без особого повышения температуры, что дает возможность сохранить в нем все необходимые витамины и незаменимые жиры;

– повышение производительности производственной экстракции водно-спиртовой жидкостью зерен кофе и высушенных плодов шиповника, диких ягод рябины;

– увеличение выхода альфа-кислоты из измельченного сырца хмеля.

Осветление. Ультразвук применяется для осветления соков, глубоко сконцентрированных экстрактов настоек, морсов и других напитков. На курском ликероводочном заводе доказано 5-6 кратное ускорение скорости осаждения взвешенных частиц в процессе осветления яблочного сока.

Дегазация. В целях гашения пен образующихся в процессе реализации технологии есть возможность эффективно использовать ультразвуковые аппараты УЗАГС-0,3/22 или УЗАГС-0,45/22 [6, с. 312]. Вместе с тем, ультразвуком можно ускорить процесс обособления газов нежелательно образовавшихся в напитках, маслах растительного происхождения, эмульсиях из желатина или крахмала, горячем шоколаде и т.д.

Пастеризация. Проведение ультразвукового воздействия на парное молоко служит существенному росту питательной ценности и сохранению вкусовых качеств по сравнению с другими методами обработки, а также его эффективной нетепловой пастеризации.

Ферментация. Выход порошка сычужного фермента добываемого посредством ультразвука увеличивается на 35 %, наряду с этим его активность возрастает в 16,7 раза [6, с. 340]. В конечном итоге, уменьшается время на приготовление высококачественных сыров по сравнению с традиционным заводским способом.

Стерилизация. Воздействие ультразвуковым полем на непастеризованное молоко положительно влияет на его микрофлору, на длительное время обеспечивается стабильная кислотность, вместе с этим, отмечается понижение бактериальной обсемененности до нормативного уровня, т.е. до 200000 КОЕ в 1 мл [6, с. 336]. Кроме того, ультразвуковая безреагентная подготовка питьевой воды обеспечивает её полную стерилизацию, вместе с этим достигается экономия реагентов и как следствие, обеспечивается снижение финансовых затрат на производство пищевой продукции.

Доказано, что акустическое кавитационное воздействие на цельномышечное свиное мясо при-

водит к значительному снижению величины микробальной обсемененности и это позволило увеличить продолжительность их хранения, не применяя традиционные средства консервации [11].

Сушка. Ультразвуковая сушка макаронных изделий позволяет ускорить процесс на 24-26%, уменьшить затраты энергии на 8-11 % и сократить время на их производство [10, 29]

Воздействуя через воздушную среду, можно осуществить бесконтактную сушку различных материалов, например, жидких растительных экстрактов, при этом имеется возможность использовать ультразвуковые аппараты УЗАГС-0,3/22 или УЗАГС-0,45/22 [6, с. 312].

Сонохимия. Экспериментальным путем доказано благоприятное влияние созданного на основе ультразвуковой кавитации эффекта сонохимии на качество переработки мяса цыплят-бройлеров, увеличение сроков хранения и повышение их пищевой ценности [16].

В результате сонохимии достигнута высокая интенсивность диффузионно-осмотических процессов, что позволило сократить выдержку свиного мяса в рассоле в 3 раза [11]. Более того, исследованиями достигнуто увеличение срока годности в 2 раза и сохранение качественных показателей свежеевыжатого апельсинового сока посредством пищевой сонохимии [33].

Резка. В качестве режущего инструмента можно использовать ультразвуковой аппарат-нож модели МУЗА-01/22Н [6, с. 311]. Его конструкция и технические характеристики позволяют осуществлять резку, как кондитерских изделий, так и полимерных материалов, тканей из различных материалов.

Измельчение. Ультразвуковые колебания позволяют тонко и равномерно измельчать фрукты и овощи, создавать легкоусвояемые и вкусные пюре для детского питания.

Очистка. Используются ультразвуковые ванны для очистки корнеплодов (картофеля, моркови, корневой петрушки, свеклы, сельдерея, и др.) от частиц почвы. В практике ликероводочного производства уже нашли применение бутылкомоечные машины с принципом работы основанного на использовании силового ультразвука, которые служат в целях эффективной очистки оборотной тары.

Обсуждение. Важно ещё раз заметить, что в результате таких ультразвуковых манипуляций при осуществлении пищевых технологий существенно форсируется большая часть технологических процессов, повышается коэффициент использования заложенного природой питательно-полезного потенциала сырья или полуфабрикатов, уменьшается количественный выход производственных отходов, обеспечивается экономия финансовых средств и т.д. Не следует исключать и взаимодополняющих комбинированных методов использования ультразвуковых воздействий, например, ультрафиолетового или инфракрасного излучения и

ультразвука, которые относятся к нетермическим методам, возможно и в сочетании с термическими методами.

Подводя итоги, следует отметить, что представленная классификация на основе систематизации и обобщения наработанного опыта конструирования и эксплуатации УТС позволяет ставить новые задачи по их совершенствованию и модернизации, развитию конструкции и технологических функций с учетом всех особенностей составных элементов пищевых систем.

Выводы. Таким образом, систематизируя имеющуюся информацию, характеризующую современное состояние ультразвуковой техники и технологий, нами предпринята попытка классификации ультразвуковых технических средств и вместе с этим, раскрыты некоторые аспекты перспектив развития их применения в пищевых системах.

Обобщая отметим, что на сегодняшний день ультразвук всё более становится высокоэффективным универсальным технологическим инструментом для создания и разработки новых пищевых технологий и продуктов питания с улучшенными органолептическими качествами и с длительными сроками хранения. И нет необходимости доказывать, безальтернативность широкого применения в пищевой промышленности ультразвука в ближайшем будущем. Ультразвуковые технологии потенциально пригодны в определенной части или полностью, заместить традиционные методы обработки пищевого сырья. При этом ультразвуковое воздействие в последнее время всё настоятельнее позиционируется как один из самых существенных факторов формирования высококачественной продукции.

Подводя итоги, мы из вышеизложенного можем предположить, что в самое ближайшее время своего открытия и научного обоснования исследователями, ждут различные инновационные методы УЗ обработки сырья, которые учитывают все их специфические свойства и характеристики, и в конечном итоге дают возможность повысить эффективность производимой продукции и получить расширенный ассортимент высококачественных продуктов питания.

Для широкого промышленного применения в пищевой индустрии ультразвуковых технологий и технических средств, наш взгляд, необходимо:

- выработать принципиально новые подходы к обеспечению развития предприятий пищевой индустрии, ориентированные на выпуск высокотехнологичной продукции;
- расширить научные изыскания в области ультразвуковых технологий пищевых систем;
- продолжить разработку ультразвуковых технических средств различного спектра возможностей, как многофункциональных, так и специализированных;
- выполнить отраслевые проекты по созданию производственных технологических линий осна-

щенных полностью автоматизированной ультразвуковой пищевой системой;

- поддержать отечественных разработчиков широкого спектра ультразвуковых технических средств, утвердить законодательно-распорядительные нормативы, выработать четкие, конкретные механизмы и осуществить их масштабный промышленный выпуск;
- проводить поэтапную системную работу по импортозамещению применяемых в отечественных предприятиях зарубежных ультразвуковых технических средств;
- осуществить разработку необходимых документов в области стандартизации и сертификации;
- разработать и провести широкое распространение методических пособий и рекомендаций по эффективному применению ультразвуковых технологий и технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аюпьян, В.Б. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами / В.Б. Аюпьян, Ю.А. Ершов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 298 с.
2. Есипов, И.Б. Инфразвук, ультразвук, гиперзвук - где пределы звука? / И.Б. Есипов // Акустика среды обитания: сб. материалов V Всерос. конф. молодых ученых и специалистов / под ред. А.И. Комкина. – М.: АСО, 2020. – С. 5-12.
3. Хмелев, В.Н. Ультразвук. Принципы построения, алгоритмы и системы управления ультразвуковыми аппаратами: монография // В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, А.Р. Барсуков. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2021. – 200 с.
4. Хмелев, В.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.С. Хмелев, С.Н. Цыганок; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. – 688 с.
5. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
6. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве: монография / В.Н. Хмелев; Г.В. Леонов; Р.В. Барсуков; С.Н. Цыганок; А.В. Шалунов. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.
7. Сагингалиева А.Г. Практика применения ультразвука / А.Г. Сагингалиева, Н.А. Семилет // Международный научный журнал «Глобальная наука и инновации 2022: Центральная Азия». Сер. Технические науки. – Астана, 2022. – Т. III, № 3 (17). – С. 3-8.
8. Аюпьян, В.Б. Ультразвук в производстве пищевых продуктов // Пищевая промышленность. – 2003. – № 4. – С. 68-69.
9. Верболоз, Е.И. Влияние ультразвука на качественные показатели кондитерских изделий с белково-жировыми эмульсиями при непрерывном цикле производства в пароконвектоматах / Е.И. Верболоз, Д.С. Распопов, Р.Н. Савченко // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – № 1 (75). – С. 55-61.
10. Верболоз Е.И. Применение ультразвука при сушке макаронных изделий с белковыми добавками / Е. И. Верболоз, О.И. Николок // Вестник ВГУИТ. – 2017. – Т. 79. – № 1. – С. 50-54.
11. Красуля О.Н. Исследование изменений мясного сырья в посоле с использованием акустически активированного рассола / О.Н. Красуля В.И. Богуш, А.К. Мухаметдинова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4. – № 1. – С. 61-70.
12. Красуля, О.Н. Исследование возможности применения

сонотехнологий в производстве молочных напитков из восстановленного сырья / О.Н. Красуля, С.Д. Шестаков, Е.Г. Черемных, Н.А. Тихомирова, О.Н. Игнатъева, Д.М. Марченко // Молочная река. – 2009. – № 3. – С. 38-41.

13. Шестаков С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции: учебное пособие / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богущ, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

14. Петушко И.В. Оборудование для ультразвуковой очистки / И.В. Петушко. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом», 2004. – 150 с.

15. Потороко, И.Ю. Современные подходы и методы интенсификации процессов пищевых производств / И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретьова, Л.А. Цирульниченко // Товаровед продовольственных товаров. – 2014. – № 1. – С. 41-45.

16. Потороко И.Ю. Формирование сенсорных характеристик пищевых продуктов под воздействием эффектов сонохимии / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Т. 2. – № 2. – С. 27-34.

17. Демченко В.А. Разработка ресурсосберегающей технологии приготовления опары для производства кексов / В.А. Демченко, М.А. Иванова, Е.И. Верболоз, А.В. Ерофеев, И.Г. Нестеренко // Новые технологии. – 2019. – № 4. – С. 34-43.

18. Детлаф А.А. Курс физики. Том III. Волновые процессы. Оптика. Атомная и ядерная физика / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский, М.Б. Милковская. – М.: Высшая школа, 1979. – 511 с.

19. Физика и техника мощного ультразвука. Физические основы ультразвуковой технологии. / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: «Наука», 1970. – 688 с.

20. Клюкин, И.И. Удивительный мир звука / И.И. Клюкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1986. – 167 с.

21. Захаров О.В. Ультразвуковая обработка нежестко закрепленными инструментами: учеб. пособие / О.В. Захаров, Б.М. Бржозовский. – Саратов: Из-во Саратов. гос. техн. ун-т, 2002. – 101 с.

22. Петушко И.В. Оборудование для ультразвуковой сварки / И.В. Петушко. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом», 2007. – 166 с.

23. Резников И.И. Физические основы использования ультразвука в медицине / И.И. Резников, В.Н. Фёдорова, Е.В. Фаустов, А.Р. Зубарев, А.К. Демидова. – М.: РНИМУ им. Пирогова, 2015. – 97 с.

24. Кудряшов В.Л. Эффективность и проблемы применения ультразвука в технологических линиях пищевой промышленности / В.Л. Кудряшов, А.Н. Сиверская, Н.М. Лебедев и др. // Труды научно-практической конференции «Технологические аспекты комплексной переработки сельскохозяйственного сырья при производстве экологически безопасных пищевых продуктов общего и специального назначения» (11-14 сентября 2002 года). – Углич: Россельхозакадемия, 2002. – С. 249-252.

25. ГОСТ Р 55725-2013. Преобразователи ультразвуковые пьезоэлектрические. Общие технические требования. – Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

26. ГОСТ 27955-88. Преобразователи ультразвуковые магнитострикционные. Методы измерения характеристик. – Введ. 01.01.1990. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 26 с.

27. Афанасьев В.А. Применение ультразвука в технологических линиях производстве крахмала / В.А. Афанасьев, С.А.Иритков, А.А.Фошин, С.В.Янкевич // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем : сб. материалов XII Всерос. науч.-техн. конф., 2017. – С. 343-348.

28. Иванов В.С. Сверхвысокочастотный пресс макаронных изделий / В.С. Иванов // Материалы междунар. науч.-практич. Конф. «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». – Йошкар-Ола: Марийский ГУ, 2012. – Вып. 14. – С. 141-143.

29. Романчиков С.А. Устройство для ультразвуковой ускоренной сушки макаронных изделий в поле инфракрасного излучения / С.А. Романчиков // Ползуновский вестник. – 2018. – № 1. – С. 70-76.

30. Самарин, Г.Н. Альтернативные методы первичной обработки молока / Г.Н. Самарин, В.А. Шилин, Е.В. Шилин // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С.42-49.

31. Смирнова, И.В. Применение ультразвука в спиртовой промышленности / И.В. Смирнова, А.Н. Кречетникова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2004. – № 2. – С. 37-38.

32. Трифонова, Д.О. Разработка технологии вкусоароматических эмульсий для производства колбасных изделий на основе применения ультразвука : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.О. Трифонова. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова, 2008. – 25 с.

33. Демченко В.А. Влияние сонохимического воздействия на продолжительность хранения свежеевыжатых соков / В.А. Демченко, Д.Ф. Зикруллаев, И.В. Асфондырова, В.В. Назарова // Новые технологии. - 2019. – № 1. – С. 37-46.

34. Ashokkumar M. New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel / M. Ashokkumar, O. Krasulya, S. Shestakov, R. Rink // Applied Physics Research. - 2012. - Vol. 4. - No. 1. - P. 19-29.

35. Maison R. A brief history of the application of ultrasonics in food processing / R. Maison, K. Knoerzer // 19-th ICA Congress, Madrid, 2007. – 68 p.

Статья поступила в редакцию 13.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 007.3.

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0021

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНАХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

©Автор(ы) 2022

SPIN:3913-7751

AuthorID: 586844

ORCID: 0000-0002-2407-5061

МОТОРЫГИН Юрий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: fire-risk@mail.ru)*

SPIN: 2838-2550

AuthorID:634849

ORCID: 0000-0002-7149-8489

КУВАТОВ Валерий Ильич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: kyb.valery@yandex.ru)*

ORCID: 0000-0001-9106-8251

НАМЧЫЛ Луиза Кыргысовна, аспирант кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: fire-risk3@mail.ru)*

ORCID: 0000-0002-9676-822X

ВЕДЗИЖЕВ Магомед Иссаевич, аспирант кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: mi.pro90@mail.ru)*

Аннотация. Не смотря на развитие возобновляемых источников энергии, основным энергоносителем продолжает оставаться нефть. При транспортировке нефти и нефтепродуктов возникают аварийные ситуации, сопровождающиеся разливами и утечкой опасных грузов. Это приводит к загрязнению окружающей среды. Критерии, по которым происходит оценка чрезвычайной ситуации, довольно противоречивы. Если крупные чрезвычайные ситуации выявляются оперативным контролем и мониторингом, то для анализа постепенного и остаточного накопления нефтепродуктов в почве требуется система долгосрочных прогнозов. Большое количество факторов, влияющих на окружающую среду при долгосрочном загрязнении нефтепродуктами, имеет большое количество параметров таковых, что адекватную детерминированную модель создать невозможно. Широко используемый коэффициент предельно-допустимой концентрации вредных веществ (ПДК) не всегда дает нужную информацию. Особенно это проявляется при математическом моделировании долгосрочных загрязнений почвы нефтью и нефтепродуктами. Во многом на процессы моделирования влияет выбранная система взаимодействия человека с окружающей средой. В работе предложена стохастическая модель возникновения и развития чрезвычайных ситуаций, позволяющая принимать решения по управлению экологической обстановкой в районах нефтяных загрязнений.

Ключевые слова: управление, принятие решений, чрезвычайные ситуации, мониторинг, транспортировка нефти, цепи Маркова, стохастические модели, экологическая обстановка.

FEATURES OF MANAGEMENT AND DECISION-MAKING IN CASE OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATIONS IN AREAS OF OIL POLLUTION

© The Author(s) 2022

MOTORYGIN Yury Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of Criminalistics and Engineering-Technical Expertise**KUVATOV Valery Ilyich**, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of System Analysis and Crisis Management**NAMCHYL Louise Kyrgysovna**, graduate student of the Department
of Criminalistics and Engineering-Technical Expertise**VEDZIZHEV Magomed Issaevich**, graduate student of the Department
of Criminalistics and Engineering-Technical Expertise*St. Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia
(196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149, e-mails: fire-risk@mail.ru, kyb.valery@yandex.ru, mi.pro90@mail.ru)*

Abstract. Despite the development of renewable energy sources, oil continues to be the main energy source. When transporting oil and petroleum products, emergency situations occur, accompanied by spills and leakage of dangerous

goods. This leads to environmental pollution. The criteria by which an emergency assessment occurs are quite contradictory. If major emergencies are identified by operational monitoring and monitoring, a long-term forecast system is required to analyze the gradual and residual accumulation of petroleum products in the soil. A large number of factors affecting the environment in the event of long-term pollution of petroleum products have a large number of such parameters that an adequate deterministic model cannot be created. The widely used maximum permissible concentration of harmful substances does not always provide the necessary information. This is especially evident in mathematical modeling of long-term soil contamination with oil and petroleum products. In many ways, the modeling processes are influenced by the selected system of human interaction with the environment. The work proposes a stochastic model for the occurrence and development of emergencies, which allows making decisions on managing the environmental situation in areas of oil pollution.

Keywords: management, decision-making, emergency situations, monitoring, oil transportation, Markov chains, stochastic models, environmental situation.

Для цитирования: Моторыгин Ю.Д. Особенности управления и принятия решений при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций в районах нефтяных загрязнений / Ю.Д. Моторыгин, В.И. Куватов, Л.К. Намчыл, М.И. Ведзигжев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 137-142. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0021.

Введение. Россия является одной из основных нефтедобывающих стран. Современная доставка нефтепродуктов потребителям осуществляется рядом способов, к которым относятся водный, железнодорожный, автомобильный транспорт и, наиболее характерная для нашей страны, система трубопроводов. К сожалению, транспортировка нефтепродуктов сопровождается авариями, проливами и утечкой опасных грузов. Это приводит к негативным последствиям, что ухудшает экологическую обстановку местности и может способствовать возникновению пожаров.

Для оценки воздействия на природные, природно-антропогенные и антропогенные объекты существуют нормативы допустимых воздействий аварийных выбросов нефтепродуктов на окружающую среду. Еще в 1996 году появилось постановление Правительства №1094 «Положение о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [1-4], формулирующее и закрепляющее классификацию ЧС. Сейчас для оценки чрезвычайных ситуаций существует постановление Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 2451, в котором приведены данные по оценке критериев аварийного разлива нефтепродуктов и нефти. Критерий идентификации чрезвычайных ситуаций для почвы определен как 100 тонн при локальных чрезвычайных ситуациях. Для местной ЧС такой критерий составляет 500 тонн, для территориальной 1000 тонн, 5000 тонн – для региональной и для ЧС федерального масштаба – более 5000 тонн [1, 4, 5].

Классической величиной оценки антропогенного загрязнения местности является величина химического загрязнения. Для оценки этой величины используют коэффициент предельно допустимой концентрации вредных веществ (ПДК). ПДК определяется для каждой среды (почвы, атмосферного воздуха, воды и т. п.) эмпирическим путем.

Однако для долговременной оценки загрязненной территории применение коэффициента предельно допустимой концентрации вредных веществ не всегда оправдано. Поэтому для определения концентрации

содержания нефти и нефтепродуктов в почве современные научные школы предлагают ввести величину ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) [6-9]. Для оценки уровня ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) нефти и нефтепродуктов в исследуемых почвах используется способность почвы восстанавливать свою продуктивность в течение определенного времени. В настоящее время за такой промежуток времени выбран один год. Если самоочищения почвы в течении года не происходит, то считается, что такая концентрация нефти уже не даст возможности экологической системе самостоятельно осуществить восстановление до приемлемого предела. При этом будет продолжаться постоянное устойчивое негативное влияние загрязнения на элементы природной среды, включая почвенный покров.

Эта величина является пределом потенциала самоочищения почвы.

Методология. Введение единого показателя ориентировочно допустимой концентрации для всех типов почв невозможно. Это объясняется большим количеством и разнообразием почвенного покрова в России и при одной и той же концентрации загрязнения самоочистка будет происходить неодинаково. Реакцию биогеоценоза на различные содержания нефти в почвах в каждой из исследуемых территорий устанавливается только эмпирическим путем [2, 9, 10, 11]. При этом исследование различных территорий рекомендуется проводить в определенном порядке в зависимости от особенностей исследуемой местности. Применение системного подхода для исследования характера взаимодействия человека с окружающей средой весьма актуально [2, 9].

Использование системного анализа для наиболее полного описания воздействия чрезвычайных ситуаций (разлива нефтепродуктов) не дали положительного результата. Природная экосистема имеет сложную структуру и сложное взаимодействие между ее основными элементами. Поэтому не только сама математическая модель, но и ее структурные изображения в виде блок-схемы не дают простого решения про-

блемы. Полученные формализованные структуры только усложняют и запутывают понимание процессов загрязнения и самоочистки почвы [12-14].

Известно, что при математическом моделировании часто используют детерминированные модели, с помощью которых описывают исследуемые процессы. Однако биологические параметры почвенных покрытий, из которых формируется математическая модель, не могут быть получены эмпирическими исследованиями [2, 15, 16]. Экспериментальные исследования экологических процессов осложняются их длительностью. Поэтому математическое моделирование становится необходимым инструментом в природопользовании и управлении природными ресурсами, а также в изучении экологии. Однако адекватную детерминированную модель создать невозможно. Поэтому в работе предложена стохастическая модель, основанная на применении теории конечных цепей Маркова. Предложенная стохастическая модель дает возможность оценить степень ЧС. Использование марковской модели позволяет принимать решения по ее локализации. Сам процесс принятия решений основан на конечном числе состояний рассматриваемой системы, а вероят-

ность переходов между этими состояниями представляет собой матрицу вероятностей перехода, которая и описывает дискретную цепь Маркова [14-17].

Результаты. Проведенный анализ позволил сформулировать основную схему взаимодействия человека и окружающей среды, которая представлена на рисунке 1.

В основе системы лежит долговременный мониторинг экологической обстановки в районе потенциальной опасности нефтяного загрязнения. В каждом конкретном месте используются конкретные методы наблюдения. Эти методы позволяют получать конкретные параметры, анализ которых позволяет идентифицировать степень загрязнения и экологическую безопасность объекта. Для сбора информации могут быть использованы как автоматические, так и автоматизированные системы.

На втором этапе проводится ситуационный анализ предпосылки возникновения ЧС. При этом используются математические модели, позволяющие анализировать и прогнозировать текущую ситуацию. Адекватность полученных результатов будет зависеть от моделирования.

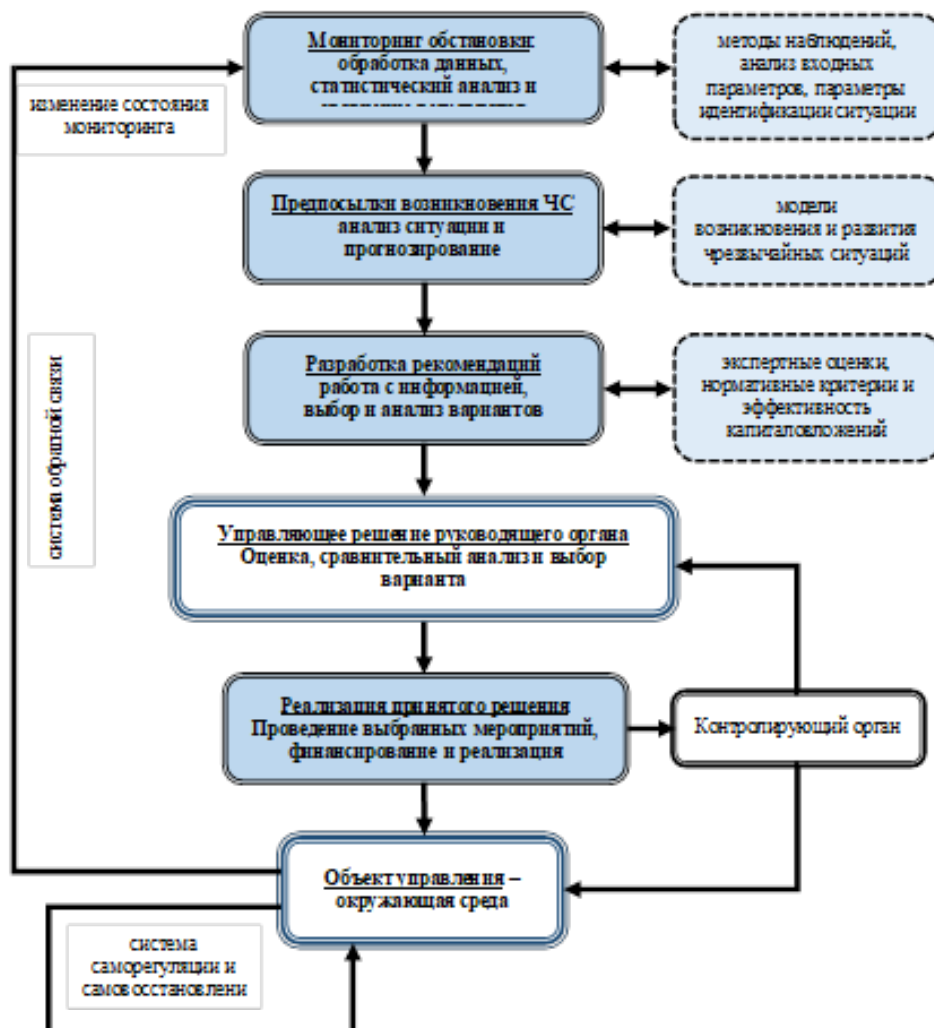


Рисунок 1 – Основная схема взаимодействия человека и окружающей среды

Для анализа изменений в окружающей среде использован метод динамического программирования. Процесс выбора вариантов управления, из совокупности всех стохастических решений, описывается конечным числом переходных состояний цепи Маркова [10,11,18,19]. Матрица вознаграждений, коэффициенты которой соответствуют коэффициентам марковской цепи, определяет величину дохода при переходе из одного состояния в другое. Совокупность матрицы доходов и матрицы вероятностей перехода выявляет набор управленческих решений, на основании которых формируется основное принимаемое решение. Конечным результатом является формирование стратегии, основанной на получении информации. На основании полученной информации выбираются модели, позволяющие принять оптимальное решение при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций с нефтяными загрязнениями территорий.

Выбор и анализ возможных вариантов развития и возникновения экологической и пожароопасной ситуации на исследуемом объекте происходит на следующем этапе. Полученные на первом этапе результаты будут основой для формирования управляющего решения. При этом могут быть использованы экспертные оценки ситуации, нормативные и технические критерии. Это все будет влиять на эффективность капиталовложений в данной конкретной ситуации. Решение поставленной математической задачи является завершающим этапом математического анализа. Растут и требования к полученным результатам.

Рассмотрим экологическую систему, в которой выбраны три основных состояния разной степени загрязнения почвы нефтепродуктами [11, 12, 20, 21]:

1. Состояние удовлетворительной концентрации загрязнения почвы нефтепродуктами (менее ПДК).
2. Содержание нефтепродуктов в почве на пределе возникновения ЧС (ПДК в диапазоне (1,1-12)).
3. Возникновение ЧС (ПДК в диапазоне (12,1-22)).

При долгосрочном прогнозе, в соответствии с рисунком 1, вероятность возникновения одного из трех состояний будет зависеть от состояния почвы, количества и концентрации нефтепродуктов. Эти данные будут получены по результатам обследования объекта и лабораторным анализам. Для анализа площади загрязнения используются методы экологического мониторинга. При этом должна быть решена задача, будет ли воздействие экологического характера иметь конечное число этапов или бесконечное. При этом оптимальность принятого решения будет зависеть от максимизации ожидаемых доходов.

Рассматриваются следующие варианты. Принятые экологические решения приведут к тому, что экологическое состояние рассматриваемого объекта в следующем периоде не изменится. Во втором случае система перейдет в состояние нефтяного загрязнения, но без создания ЧС. Третий же случай экологического состояния объекта будет соответствовать ЧС.

Это соответствует Марковской цепи событий из трех состояний S_1, S_2 и S_3 , сумма которых равна 1.

Матрица перехода:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}$$

Для ликвидации выброса нефтепродуктов приходится расходовать определенные средства, позволяющие ликвидировать последствия аварии. Для оценки затрат в денежном эквиваленте введем матрицу R , связанную с переходной матрицей [2, 8, 13].

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Экологическое решение нацелено на максимизацию предполагаемого дохода.

Приняв $fn(i)$ за оптимальный ожидаемый доход, который можно получить на каждом из периодов мониторинга от 1 до N включительно, получим обратное рекуррентное уравнение, связывающее f_n и f_{n+1} и которое можно будет записать в виде

$$F_n(i) = \max \left\{ \sum_{j=1}^m p_{ij}^k [r_{ij}^k + f_{n+1}(j)] \right\},$$

где $n=1, 2, \dots, N, f_{n+1}(i) \equiv 0$ для всех j .

Это полученное соотношение можно рассматривать при условии, что накапливающийся доход $[r_{ij}^k + f_{n+1}(j)]$ будет только при переходе из состояния i на этапе n в состояние j на этапе $n+1$ с вероятностью p_{ij}^k . В случае:

$$v_i^k = \sum_{j=1}^m p_{ij}^k r_{ij}^k,$$

то рекуррентное уравнение примет вид:

$$f_N(i) = \max(v_j^k),$$

$$f_n(i) = \max \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^m p_{ij}^k f_{n+1}(j) \right\}, n=1,2,\dots,N-1$$

Для значений $k=1$ – деньги в экологию не вкладываются, и $k=2$ – принято решение заниматься максимальным предотвращением разлива нефти и нефтепродуктов.

Тогда

$$p^1 = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,3 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad R^1 = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 3 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$p^2 = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0,1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,05 & 0,4 & 0,55 \end{pmatrix}, \quad R^2 = \begin{pmatrix} 6 & 5 & -1 \\ 7 & 4 & 0 \\ 6 & 3 & -2 \end{pmatrix}.$$

Результаты проведенных расчетов сведены в таблицу. Из результатов, приведенных в таблице 1, видно, что в первый и второй периоды, не зависимо от состояния почвы, следует вкладывать средства в экономическую безопасность района с вероятностным возникновением ЧС в результате аварийного разлива нефтепродуктов. В третий период

следует проводить экономические вложения только тогда, когда содержание нефтепродуктов в почве на

пределе возникновения ЧС (в диапазоне 1,1-12 ПДК) или произошло возникновение ЧС.

Таблица 1 – Результаты проведенных расчетов

Периоды наблюдений	J	V_i^k		fl(i)	Оптимальное решение k
		k=1	k=2		
1	1	10,38	10,74	10,74	2
	2	6,87	7,92	7,92	2
	3	1,13	4,23	4,23	2
2	1	8,03	8,19	8,19	2
	2	4,75	5,51	5,51	2
	3	-0,6	2,13	2,13	2
3	1	5,3	4,7	5,3	1
	2	3	3,1	3,1	2
	3	-1	0,4	0,4	2

Обсуждение. Использование для оценки экологической обстановки в районах возможного разлива нефти и нефтепродуктов известных метода «контрольных районов» и эмпирических методов являются неэффективным и трудоемким. При этом трудно получить часто требуемую точность [2, 6, 21].

Предложенная модель принятия решения, основанная на использовании управляемых цепей Маркова с доходом [8, 9, 13], наиболее эффективна для анализа экологической обстановки при возникновении ЧС.

Объединение, с помощью данной модели, прогнозирования возникновения и развития ЧС с экономической оценкой ситуации повышает возможности принятия оптимальных решений в условиях сложной экологической обстановки вообще, и в районах разлива нефтепродуктов в частности.

Возможно аналогичное моделирование задачи принятия решения с конечным и бесконечным числом этапов. При этом не требуется, чтобы переходные вероятности и функции дохода были одинаковы для каждого года. Подобные задачи принятия решения решаются с помощью линейного программирования.

Выводы. Проведен анализ особенностей управления и принятия решений при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефтепродуктов на объектах нефтегазового комплекса. На основе системного анализа разработана система взаимодействия человека с окружающей средой, позволяющая принимать оптимальные долгосрочные решения по экологической и пожарной безопасности в районах возможного разлива нефти и нефтепродуктов. Разработана описательная модель мониторинга возникновения и развития ЧС в районах с нефтяным загрязнением на основе стохастических марковских процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Бардин И.В., Моторыгин Ю.Д., Галишев М.А. Прогнозирование ситуаций и оптимизации принятия решений по улучшению экологической обстановки в районах с нефтяным загрязнением на основе конечных цепей Маркова. // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 1-2 (9-10). С. 32-39.
- Пожары и пожарная безопасность в 2020 году. Статистический сборник. / Под общ.ред. Н.П.Копылова. - М.: ВНИИПО, 2021. - 135 с.

- Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Motorygin Y.D., Maximov A.V., Trofimets E.N., Trofimets V.Y., Artamonov V.S. // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. Т. 6. № 4. С. 1956-1964.

- Оценка промышленной безопасности на нефтяных месторождениях (на примере Ханты Мансийского автономного округа) / А.А. Рядинский, Л.А. Казанцева // Культура и экология – основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики. Часть 1: материалы международного форума - Екатеринбург: УрФУ, 2018. С. 124-127.

- Повышение безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом и охрана окружающей среды / В.Д. Катин, А.Н. Луценко. // Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. – 138 с.

- Сезонная динамика накопления нефтепродуктов в поверхностных водоемах Ханты-Мансийского района / С.Н. Русак, М.И. Куриленко, Т.И. Хоменюшко, М.И. Куропаткина // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. – № 4. – С. 51-58.

- Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / Vilkov V.B., Chernykh A.K., Nefed'Yev S.A., Motorygin Y.D., Gromov V.N., Komashinskiy V.I. // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Т. 9. № 1. С. 676-687.

- Пожароопасное состояние почвенного покрова на объектах нефтегазового комплекса: прогнозирование и предотвращение угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций / Бардин И.В., Моторыгин Ю.Д., Шарапов С.В., Кононов С.И. // Пожарная безопасность. 2010. № 1. С. 102-107.

- Система управления спасательными формированиями при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций гидрологического характера / Калач А.В., Зыбин Д.Г., Арифиллин Е.З., Моторыгин Ю.Д., Актерский Ю.Е. // Санкт-Петербург; Воронеж, 2018. – 126 с.

- Jamroz, K. Trans-Risk method of integrated risk management in the transport / K. Jamroz // Journal KONBIN. – 2010. – Т. 13. № 1. – Р. 209–220.

- Оценка опасных факторов пожара на объектах со строительными материалами из древесины / Косенко Д.С., Баранова Я.А., Моторыгин Ю.Д. // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2013. № 2. С. 5-11.

- Литовченко И.О., Моторыгин Ю.Д., Гречуха Н.М. Процесс управления и принятия решения стохастическими методами в условиях чрезвычайных ситуаций. // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2016. - № 4. С. 144-150.

- Моделирование процессов развития горения пожарной нагрузки с помощью конечных цепей Маркова / Подрезова А.И., Ловчиков В.А., Моторыгин Ю.Д., Пешков И.А. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 3. С. 176-179.

- Addressing vulnerability through an integrated approach / David McEntire, Colin Gilmore Crocker, Ekong Peters // International Journal of Disaster in an artificial environment. – 2010.

– Vol. 1 ISS: 1. P. 50–64.

15. Erkut, E. Modeling of transport risk for hazardous materials / E. Erkut, B. Werther // Operations Research. – 1998. – Т. 46. № 5. – P. 625–642.

16. Reducing the Risk of Rail Transport of Hazardous Materials by Route Rationalization. 87th Transportation Research Board Annual Meeting / Kawprasert & Barkan // TRB. Washington, del. 13 al 17 January 2008. (Conference Contributions – Full conference papers).

17. Creativity in emergency response to the world trade center disaster. Beyond September 11th: An Account of Post-Disaster Research / J.M. Kendra, T. Wachtendorf // Special Publication #39. Public Entity Risk Institute. – Fairfax, VA., 2003. – 218 p.

18. Using GIS in risk analysis: a case study analysis of hazardous waste transport / A.A. Lovett, J.P. Parfitt, J.S. Brainard // Risk. – 1997. – Т. 17. № 5. – P. 625–633.

19. Risk assessment and management: a road network reliability study / A. Nicholson, E. Dalziel // Transport Network Reliability. Proceedings of the 1st International Symposium on Transport Network Reliability (Instr). – 2003. – 245 p.

20. Sugarman, Barry. A learning-based approach to organizational change: some results and uidelines // Organizational Dynamics. 2001. – Pergamon. – P. 62–75.

21. Управляемые цепи Маркова в экономике (дискретные цепи Маркова с доходом): Учебник – Москва: ИНФА-М. 2022 – 158 с.

Статья поступила в редакцию 25.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.841.2.001.2

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0022

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВРЕЖДЁННЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПРОЦЕССАХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ

© Автор(ы) 2022

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 – относительно молодой материал, так как он был открыт и назван в 1808 году, и все же сегодня объем его производства превышает объем производства всех других цветных металлов вместе взятых. Он ковкий и пластичный, а его температура плавления равна 660°C и является одной из самых низких среди металлов. С развитием экономики и повышением уровня жизни людей потребность и спрос на электроэнергию становятся больше, чем раньше. Между тем, количество пожаров, вызванных электрическими неисправностями, соответственно увеличивается, что приводит к катастрофическим жертвам и материальным потерям. Широкое применение алюминия, способствует обширным исследованиям, учитывая, что свойства алюминиевых проводников значительно ухудшаются при повышенных температурах. Плохой контакт и короткое замыкание алюминиевых проводников занимают высокую долю среди всех электрических причин, которые могли привести к возникновению пожары, поэтому чрезвычайно важно выяснить, были ли причины пожара связаны с алюминиевыми проводниками. В данной статье представлены области применения алюминия и исследование поврежденных алюминиевых проводников после пожара. Метод сканирующей электронной микроскопии использовался для наблюдения, сравнения и анализа морфологии поверхности алюминиевых проводников. В результате анализа и обсуждения было обнаружено, что морфологические характеристики на поверхностях проводников образовавшиеся до пожара, значительно различаются, от морфологии, которая образовались после пожара. Основываясь на этих характеристиках, можно определить состояние электрооборудования и сделать вывод о том, был ли пожар вызван электрооборудованием. Этот вывод может обеспечить надежную основу для более точного определения причины электрических пожаров.

Ключевые слова: алюминий, алюминиевые проводники, исследования, пожар, пожарно-техническая экспертиза, сканирующая электронная микроскопия.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF ALUMINUM CONDUCTORS DAMAGED DURING ELECTRIC ARC PROCESSES

© The Author(s) 2022

МОКРЯК Anna Vasievna, 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 is a relatively young material, since it was discovered and named in 1808, and yet today its production volume exceeds that of all other non-ferrous metals combined. It is malleable and ductile, and its melting point is 660 °C and is one of the lowest among metals. With the development of the economy and an increase in the standard of living of people, the need and demand for electricity are becoming greater than before. Meanwhile, the number of fires caused by electrical faults increases accordingly, which leads to catastrophic casualties and material losses. The widespread use of aluminum contributes to extensive research, given that the properties of aluminum conductors deteriorate significantly at elevated temperatures. Poor contact and short-circuit of aluminum conductors occupy a high proportion among all electrical causes that could lead to fires, so it is extremely important to find out whether the causes of the fire were related to aluminum conductors. This article presents the application areas of aluminum and the study of damaged aluminum conductors after a fire. The scanning electron microscopy method was used to observe, compare and analyze the surface morphology of aluminum conductors. As a result of the analysis and discussion, it was found that the morphological characteristics on the surfaces of the conductors formed before the fire differ significantly from the morphology that formed after the fire. Based on these characteristics, it is possible to determine the condition of electrical equipment and conclude whether the fire was caused by electrical equipment. This conclusion can provide a reliable basis for more accurate determination of the cause of electrical fires.

Keywords: Aluminum, aluminum conductors, research, fire, fire technical expertise scanning electron microscopy.

Для цитирования: Мокряк А.В. Морфологические особенности поврежденных при электродуговых процессах алюминиевых проводников / А.В. Мокряк // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 143-147. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0022.

Введение. Одним из основных преимуществ алюминия является его меньшая плотность, которая составляет $2,7 \text{ г/см}^3$, по сравнению с медью, обладающей плотностью $8,93 \text{ г/см}^3$. Еще одним преимуществом алюминия является его более низкая стоимость по сравнению с медью.

Алюминий используется для производства токопроводящих жил, являющихся частью воздушных линий электропередач и силовых кабелей. Например, в настоящее время популярность приобрели так называемые самонесущие изолированные провода, жила которых выполнена из алюминия. Их используют для кабелей линий электропередач, ввода питания в жилые дома и хозяйственные постройки, а также прокладку по стенам зданий и сооружений.

Из алюминия могут быть выполнены токопроводящие шины и кабельные наконечники. В последнее время алюминий всё чаще стал применяться в производстве проводников, используемых в бортовой электросети автотранспортных средств для силовых цепей. В частности, из него выполняют силовые кабели, соединяющие аккумулятор генератора автомобиля, а также проводка к электропотребителям. Алюминий также используется в качестве основного металла в многопроволочных жилах, покрываемых медью [1, 10-14]. Это удешевляет их производство, но очевидно при этом вносит определенный вклад в повышение пожарной опасности такого рода электрических объектов. Известно, что алюминиевый проводник, по сравнению с медным проводником, при равных сечениях может пропускать через себя без опасного нагрева гораздо меньшие токи [8-9, 15,18]. Например, для соединения электропотребителей в автомобилях используется гибкий многопроволочный провод марки ПГВА, который должен быть выполнен из меди. Однако зачастую данные проводники сделаны из алюминия покрытым медью. Внешне такие провода ничем не отличаются от медных – они тоже гибкие и имеют красно-жёлтый цвет. Тем не менее такие материалы вносят определенные особенности в экспертное исследование электротехнических изделий, выполненных из них.

Целью данной работы было рассмотрение области применения алюминия и исследование поврежденных алюминиевых проводников после пожара методом сканирующей электронной микроскопии.

Методология. Исследование после пожара алюминиевых проводников, а также других алюминиевых токоведущих изделий, имеет целый ряд своих специфических особенностей. Во-первых, это относительно низкая температура плавления алюминия, которая составляет величину порядка 660°C . Такая температура плавления достаточно легко достижима практически на любом пожаре, а значит алюминиевые проводники, на которых потенциально могли сформироваться кри-

миналистически значимые следы и признаки, будут с большой долей вероятности расплавлены вторичным тепловым воздействием.

Наиболее информативным и эффективным методом исследования алюминия является сканирующий электронный микроскоп, который обладает преимуществами высокого разрешения и возможность наблюдать морфологию очень мелких образцов не подвергая их предварительной пробоподготовки, как например для подготовки металлографических образцов, и не разрушая их.

В данной статье использовался сканирующий электронный микроскоп *Tescan VEGA\XMU* с вольфрамовым катодом и высоким вакуумом в камере при увеличениях до 2000х.

Условия проведения анализа:

- ток зонда: 2 пА – 40 нА;
- режим высокого вакуума;
- ускоряющее напряжение: 20 кВ;
- рабочее расстояние: 23 – 50 мм.

Результаты. Анализ методом сканирующей электронной микроскопии оплавлений, образовавшихся в результате электрической дуги КЗ, дает возможность выявить на их поверхности определенные следы.

На рисунке 1 показана поверхность оплавленных алюминиевых жил. На снимках при увеличении более 1000 крат хорошо наблюдаются кратеры или лунки, представляющие собой локальные несквозные шарообразные углубления в поверхности металла. Также могут присутствовать мелкие шарообразные частицы диаметром до одного миллиметра. На проводах формируются следы от разбрызгивания металла при коротком замыкании [2-7].

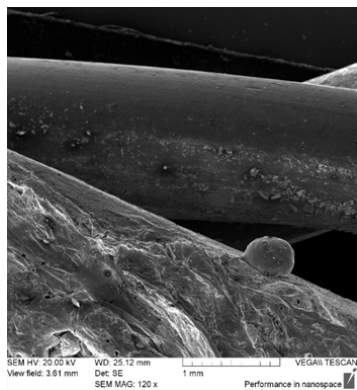
Морфология поверхности алюминиевого проводника покрытого медью, при анализе методом сканирующей электронной микроскопии выглядит так, как показано на рисунке 2.

При увеличениях до 500 крат наблюдается «сетка», представляющая собой соединение меди, алюминия и кислорода. Примерное соотношение химических элементов на поверхности оплавления: алюминий – 70%, медь – 15%, кислород – 15%. Внутри оплавления соотношение указанных химических элементов иное: алюминий – 60%, медь – 10 %, кислород – 30% [16, 17, 19].

При больших увеличениях (2000 крат) тонкая структура тоже выглядит как «сетка» только с меньшим размером «ячеек».

При 4000 крат присутствует пластинчатая структура оксида Al_2O_3 , размер пластинок менее 1 мкм в поперечнике.

На поверхности не расплавленной части омедненного алюминиевого проводника присутствуют множественные лунки диаметром от 1 до 20 мкм (рис. 3).



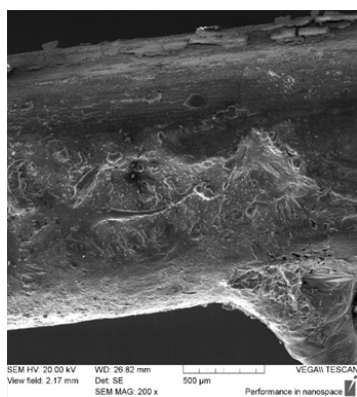
а) Шарообразная частица и наплывы на поверхности, 120x



б) Кратеры на поверхности, 996x

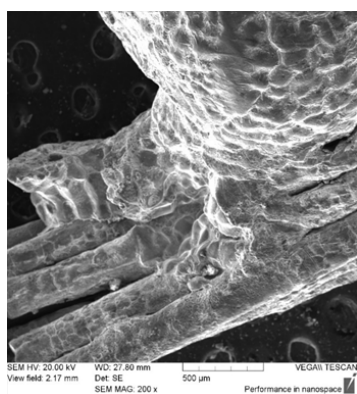


в) Наплывы на поверхности проводника, 100x

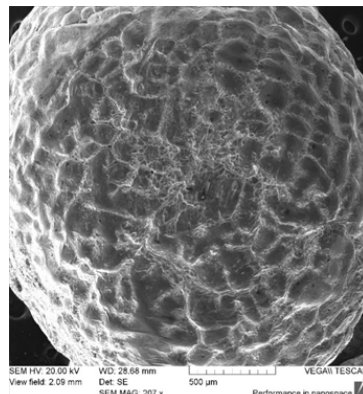


г) Наплывы, 200x

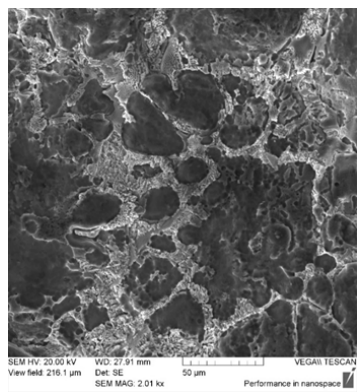
Рисунок 1 – Характерные повреждения алюминиевых жил, наблюдаемые методом сканирующей электронной микроскопии, при электродуговом процессе короткого замыкания



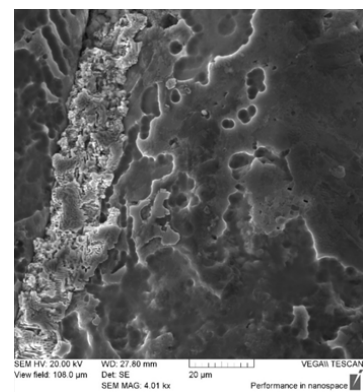
200x



207x

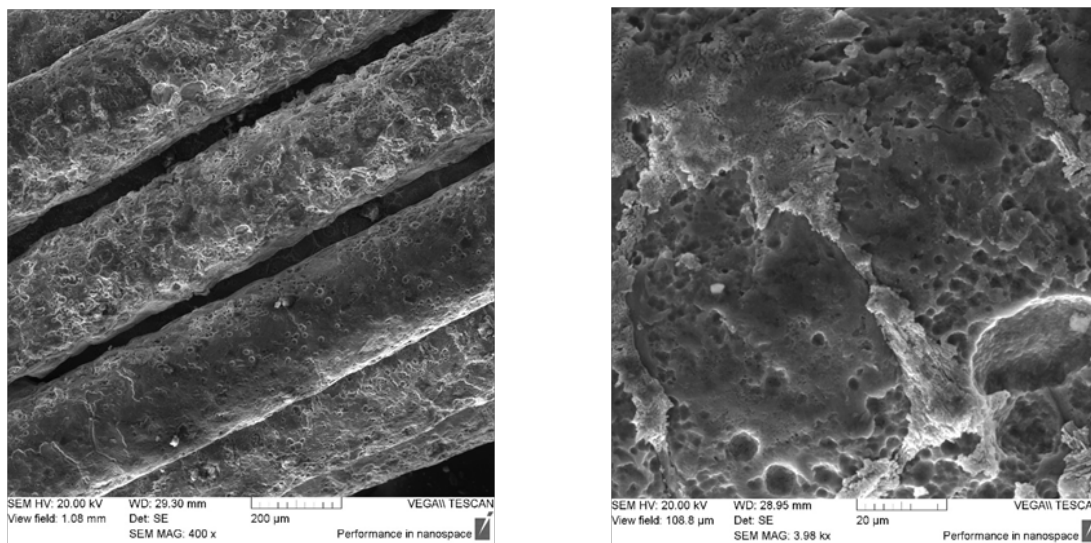


2000x



4000x

Рисунок 2 – Морфология поверхности оплавленных участков омедненных алюминиевых проводников, вызванных внешним тепловым воздействием, СЭМ



400x

Рисунок 3 – Морфология поверхности омедненных алюминиевых проводников, при вызванном внешнем тепловом воздействии, СЭМ

Обсуждение. В результате проведенного исследования обнаружено, что когда в проводнике происходит короткое замыкание, напряжение проникает в воздух и разряжается, образуя дугу. Короткое замыкание образуется в результате мгновенного высокотемпературного плавления дуги. Поскольку температура дуги превышает 2000°C, она намного больше точки плавления алюминия, поэтому алюминий быстро плавится под действием электрической дуги и даже частично испаряется. Под действием электрической дуги частично расплавленный металл выплескивается наружу, образуя следы наплава, кратеры и лунки, а частично расплавленный металл образует следы расплава после затвердевания. Поскольку дуга быстро гаснет, время воздействия высокой температуры очень короткое. Высокая температура, создаваемая дугой, может воздействовать на алюминий, вблизи точки короткого замыкания. После дуги, расплавленный алюминий быстро охлаждается. Таким образом, процесс образования следов расплава при коротком замыкании характеризуется высокой скоростью охлаждения и малым диапазоном плавления.

Выводы. При нормальном использовании алюминиевых проводников, морфологические признаки, которые образуются в результате электродуговых процессов значительно отличается от морфологических признаков, которые образуются от тепла пожара. Наблюдение с помощью сканирующего электронного микроскопа может показать, были ли причины пожара связаны с алюминиевыми проводниками. Таким образом, по результатам проведенных исследований рассмотренные случаи применение сканирующей электронной микроскопии при исследовании повреждённых при электродуговых процессах алюминиевых проводников, показал ряд преимуществ, и позволяет определить морфологию

повреждений. Практика доказала, что метод микроскопического морфологического анализа обладает характеристиками точности и скорости и может быть использована в качестве эффективного и надежного технического метода для выявления причины пожара. Полученные результаты можно отнести к криминалистически значимой информации и могут быть использованы при проведении пожарно-технических исследований алюминиевых проводников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Россинская Е.Р., Степанов Б.В., Сандлер В.С. Влияние нагрева электрическим током и внешнего нагрева на структуру алюминиевого провода // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1990, № 8. – С. 61–63.
2. 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.
3. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. – 328 с.
4. Мокряк А.Ю., Мокряк А.В. Исследование металлургических и электротехнических объектов судебной пожарно-технической экспертизы: монография / под общей редакцией Б.В. Гавкалюка – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. – 212 с.
5. 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.
6. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия. : Техносфера, 2008. - 232 с
7. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. —632 с.
8. Мокряк А.Ю. Возможности сканирующей электронной микроскопии при выявлении следов больших переходных сопротивлений в контактных узлах электрооборудования / А.Ю. Мокряк, А.В. Мокряк, Р.Н. Акимов // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2022. – № 2-1(116). – С. 44-49.
9. Тихонова И.В., Кузовлева О.В., Роот 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.

10. Mokryak A. Yu., Mokryak A. V., Skodtaev S. V., Safonova T. V. Determination of the Causes of Copper Wires Beads after Fire in Vehicles // Materials Science Forum : Selected peer-reviewed full text papers, Krasnoyarsk, 29–31 июля 2021 года / International and Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Siberian Scientific Centre DNIT; Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. – Krasnoyarsk, Russian Federation.: Trans Tech Publications Ltd, 2022. – P. 311-316.

11. Гуржий, В.В. Дифференциация коротких замыканий медных и алюминиевых проводников / В. В. Гуржий, Е. О. Зинченко // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2018. – № 1(55). – С. 47-53.

12. 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.

13. Liu Su Jun, Gao Wei, Meng Qing Shan. Study on fire property of wire insulation and fire prevention methods of wires[J]. Electrical and Intelligent Buildings. 2006, 12:94-96. [5] Wang XiQing, Han Bao Yu, Di Man. G

14. Петров А.П., Махов С.В., Еремеев Н.В., Еремеев В.В. Аналитическое исследование возможности повышения теплопрочности алюминиевых сплавов // Авиационная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 10.

15. Семенов, А.В. Свойства материалов, применяемых в производстве электропроводки / А. В. Семенов // Проблемы науки. – 2021. – № 6(65). – С. 28-31.

16. Кошель Р.Я., Тырин Г.С., Малетина Н.С., Аполлонов И.А. Использование алюминиевых кабелей в электроснабжении жилых и общественных помещений // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 сентября 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 60-63.

17. Черкасов В.Н., Харламенков А.С. Почему в настоящее время медные проводники предпочтительнее алюминиевых? // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 7. – С. 76-77

18. 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., Редколлегия: Бирюков С.Ю., Кайргалиев Д.В.. – Москва: ООО "Перископ-Волга", 2018. – С. 260-272.

19. 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. – Vol. 187. – P. 108398. – DOI 10.1016/j.matdes.2019.108398.

Статья поступила в редакцию 29.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 54.061, 543.064

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0023

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОЗМОЖНОСТЬ
ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ
АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 4181-4737

AuthorID: 432595

ORCID: 0000-0002-1545-7607

СЕМЕНОВ Владимир Всеволодович, доктор технических наук,
профессор кафедры инженерной защиты окружающей среды

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
(190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 24-26/49, e-mail: semenovv50@yandex.ru)*

SPIN: 2144-4276

AuthorID: 708424

ORCID: 0000-0003-4651-8211

ResearcherID: L-1764-2013

ScopusID: 57442237000

ИВАХНЮК Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника НИИ

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149, e-mail: sgi78@mail.ru)*

ЛУГАВЦОВ Олег Валентинович, кандидат технических наук,

доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
(190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 24-26/49, e-mail: cnsr-lov@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрена проблематика, сопутствующая решению задач идентификации источников нефтяного загрязнения. Методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии исследован элементный состав трех образцов нефти различных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа в нативном виде и после ультрафиолетовой обработки, а также проба грунта, загрязненная нефтью. Проведенный комплекс экспериментальных исследований показал возможность использования примененного метода для идентификации измененных проб нефти и нефтяных загрязнений почв по содержанию в них примесей металлов. Указанный принцип предложено использовать для идентификации нефтепродуктов в составе интенсификаторов горения в рамках проведения судебных пожарно-технических экспертиз. Даны рекомендации по пробоотбору и пробоподготовке при исследовании образцов грунта, загрязненных нефтью. Предложен двухуровневый алгоритм определения источника загрязнения нефтью, учитывающий изменение характеристик проб нефти вследствие процессов деградации при попадании их в природную воду или почву. Представлены преимущества метода электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии по сравнению с методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой при его использовании для идентификации нефтей.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, источник загрязнения, идентификация нефтей, состав нефтей, деградация нефтяных углеводородов, временная трансформация, металлы-индикаторы, примеси металлов, пожарно-техническая экспертиза, интенсификаторы горения.

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON THE POSSIBILITY OF OIL
IDENTIFICATION BY THE METHOD OF ELECTROTHERMAL ATOMIC
ABSORPTION SPECTROMETRY**

© The Author(s) 2022

SEMENOV Vladimir Vsevolodovich, doctor of technical sciences,
professor of the department of engineering environmental protection

*St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)
(190013, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 24-26/49, e-mail: semenovv50@yandex.ru)*

IVAKHNYUK Sergey Grigorievich, candidate of technical sciences, deputy head of research institute

*Saint-Petersburg State Fire Service University of EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149, e-mail: sgi78@mail.ru)*

LUGAVTSOV Oleg Valentinovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of engineering environmental protection

*St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)
(190013, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 24-26/49, e-mail: cnsr-lov@mail.ru)*

Abstract. The article deals with the problems associated with solving the problems of identifying sources of oil

pollution. The method of electrothermal atomic absorption spectrometry was used to study the elemental composition of three samples of oil from various fields of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug in native form and after ultraviolet treatment, as well as soil samples contaminated with oil. The complex of experimental studies carried out showed the possibility of using the applied method for identifying altered samples of oil and oil contamination of soils by the content of metal impurities in oils. It is proposed to use this principle to identify oil products in the composition of combustion intensifiers in the framework of forensic fire investigation. Recommendations are given for sampling and sample preparation in the study of soil samples contaminated with oil. A two-level algorithm for determining the source of oil pollution is proposed, taking into account the change in the characteristics of oil samples due to degradation processes when they enter natural water or soil. The advantages of the method of electrothermal atomic absorption spectrometry in comparison with the method of inductively coupled plasma mass spectrometry when used to identify oils are presented.

Keywords: oil pollution, source of pollution, identification of oils, composition of oils, degradation of petroleum hydrocarbons, temporal transformation, tracer metals, metal impurities, forensic fire investigation, combustion intensifiers.

Для цитирования: Семенов В.В. Исследование влияния природных факторов на возможность идентификации нефтей методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии / В.В. Семенов, С.Г. Ивахнюк, О.В. Лугавцов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 148-153. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0023.

Введение. В ряду многочисленных поллютантов, попадающих в гидро-, атмо- и литосферу, происхождение которых в значительной мере обусловлено антропогенным фактором, нефть и нефтепродукты занимают особое место. Повседневная деятельность объектов нефтегазового комплекса, газообразные выбросы и сточные воды заводов промышленных предприятий, работа транспорта, разливы нефти и нефтепродуктов на промысловых и магистральных нефтепроводах, а также в результате аварий и инцидентов на нефтебазах и нефтеперегонных заводах приводят к загрязнению поверхностных, грунтовых и подземных вод, почв и воздуха значительными объемами нефти и продуктов ее переработки, чем наносят огромный ущерб экологии [1, 2].

Нефтяные загрязнения, попадающие в природные воды из перечисленных источников, имеют тенденцию к трансформации, причинами которой являются временная и биодegradация. При этом, если в поверхностных водах состав нефтей и нефтепродуктов под влиянием процессов физической, физико-химической и биологической природы изменяется достаточно быстро, то в подземных водах, наоборот, процессы их деградации замедлены [3].

В почвах нефть и нефтепродукты находятся в различных формах в зависимости от типа среды-носителя (пористая среда, трещины, поверхностный слой). Как свободные так и малоподвижные связанные формы нефтяных углеводородов эмитируют летучие соединения в атмосферу, а растворимые – в воду. В дальнейшем, в результате микробиологического воздействия нефть и нефтепродукты продолжают трансформироваться с образованием летучих и водорастворимых продуктов их метаболизма [4].

Ввиду отсутствия достоверных методов идентификации нефтяных углеводородов виновник загрязнений ими окружающей природной среды имеет возможность избежать ответственности. Необходимо отметить, что в целях настоящей статьи под идентификацией подразумевается установление тождества пробы нефти или нефтепродукта,

отобранной с места ее аварийного поступления в окружающую среду, и пробы из вероятного источника загрязнения.

Основной задачей работы являлось исследование влияния временной трансформации и солевого состава почв на возможность идентификации нефтей. Объектами исследования послужили образцы нефти и ее носители различных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), информация о которых приведена в таблице 1. Отобранные пробы нефти №№ 2, 4, 8 Лянторского, Красноленинского и Петелинского месторождений соответственно были зарезервированы для проведения комплексного исследования, результаты которого лягут в основу будущих публикаций. Нефтяной добычный район ХМАО был выбран в связи с характерным для него близким расположением друг к другу объектов бурения, а также существенным ежегодным масштабом добычи нефти [5, 6]. Указанные факторы негативно влияют на количество аварий на объектах нефтегазового комплекса и приводят к значительной эмиссии загрязнителей в окружающую среду [7, 8].

Таблица 1 – Пробы нефти и ее носители, отобранные для исследования в ХМАО

№ пробы	Месторождение	№ пробы	Месторождение
1	Алехинское	5	Трехозерное
3	грунт из района аварии / Алехинское	6	Приразломное
		7	Приобское

В качестве характеристических признаков для решения задач идентификации нефтяных загрязнений были выбраны сведения о содержании в нефтях примесей металлов [9]. Указанный подход успешно апробировался на нативных пробах сырой нефти при использовании в качестве аналитического метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) [10, 11]. Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что для идентификации источника нефтяного загрязнения природных вод и почвы в большинстве случаев достаточно использовать отношение C_V / C_{Np} , значение которого,

как будет показано далее, не зависит ни от временной трансформации нефти, ни от ее разбавления. Для более надежной идентификации необходимо использовать совместно различные методы статистической обработки.

Методология. В рамках данной работы изучался потенциал метода электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии (ЭТААС) в части определения содержания в нефтях примесей металлов. В целом метод атомно-абсорбционной спектроскопии является более универсальным по отношению к пробам различного типа (особенно это относится к пробам почвы и донных отложений), имеет более высокую чувствительность определения, является более прецизионным (особенно при определении фоновых концентраций металлов в природных водах и почвах), имеет больший объем научно-методических разработок (опирается на более мощную научно-методическую базу) [12, 13].

ЭТААС отличают низкие пределы обнаружения (0,1-1 мкг/дм³), высокая сходимости, воспроизводимость и правильность результатов измерения, что особенно необходимо при определении содержания примесей металлов в пробах загрязненных нефтью поверхностных вод суши и почв для надежного установления источника загрязнения [14, 15].

В качестве металлов-индикаторов были выбраны ванадий, никель и хром, что объясняется значительным присутствием их примесей в нефтях и низким фоном этих металлов у почвы и природных вод. Дополнительным преимуществом являлись одинаковые условия термообработки и атомизации при их измерениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии [16, 17].

Измерения выполнялись на атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией и зеемановской коррекцией фона фирмы Перкин-Элмер (модель *AAnalyst 800*). Использовались стандартные условия измерений, рекомендованные в инструкции по эксплуатации прибора. Применялись лампы с полым катодом фирмы Перкин-Элмер при рабочих токах, ипирографитовые печи с интегрированной платформой Львова типа *THGA*, аргон высокой чистоты в качестве защитного газа.

Правильность результатов измерения контролировалась методом стандартных добавок. Величина открываемости (отношение сигнала исследуемой пробы к сигналу стандартного раствора с одинаковыми концентрациями анализируемого элемента) для всех элементов составила около 100%. Полученный результат позволил сделать выводы о том, что происходит полная атомизация анализируемого элемента, т.е. отсутствуют значимые матричные влияния. Для повышения точности определения содержания металлов в нефтях анализировалось две параллельные пробы нефти для каждого месторождения. За окончательный результат принималось среднее значение.

Результаты и обсуждение. Для эксперименталь-

ной оценки влияния временной трансформации нефти на возможность идентификации нефтяных загрязнений была проведена специальная обработка проб нефти, имитирующая воздействие окружающей среды. Обработка заключалась в облучении проб нефти жестким ультрафиолетом (мощность лампы 1000 Вт) в течение 60 минут. При облучении пробы нефти располагались на расстоянии 40-50 см от лампы, температура поверхности пробы составляла примерно 90°C.

При такой обработке испаряются легкие фракции нефти, происходит частичное окисление органических веществ и другие реакции, которые изменяют вещественный состав нефти [18]. Однако, испарение легких фракций не должно приводить к изменению качественного состава металлических примесей, которые входят в состав тяжелых фракций (парафинов). При потере легких фракций нефти должно происходить некоторое концентрирование металлов, но соотношения между содержаниями различных металлических примесей должны сохраняться.

В таблицах 2 и 3 приведены результаты сравнительного исследования исходных и облученных УФ проб нефти №№ 5 -7 для двух параллельных измерений (присвоены индексы «-1» и «-2» к номеру пробы), в таблице 4 – результаты определения средних значений содержания примесей металлов в пробах, соотношения их концентраций и результаты статистической обработки измерительной информации.

Таблица 2 – Содержание примесей в пробах исходной нефти, мг/кг (10⁻⁴% массовых)

Элемент	Проба					
	5-1	5-2	6-1	6-2	7-1	7-2
V	5,9	5,0	20,0	23,0	28,5	31,1
Ni	4,0	4,1	6,2	6,3	8,7	9,9
Cr	5,0	4,0	5,3	5,7	4,3	4,9

Таблица 3 – Содержание примесей в пробах облученной нефти, мг/кг (10⁻⁴% массовых)

Элемент	Проба					
	5*-1	5*-2	6*-1	6*-2	7*-1	7*-2
V	6,2	6,8	36,8	34,5	44,5	50,1
Ni	4,5	4,7	9,7	9,1	12,2	13,1
Cr	5,6	5,4	8,8	9,2	5,9	6,5

Таблица 4 – Результаты статистической обработки результатов измерений содержания металлов в пробах исходной и облученной (*) нефтей

Параметр	Проба					
	5	5*	6	6*	7	7*
C _V	5,5	6,5	21,5	35,7	29,8	47,3
C _{Ni}	4,1	4,6	6,3	9,4	9,3	12,7
C _{Cr}	4,5	5,5	5,5	9,0	4,6	6,2
C _V /C _{Ni}	1,3	1,5	3,5	3,6	3,2	3,8
C _V /C _{Cr}	1,2	1,2	3,9	4,0	6,5	7,6
C _{Ni} /C _{Cr}	0,9	0,8	1,1	1,1	2,0	2,0
K _i	2,1	2,0	5,0	5,1	8,5	9,6

Как видно из таблиц, в результате УФ-облучения произошло некоторое концентрирование металлов

в нефтях (по всей вероятности, за счет испарения), однако соотношения между концентрациями примесей металлов в пробах остались практически прежними, в пределах погрешности определения. Таким образом, временная трансформация нефти не влияет на возможность идентификации нефтяных загрязнений по содержанию металлических примесей методом ЭТААС, если для определения идентичности проб используются отношения концентраций металлов.

Расхождения в отношениях концентраций любой пары металлов, для любой пары проб, исходной и облученной проб нефти одного месторождения не превышают 20%, а в среднем составляют 10%, что соответствует суммарной погрешности определения концентрации двух металлов для двух параллельных измерений. Однако, в данном эксперименте, несмотря на достаточно большую погрешность измерения, все пробы нефтей разных месторождений однозначно различаются и идентифицируются независимо от временной трансформации (облучения ультрафиолетом). Очевидно, что для большего количества параллельных измерений определение идентичных проб будет более точным. Для достижения необходимой точности, т.е. погрешности определения не более 10%, что соответствует порогу дискриминации при определении неидентичных проб [19], необходимо проведение измерений минимум для 4 параллельных проб.

Необходимо отметить, что, как видно из таблицы 4, использование одного критерия для идентификации источника нефтяного загрязнения явно недостаточно, но это не связано с временной трансформацией нефти, данный процесс только несколько увеличивает неопределенность результата идентификации. Так пробы 5 и 6 исходной нефти и пробы 5* и 6* облученной нефти, соответственно, имеют незначимые различия в значениях параметра C_{Ni} / C_{Co} , а пробы 6 и 7 исходной нефти и пробы 6* и 7* облученной нефти совсем не отличаются по отношению CV / C_{Ni} . Разброс в значениях последнего параметра обусловлен погрешностью определения содержания металлов в нефтях. Таким образом, для надежной идентификации источника загрязнения необходимо либо повышать точность измерений содержания металлов в нефти посредством увеличения числа анализируемых параллельных проб как исходной нефти (из скважины), так и проб с мест загрязнения, либо, что является более предпочтительным, использовать составной критерий для идентификации источника загрязнения или специальный алгоритм, использующий последовательно несколько критериев для повышения достоверности результата. В проведенном эксперименте для определения различий как исходной нефти, так и облученной, достаточно использовать составной критерий по любым двум параметрам, один из которых надежно позволит идентифицировать источник загрязнения.

Результаты экспериментов с облучением проб

нефти ультрафиолетом позволяют сделать еще один важный вывод. Так, степень концентрирования металлов в нефтях оказалось различной для проб нефти разных месторождений. Коэффициенты концентрирования составили 1,2, 1,7 и 1,5 для нефтей, представленных пробами 5, 6 и 7, соответственно. Это говорит о различной скорости испарения нефти (легких фракций) при облучении ультрафиолетом, что может быть объяснено различным фракционным составом нефтей. Однако, это не приводит к существенному изменению соотношения концентраций металлов в нефтях. Таким образом, можно сделать вывод, что независимо от фракционного состава, а также скорости испарения, т.е. условий взаимодействия нефти с внешней средой, временная трансформация нефти не влияет на возможность идентификации источника загрязнения по содержанию металлов.

Для экспериментальной оценки влияния матрицы (солевой состав почвы) на возможность идентификации нефтяных загрязнений было проведено определение содержания металлов-индикаторов в загрязненной нефтью пробе почвы. Отличие процедуры пробоподготовки заключалось в большей массе навески пробы почвы и в проведении фильтрования после разложения пробы с использованием минеральных кислот.

Прямое определение металлов-индикаторов в пробе почвы из-за низкого содержания нефти в пробе и отсутствия данных о фоновых содержаниях примесей металлов в почве не дало возможности идентифицировать источник загрязнения (нефть Алехинского месторождения). Это может быть связано также с погрешностью пробоотбора для решения данной задачи. Необходимо отметить, что процедура пробоотбора для идентификации нефтяного загрязнения должна отличаться от процедуры, предназначенной для проведения экологического или санитарного мониторинга почв. При проведении экологического мониторинга пробу почвы отбирают с учетом усреднения содержания нефти в почве на площади подвергшейся загрязнению [20], в то время как для идентификации источника загрязнения необходимо отбирать пробу по возможности с максимальным содержанием нефти в пробе почвы.

Для оценки влияния матрицы на возможность идентификации нефтяных загрязнений был применен метод стандартных добавок, который позволяет учесть фоновые концентрации металлов-индикаторов. Содержание нефти в исходной пробе почвы было определено методом инфракрасной спектроскопии, с экстракцией нефтепродуктов из почвы четыреххлористым углеродом и составило 0,9%. На аналитических электронных весах к пробам почвы загрязненной нефтью были добавлены различные добавки исходной нефти Алехинского месторождения, так, что общее весовое содержание нефти (нефть в результате загрязнения и добавка нефти) от массы общей пробы составляло, соответственно, – 2, 6 и 10%. Полученные пробы, а также проба исходной почвы,

подготавливались, как и ранее и анализировались на содержание в них металлов-индикаторов. Результаты измерений общего содержания ванадия и никеля в пробах почвы с различными добавками нефти, а также содержания ванадия и никеля обусловленных загрязнением почвы нефтью с учетом фоновых концентраций этих элементов в почве, определенных с помощью метода наименьших квадратов, и соотношения концентраций этих металлов для проб почвы и исходной нефти приведены в таблице 5. Содержание хрома во всех пробах отличалось незначительно из-за достаточно высокого фонового содержания этого элемента в почве, поэтому данные по этому элементу не приведены.

Таблица 5 – Содержание ванадия и никеля в пробах почвы с добавками нефти и исходной нефти Алехинского месторождения, мг/кг

Параметр	Проба				
	Почва + нефть / массовая доля нефти, %				Нефть
	0,9	2	6	10	
C_V	2,3	2,8	4,6	6,3	41,9
C_{Ni}	3,2	3,5	4,4	5,2	17,2
С учетом фоновых содержаний V и Ni в почве					
C_V	0,41	0,87	2,6	4,4	2,4
C_{Ni}	0,16	0,40	1,3	2,1	
C_V/C_{Ni}	2,6	2,2	2,0	2,1	

Процедура определения содержания ванадия и никеля в пробе почвы методом наименьших квадратов заключалась в следующем. По результатам измерений для проб почвы с различными добавками нефти определялись коэффициенты a и b линейной регрессии вида:

$$C_{Me} = a + b \cdot C_{нефть},$$

где C_{Me} – общая концентрация металла в пробе, являющаяся суммой трех составляющих: фонового содержания металла в почве, содержания металла в пробе обусловленного загрязнением нефтью и содержания металла в добавке нефти к пробе;

$C_{нефть}$ – общая концентрация нефти в пробе (нефть от загрязнения и нефть добавки).

Таким образом, коэффициент a в уравнении соответствует фоновой концентрации металла в почве, мг/кг (ванадий или никель). После этого были определены концентрации металлов в пробах почвы с учетом их фоновых содержаний и отношения концентраций ванадия к никелю.

Полученные соотношения между содержаниями ванадия и никеля в пробе почвы загрязненной нефтью и в пробе исходной нефти отличаются незначительно, в пределах погрешности измерения, что говорит, о принципиальной возможности идентификации источника загрязнения по содержанию в нефти металлических примесей. Данный результат был получен с использованием метода стандартных добавок, который можно использовать даже при отсутствии данных о фоновых содержаниях металлов в чистой почве, но при известном

предполагаемом источнике загрязнения и определении содержания нефти в исследуемой пробе. Однако, при отсутствии априорной информации о возможном источнике загрязнения, применение этого метода для идентификации будет являться достаточно трудоемкой и длительной процедурой из-за необходимости использования добавок нефтей различных месторождений. Другим возможным вариантом для определения источника загрязнения при высоком содержании нефти в исследуемой пробе почвы (более 1% по массе) и достаточно больших содержаниях металлических примесей в самой нефти является сопоставление результатов определения содержания металлов-индикаторов для проб чистой почвы (определение фоновых концентраций) и почвы загрязненной нефтью.

Полученные экспериментальные результаты по анализу пробы почвы загрязненной нефтью Алехинского месторождения позволяют также сделать предварительный вывод о том, что если общее содержание нефти в анализируемой пробе почвы менее 1%, то при малых концентрациях металлов-индикаторов в нефти (менее 5 мг/кг) необходимо использовать процедуру экстракционного извлечения нефтепродуктов из пробы почвы, с последующим определением содержания металлов в экстракте с учетом результата холостой пробы для чистой почвы, так как в экстракт могут переходить металлы не только в составе компонентов нефти, но и в виде других соединений, например, металлоорганических соединений гуминовых кислот.

Выводы. Проведенный комплекс экспериментальных исследований показал возможность использования метода ЭТААС для идентификации измененных проб нефти и нефтяных загрязнений почв по содержанию в нефтях примесей металлов.

Полученные результаты указывают, что принцип идентификации нефтяных углеводородов, основанный на диагностике в них характеристических металлов-индикаторов, может быть успешно применен для задач судебной пожарно-технической экспертизы при расследовании преступлений и происшествий, связанных с участием интенсификаторов горения на основе нефтепродуктов.

В целях исследования загрязненных нефтью почв в качестве предпочтительного метода элементного анализа предлагается метод ЭТААС, являющийся гораздо менее чувствительным к матричному составу анализируемых проб, в сравнении с, например, методом ИСП-МС, для которого общее солевое содержание пробы не должно превышать 1%.

На базе экспериментальных данных, полученных с помощью методов ЭТААС и ИСП-МС, может быть предложен алгоритм идентификации, состоящий из двух уровней: первом – основанном на определении характеристических металлов-индикаторов для проб нефти из скважин и проб нефти с места загрязнения при отсутствии временной трансформации нефти или ее разбавления при попадании в почву или

природную воду, и втором – предназначенном для более достоверной идентификации, а также в случае трансформации проб нефти вследствие процессов временной, биодegradации при попадании в природную воду или почву.

Дополнительно может быть разработана экспертная система в виде компьютерной программы, которая сможет осуществлять сбор данных от атомно-абсорбционного спектрометра, производить их математическую и статистическую обработку и выдавать результаты идентификации источников загрязнения. Соответствующее программное обеспечение может быть совмещено с базой данных по паспортизации нефтей из различных скважин и результатами идентификации источников загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Картамышева Е.С. Загрязнение мирового океана нефтью и нефтепродуктами / Е.С. Картамышева, Д.С. Иванченко // Молодой ученый. – 2018. – № 25(211). – С. 20-23.
2. Другов, Ю.С. Анализ загрязненной воды. Практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 684 с. – ISBN 978-5-9963-1523-9.
3. Лебедь-Шарлевич Я.И. и др. Опасность загрязнения водных объектов нефтью с учетом растворения и стратификации ее компонентов // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 3 (23). – С. 46-52.
4. Mursalov, N.Z. A method for identifying the time of soil pollution with degraded oil on the basis of a chromatogram // Oil & Gas Business. – 2019. – № 5. – P. 6-19.
5. Рядинский А.А. Оценка промышленной безопасности на нефтяных месторождениях (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) / А.А. Рядинский, Л.А. Казанцева // Культура и экология – основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики. Часть 1: материалы международного форума (Екатеринбург, 13-16 апреля 2018 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2018. — С. 124-127.
6. Сезонная динамика накопления нефтепродуктов в поверхностных водоемах Ханты-Мансийского района / С.Н. Русак, М.И. Куриленко, Т.И. Хоменюшко, М.И. Куропаткина // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. – № 4. – С. 51-58. – DOI 10.12737/article_5a1c01bf5f9584.14292623.
7. Ивахнюк С.Г. Идентификация источников нефтяных загрязнений по составу радионуклидов уранового и ториевого рядов / С.Г. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 3(31). – С. 1-11.
8. Трудная нефть Югры / Д.А. Метт, В.Д. Немова, К.А. Щеколдин [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2020. – № 5-6. – С. 26-29.
9. Ивахнюк С.Г. Приборно-методическое обоснование процедуры идентификации консервативных компонентов жидких углеводородов и остатков их временной и биодegradации / С.Г. Ивахнюк // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2022. – № 1(24). – С. 140-146. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.92.61.014.
10. Ивахнюк, С.Г. Идентификация источников нефтяных загрязнений современными аналитическими методами / С.Г. Ивахнюк, В.А. Ловчиков // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2014. – № 3. – С. 6-11.
11. Ивахнюк С.Г. Определение примесей в нефтях методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / С.Г. Ивахнюк, В.А. Родионов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 4(36). – С. 50-56.
12. Львов Б.В. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. – М.: Наука. – 1966. – 392 с.
13. Cantle J.E. (ed.). Atomic absorption spectrometry. – Elsevier, 1986.
14. Кацков Д.А. Введение в многоэлементный атомно-абсорбционный анализ // Аналитика и контроль. – 2018. – Т. 22. – № 4. – С. 350-442.
15. Бегак О.Ю. Погрешность измерений аналитического сигнала в методиках атомно-абсорбционного анализа с электротермической атомизацией и зеемановской коррекцией фона / О.Ю. Бегак, А.В. Бородин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1999. – Т. 65. – № 12. – С. 56-57.
16. Николаев Г.И., Немец А.М. Атомно-абсорбционная спектроскопия в исследовании испарения металлов. – М.: Металлургия, 1982. – 152 с.
17. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. – М.: Техносфера, 2009. – 784 с.
18. Химические, физико-химические и биологические методы обезвреживания нефтесодержащих отходов / И.Г. Шайхiev, А.Н. Ярочкина, Р.Р. Гафаров [и др.] // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 11–15 октября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 187-196.
19. Инструкция по идентификации источника загрязнения водного объекта нефтью. – М. – 1994. 84 с.
20. Пуховская Т.Ю. Экологический мониторинг почвы / Т.Ю. Пуховская // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования: Сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 28–29 мая 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 152-156.

Статья поступила в редакцию 01.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК: 687.175

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЕ РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА

© Автор(ы) 2022

SPIN: 3472-5432

AuthorID: 1037284

ORCID: 0000-0003-0229-9918

КИРИЛЛИН Александр Андреевич, аспирант

Российский университет транспорта

(127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, e-mail: kirillinalex@mail.ru)

SPIN: 8765-1075

AuthorID: 893008

ORCID: 0000-0003-3279-6560

САЧКОВА Оксана Сергеевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность»

Российский университет транспорта

(127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, e-mail: vniijg@yandex.ru)

Аннотация. По результатам анализа травматизма работников, занятых при строительстве искусственных сооружений в ОАО «РЖД», можно выделить основные причины травматизма работников, в том числе которые приводят к летальному исходу. Понимание данных причин дает возможность работать как над их устранением, так и над средствами индивидуальной защиты для уменьшения воздействия вредных факторов на организмы работников. Вопрос разработки современных средств индивидуальной защиты с целью уменьшения травматизма и летальных исходов во время производства работ набирает обороты. Это связано с тем, что тяжесть трудового процесса с каждым годом увеличивается, а последствия внешних факторов на здоровье и жизнь работников становятся более суровыми. Применение современных материалов дает возможность улучшать свойства готовых костюмов спецодежды и защищать работников от большего количества вредных факторов. Современные синтетические материалы обладают широким спектром защитных свойств, благодаря которым одно готовое изделие может объединять защитные свойства различных изделий.

Ключевые слова: спецодежда, рабочая специальность, ткань, условия труда, искусственные сооружения, охрана труда, безопасность, травматизм, строительство, физико-механические свойства ткани, прочность, защитные свойства.

THE USE OF INNOVATIVE MATERIALS IN SPECIAL CLOTHING FOR EMPLOYEES OF THE TRACK COMPLEX

© The Author(s) 2022

KIRILLIN Alexander Andreevich, postgraduate student

SACHKOVA Oksana Sergeevna, doctor of technical sciences, professor of the Department "Technospheric Safety"

Russian University of Transport

(127994, GSP-4, Moscow, Obraszova street, house 9/9, e-mails: kirillinalex@mail.ru, vniijg@yandex.ru)

Abstract. Based on the results of the analysis of the injuries of workers employed in the construction of artificial structures at Russian Railways, it is possible to identify the main causes of injuries to workers, including those that lead to death. Understanding these reasons makes it possible to work both on their elimination and on personal protective equipment to reduce the impact of harmful factors on the organisms of workers. The issue of developing modern personal protective equipment in order to reduce injuries and deaths during work is gaining momentum. This is due to the fact that the severity of the labor process increases every year, and the consequences of external factors on the health and life of workers become more severe. The use of modern materials makes it possible to improve the properties of finished overalls and protect workers from more harmful factors. Modern synthetic materials have a wide range of protective properties, due to which one finished product can combine the protective properties of various products.

Keywords: overalls, working specialty, fabric, working conditions, artificial structures, labor protection, safety, traumatism, construction, physical and mechanical properties of fabric, strength, protective properties.

Для цитирования: Кириллин А.А. Использование инновационных материалов в специальной одежде работников путевого комплекса / А.А. Кириллин, О.С. Сачкова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 154-157. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0024.

Введение. Одной из основных задач в области безопасности труда во время строительных работ является создание здоровых и безопасных условий труда. Работниками строительного комплекса отмечается, что рабочие позы во время производства работ оказываются крайне утомительными и неудобными, что сказывается на общем состоянии работников, а именно на их общей усталости

(утомительности), о данной проблеме писали Овечкина Ж.В., Шевченко В.Б. и др. [1-3].

По результатам анализа травматизма работников ОАО «РЖД» за 2018-2020 года можно сделать вывод, что основными видами происшествий, которые привели к травматизму, в том числе с летальным исходом, является падение (спотыкание во время производст-

ва работ) и удар (придавливание различными инструментами, приспособлениями) [4-6].

При рассмотрении случаев травматизма в разрезе возраста работников можно сделать вывод, что наибольшее число травмированных составляют работники в возрасте от 31 до 40 лет (35%) и от 41 до 50 лет (27%) (рис. 1).

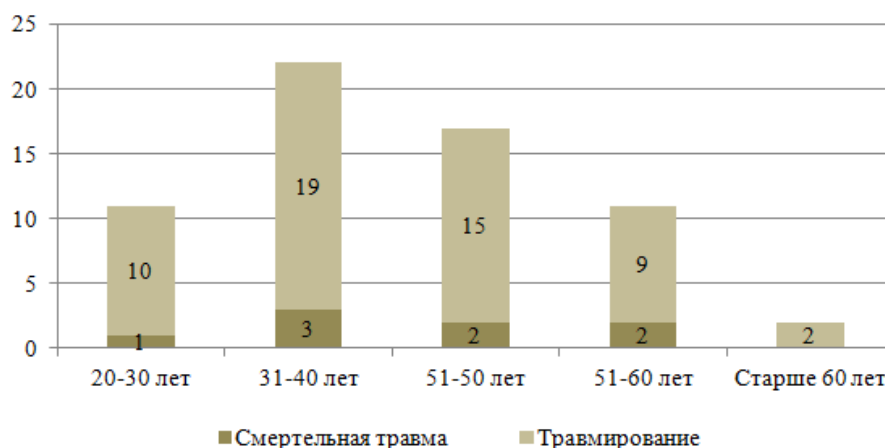


Рисунок 1 – Травматизм по возрастным группам

По результатам оценки условий труда работников путевого комплекса, в частности занятых при работах на искусственных сооружениях, условия труда данной группы работников относят к вредным условиям труда I степени.

Методология. На основании полученных данных разработан перечень свойств специальной одежды, необходимых к улучшению с целью сведения травматизма в строительной отрасли к минимальному значению [7]. Для получения костюма с высокими физико-механическими свойствами

проводилось сравнение характеристик различных видов ткани, так для сравнения в качестве базовой ткани использовалась смесовая ткань, а в качестве предлагаемой была выбрана арамидная ткань.

Результаты. При сравнении данных тканей с одинаковыми плотностями характеристики арамидной ткани во много раз превышали показатели смесовой ткани, таким образом арамидная ткань выдерживала разрывную нагрузку на 50% больше, чем смесовая, раздирающую нагрузку на 200% больше, а стойкость к истиранию на 100% (рис. 2, 3).

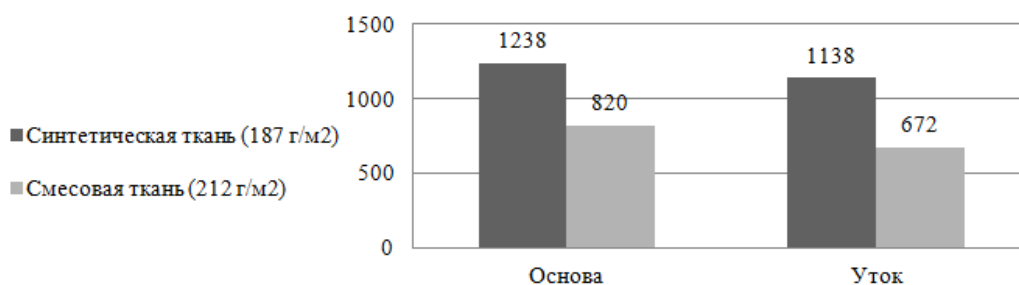


Рисунок 2 – Сравнение показателей разрывной нагрузки (Н)

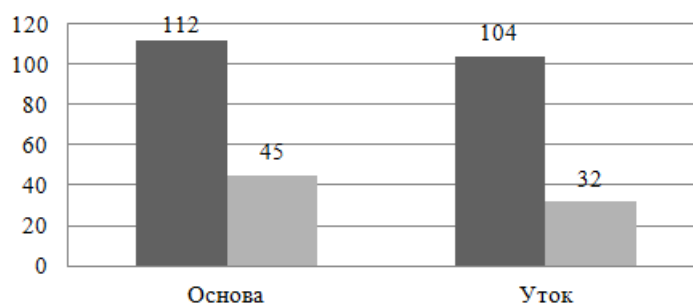


Рисунок 3 – Сравнение показателей раздирающей нагрузки (Н)

Обсуждение. Не смотря на полученные высокие физико-механические свойства данный параметр является не самым главным преимуществом для использования арамидной ткани.

Во-первых, использование арамидной ткани дает возможность снижения веса готового костюма. Это связано с тем, что высокие физико-механические свойства могут достигаться без увеличения плотности ткани.

Во-вторых, арамидная ткань обладает дополнительными по сравнению со смесовой тканью свойствами, к таким можно отнести водотталкивание, маслоотталкивание, нефтеотталкивание, огнестойкость и др. (табл. 4).

Таблица 4 – Дополнительные защитные свойства синтетической ткани

Наименования показателя, единица измерения	Фактическое значение
Поверхностная плотность, г/м ²	187
Водотталкивание, усл. ед (в исходном виде)	90
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом (в исходном виде)	2,7x10 ⁶
Маслоотталкивание, балл (в исходном виде)	5
Нефтеотталкивание, балл (в исходном виде)	5
Огнестойкость (время воздействия пламени 30 с):	
- остаточное горение, с	0
- остаточное тление, с	0
- длина обугленного участка, см	1,6
Устойчивость окраски к воздействию, балл	
- света	5
- стирки (60 °С)	5/5/5
- пота	5/5/5
- сухого трения	4
- органических растворителей	5/5/5
- дистиллированной воды	5/5/5
Термостойкость.	
Температура (260±5) °С. Время выдержки 5 мин	
После 5-ти стирок/после 50-ти стирок	
- воспламенение	Нет/Нет
- плавление	Нет/Нет
- обугливание	Нет/Нет
- хрупкость	Нет/Нет
- расслоение	Нет/Нет

Данные защитные свойства ткани дают возможность использовать специальную одежду большим спектром защитных функций по сравнению с нынешними костюмами.

По результатам испытаний сырьевого состава тканей было установлено отсутствие превышение норм санитарно-эпидемиологических и санитарно-химических требований.

По результатам расчета экономического эффекта от внедрения разработанных комплектов одежды было установлено, что затраты на использование таких костюмов ниже. Экономия достигается за счет нескольких аспектов. Первое, более рациональная раскладка лекал ткани, благодаря которой достигается уменьшение пустот между элементами костюмов.

Второе, возможность вторичной переработки материала костюма после истечения срока носки.

Выводы. В настоящее время разработан комплект специальной одежды с применением синтетических материалов, а также с учетом более рациональной конструкции одежды. Данные костюмы проходят опытную носку в различных строительных организациях, некоторые из которых уже представили положительные отзывы по вопросу качества костюмов.

Благодаря использованию современных материалов и появлению новых способов вторичной обработки сырья появляется возможность разработки новых костюмов, которые обладают повышенными защитными и эргономичными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Овечкина Ж.В. Анализ и оценка риска утраты здоровья работниками железнодорожного транспорта, формируемого условиями и организацией их труда / Ж.В. Овечкина, В.Б. Шевченко // Проблемы безопасности Российского общества. 2021. – № 2(34) – С. 28-37.
2. Кулешов В.В. Обеспечение транспортной безопасности на железнодорожном транспорте / В.В. Кулешов, И.А. Студенников, В.Б. Шевченко // В сборнике: Актуальные проблемы техносферной безопасности. Сборник трудов III национальной научно-практической конференции РОАТ. Москва. – 2021. – С. 248-252.
3. Пономарев В.М., Сачкова О.С., Королева А.М. Психофизиологические факторы труда проводников железнодорожного транспорта / В.М. Пономарев, О.С. Сачкова, А.М. Королева // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – т. 59. – № 9. – С. 722.
4. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2018 год «Производственная безопасность и охрана труда» – 2019.
5. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2019 год «Производственная безопасность и охрана труда» – 2020.
6. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2020 год «Производственная безопасность и охрана труда» – 2021.
7. Сачкова О.С. Соблюдение санитарно-эпидемиологических норм при работах на искусственных сооружениях / О.С. Сачкова, А.А. Кириллин // В сборнике: гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях. – 2021. – С. 137-138.
8. Логинова В.А. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска здоровью работников на объектах железнодорожного транспорта / В.А. Логинова // Анализ риска здоровью – 2017 – №2 – С. 96-101.
9. Кокеткин П.П. Промышленное проектирование специальной одежды / П.П.Кокеткин, З.С. Чубарова, Р.Ф. Афанасьева // «Легкая и пищевая промышленность» – 2006.
10. Рудченко И.И. К выбору средств снижения производственного травматизма в строительстве / И.И.Рудченко // Изв. РГСУ - №10-Ростов на Дону.Изд. РГСУ – 2006.
11. Fassi M. El. Work ability assessment in a worker population : comparison and determinants of Work Ability Index and Work Ability score / M.El. Fassi, V. Bocquet, N. Majery // BMC Public Health. – 2013. – Vol. 13. – P. 305.
12. Goetzel, R.Z. The health and cost benefits of work site health-promotion programs / R.Z. Goetzel, R.J. Ozminkowski // Annu. Rev. Public. Health. – 2008. – Vol. 29. – P. 303-323.
13. Hofmann, D.A. 100 Years of Occupational Safety Research : From Basic Protections and Work Analysis to a Multilevel View of Workplace Safety and Risk / D.A. Hofmann, M.J. Burke, D. Zohar // J. Appl. Psychol. – 2017. – Vol. 102, Iss. 3. – P. 375–388.
14. ILO. Ambient factors in the workplace. An ILO code of practice. – Geneva // International Labour Office. – 2001. – 94 pp.
15. Leka, S. Psychosocial risk management: calamity or opportunity? / S. Leka // Occup. Med. – 2016. – Vol. 66, Iss. 2. – P. 89–91.
16. Morrow. The Frictional Properties of Cotton Materials /

Morrow // J.T.I. – № 22 – P. 425.

17. Pejtersen J.H. The second version of the Copenhagen Psychosocial Questionnaire (COPSOQ II) / J.H. Pejtersen, T.S. Kristensen, V. Borg, J.B. Bjorner // Scandinavian journal of public health. – 2010. – 38 (3 Suppl). – P. 8-24.

18. Quality standard QS147. Healthy workplaces: improving employee mental and physical health and wellbeing. – London : The National Institute for Health and Care Excellence, 2017. – 22 p.

19. Valente M.S.S. Depressive symptoms and psychosocial aspects of work in bank employees / M.S.S Valente, P.R. Menezes, M. Pastor-Valero, C.S. Lopes // Occupational medicine – 2016. – 66 (1). – P. 54-61.

Статья поступила в редакцию 01.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 351.861, 614.8.084

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0025

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

© Автор(ы) 2022

SPIN: 9726-6635

AuthorID: 1152694

ORCID: 0000-0002-9209-9698

КОЛЬЦОВА Екатерина Леонидовна, аспирант кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: KoltsovaEL1@ya.ru)

SPIN: 2874-8742

AuthorID: 989099

ORCID: 0000-0002-9666-2265

ScopusID: 6508058913

НАРУСОВА Елена Юрьевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: e.narusova@ubt-rut-miit.ru)

ORCID: 0000-0003-0446-4470

ПРОКОПЧУК Иван Сергеевич, аспирант кафедры «Управление безопасностью в техносфере»,

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: iprocop123789@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-4492-4371

ХАНИКЯН Захар Альбертович, аспирант кафедры «Управление безопасностью в техносфере»,

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: zak777@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы профессиональной подготовки специалистов разного уровня квалификации. Отмечается, что на каждом этапе становления специалиста необходим соответствующий его уровню подход к обучению и переподготовке, формирующий и развивающий мотивацию к повышению квалификации. Анализируется и обобщается опыт профессионального обучения специалистов железнодорожного транспорта, учитывающего человеческий фактор, интересы и особенности обучающихся, характерные для определенного этапа карьеры. Описывается существующая в ОАО «РЖД» структура подготовки кадров для отрасли, представляющая собой многоступенчатую систему, в которой будущий специалист может проходить подготовку, начиная со среднего образования и продолжая обучение в течение всей профессиональной карьеры. Подчеркивается важность сочетания практического опыта, получаемого во время работы непосредственно в производственных подразделениях, и последующего обучения, в том числе, современными методами анализа и обработки информации. Таким образом, сотрудник может планировать свою будущую трудовую деятельность после завершения работы, например, на подвижном составе без необходимости поиска работы в других отраслях, что предотвращает возникновение стресса. Такой подход позволяет опытным сотрудникам продолжить свою трудовую деятельность и использовать свои знания на новом уровне принятия решений в компании после завершения работы на должностях, связанных с повышенными требованиями к состоянию здоровья.

Ключевые слова: профессиональная подготовка; переобучение; экспресс-обучение; повышение квалификации; карьерный рост; трудовое долголетие; формирование мотивации; человеческий фактор.

IMPROVEMENT OF METHODS OF RETRAINING OF THE TRANSPORT COMPLEX'S EMPLOYEES TAKING INTO ACCOUNT THE HUMAN FACTOR

© The Author(s) 2022

KOLTSOVA Ekaterina Leonidovna, postgraduate student

NARUSOVA Elena Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor

PROCOPCHUK Ivan Sergeevich, post-graduate student

KHANIKYAN Zakhar Albertovich, post-graduate student

Department "Management of safety in a technosphere"

Russian University of Transport

(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9,

e-mails: KoltsovaEL1@ya.ru, e.narusova@ubt-rut-miit.ru, iprocop123789@gmail.com, zak777@mail.ru)

Abstract. The article deals with the issues of professional training of specialists of different skill levels. It is noted that at each stage of the formation of a specialist, an approach to training and retraining corresponding to his level is

necessary, forming and developing motivation for professional development. The experience of professional training of railway transport specialists is analyzed and summarized, taking into account the human factor, interests and characteristics of students on the certain stage of their career. The article describes the existing structure of personnel training for the industry in JSC "Russian Railways", which is a multi-stage system in which a future specialist can be trained, starting with secondary education and continuing training throughout his professional career. The importance of combining practical experience gained while working directly in production units and subsequent training, including modern methods of data analysis and processing, is emphasized. Thus, an employee can plan his future career after completing work, for example, on rolling stock without having to look for work in other industries, which prevents the occurrence of stress. This approach allows experienced employees to continue their work and use their knowledge at a new level of decision-making in the company after completing work in positions associated with increased health requirements.

Keywords: professional training; retraining; express training; advanced training; career growth; work longevity; motivation formation; human factor.

Для цитирования: Кольцова Е.Л. Совершенствование методов переобучения работников транспортного комплекса с учетом человеческого фактора / Е.Л. Кольцова, Е.Ю. Нарусова, И.С. Прокопчук, З.А. Ханикян // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 158-164. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0025.

Введение. С развитием технологий и внедрением новой техники вопросы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров приобретают все большую актуальность во всех отраслях экономики: в промышленности, строительстве или железнодорожном транспорте. На каждом этапе карьерного роста специалиста необходим индивидуальный подход к обучению, учитывающий уровень образования, профессиональную подготовку и опыт работы. Развитие профессионального обучения рассмотрено на примере локомотивного комплекса ОАО «Российские железные дороги». Подготовка профессиональных кадров в железнодорожной отрасли имеет традиционную структуру, включающую привлечение школьников (детские железные дороги, профильные школы), обучение в колледжах, корпоративном университете ОАО «РЖД» и транспортных вузах [1-4].

Независимо от уровня образования, для качественной профессиональной подготовки работника локомотивного комплекса важна работа в эксплуатационном локомотивном депо.

К числу наиболее квалифицированных кадров, к которым предъявляются высокие требования, относятся машинисты локомотивов [5,6]. Перед тем как отправиться в первую самостоятельную поездку, будущий машинист проходит следующие этапы обучения:

- оканчивает профильное училище;
- проходит комиссию, инструктажи и проводит 6 поездок в качестве дублера, по окончании которых получает заключение инструктора и машиниста;
- закрепляется за определенным машинистом и минимум 1 год работает его помощником;
- обучается в дорожной технической школе.

После этого молодой специалист еще 3 месяца участвует в дублерских поездках, получает заключение о возможности работы на локомотиве конкретного участка, затем проходит комиссию в том локомотивном депо, где ему предстоит работать.

В результате длительного воздействия вредных

производственных факторов в процессе работы и в зависимости от индивидуальных особенностей организма вероятно ухудшение состояния здоровья и развитие профессиональных заболеваний [7,8]. В связи с этим специалистам локомотивных бригад (помощникам машиниста, машинистам электровозов или тепловозов) важно подготовиться к своевременному переходу от непосредственного управления составом к офисному типу работы, что позволит работнику продлить трудовое долголетие и продолжить работу в отрасли на новом уровне, используя накопленный опыт. Это особенно важно, когда речь идет о высококвалифицированных кадрах, сохранение которых в отрасли имеет большое значение для деятельности компании, и кроме того, служит моральным стимулом для самих сотрудников, которые понимают, что они не будут вынуждены «драбать» на случайных рабочих местах.

На следующих этапах профессиональной карьеры сотрудник локомотивного комплекса переходит от производственных задач к решению вопросов, необходимых для принятия обоснованных управленческих решений, например, к мониторингу специализированных данных и подготовке аналитических отчетов. От квалифицированной подготовки, наглядности представленных данных в немалой степени зависят своевременность и правильность принятых решений, особенно в экстремальных ситуациях. На этом этапе профессионального роста необходимо дополнительное обучение современным методами автоматической обработки и анализа информации, приобретение новых компетенций [9].

Условно развитие профессиональной карьеры работника локомотивного комплекса можно разделить на несколько этапов (рис. 1).

Конечно, представленная на рисунке 1 карьерограмма не является единственно возможной и может служить рекомендацией для работников при планировании профессионального роста, а также быть полезна при оценке кадрового потенциала и формировании резерва.



Рисунок 1 – Типовая карьерограмма начальника отдела эксплуатации эксплуатационного локомотивного депо

Целью исследования является улучшение обучения на рабочем месте специалистов с учетом человеческого фактора на примере персонала, работающего с автоматизированными информационными ресурсами, связанными с безопасностью движения, эксплуатацией и ремонтом в локомотивном комплексе железнодорожного транспорта.

Вопросам профессиональной подготовки и переподготовки специалистов, организации образовательной деятельности, развитию мотивации к обучению посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей.

Содержательные теории мотивации связывают потребности человека и его отношение к труду (теории А. Маслоу, Д. Макклелланда, Ф. Герцберга); в процессуальных теориях исследуется поведение людей на основе их внутренних установок и ожиданий (теории Д. Адамса, В. Врума, Л. Портера и Э. Лоулера). Теории У. Оучи, Д. Макгрегора рассматривают непосредственное отношение работника к труду.

Различные аспекты этой проблемы и связанные с ней вопросы изучались на протяжении XX века такими учеными, как С.Л. Рубинштейн, В.А. Бодров, Л.А. Анцыферова, В.Г. Асеев, Б.Ф. Ломов и их сотрудниками, продолжают исследоваться в настоящее время их учениками и последователями. В их работах, в частности, отражены результаты исследований психофизиологической структуры восприятия и переработки информации человеком-оператором, оценки операторской деятельности на основе психофизиологического анализа ее содержания и структуры; особое место занимает изучение информационного стресса, прогнозирование стрессоустойчивости операторов и надежности человека в системах управления современной техникой, а также мотивации субъекта труда [10-12].

На основе этих исследований в настоящее время предлагаются различные подходы к обучению: стратегический, личностно-ориентированный, ценностно-ориентированный; получают распространение инновационные методики, которые развивают традиционные методы, например, наставничество применительно к новым условиям, являясь их продолжением и дополнением [13-16]. Продление профессионального долголетия работников профессий, предъявляющих высокие требования к состоянию здоровья, зависит от формирования у них мотивации к переобучению. Необходима разработка соответствующих методик обучения, позволяющих качественно подготовить работников к новому для них типу трудовой деятельности в качестве оператора, что позволит избежать развития информационного стресса и чрезмерного утомления и будет способствовать достижению удовлетворенности работой. Безусловно, сотрудники перед переходом на новую работу должны проходить профессиональный отбор, который необходим для учета индивидуальных возможностей человека.

Методология. В процессе исследования были изучены особенности повышения квалификации специалистов среднего звена на рабочем месте. Проведенное анкетирование выявило характерные трудности при реализации такого обучения.

Анализ причин, связанных с проблемой обучения, позволил объединить их в несколько основных групп, таких как:

- отсутствие понимания у руководителей на местах реальной возможности экономии времени на выполнение определенных видов работы после переобучения исполнителей, что компенсирует отвлечение специалистов на обучение;
- низкая заинтересованность персонала в

повышении собственной квалификации, поскольку часто отсутствует понимание, что новые знания позволят выполнять более сложные задачи, что приведет в дальнейшем к карьерному росту, хотя на первом этапе может не отразиться на уровне заработной платы;

– отсутствие четкого понимания обязанностей, поскольку под формулировкой одной задачи в должностной инструкции может подразумеваться выполнение ряда действий разных блоков одной информационной системы, например, автоматизированной системы.

В качестве модели для сравнения с обычными методиками обучения персонала была использована предложенная авторами методика экспресс-обучения основам статистической отчетности на примере

работы с Комплексной автоматизированной системой учета, контроля, устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАС АНТ).

В компании ОАО «РЖД» существует ряд автоматизированных систем, позволяющих следить за состоянием железнодорожной отрасли в режиме он-лайн, а также получать архивные сведения для построения диаграмм Парето (рис. 2), диаграмм Исикавы, различных графиков, проведения факторных анализов по разным группам показателей и др.

КАС АНТ позволяет использовать эффективный визуальный метод представления информации о работе локомотивных бригад, необходимой для оперативного взаимодействия с региональными дирекциями тяги и эксплуатационными локомотивными депо (рис. 3).

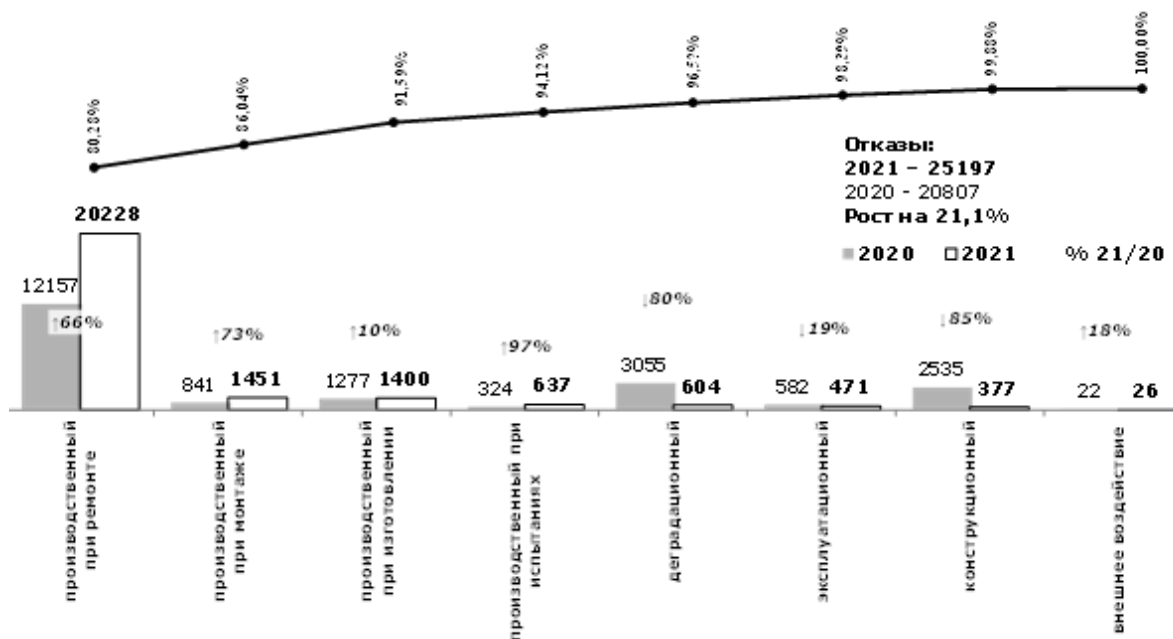


Рисунок 2 – Диаграмма Парето: отказы всех серий локомотивов 1,2,3 категории, объединенные по характеру причин, за 6 месяцев 2020/2021 г.г.

КАСАНТ

<p>Отчеты статистика случаев отказов анализ задержек поездов состояние устранения отказов состояние расследования отказов</p> <p>Статистические отчеты КАСАНТ ЦОТС-1 Оперативная справка за сутки</p> <p>Статистические отчеты КАСАТ ЦТН-1 Оперативная справка за сутки</p> <p>Оперативно аналитические отчеты (согласно распоряжению 313/р) Суточная оперативная справка</p>	<p>Оперативно аналитические отчеты (согласно распоряжению 733/р) Суточная оперативная справка</p> <p>Оперативно аналитические отчеты (согласно распоряжению 2532/р) Суточная оперативная справка</p> <p>Оценка рисков потерь поездо-часов от ОТС</p> <p>Отчеты по Восточному полигону</p> <p>Оперативно аналитические отчеты по удельным показателям весь список</p> <p>Справки о дополнительных расходах от ОТС и ТН Справки о дополнительных расходах от ОТС и ТН</p> <p>Анализ отказов в работе технических средств на основе данных КАСАНТ Анализ отказов в работе технических средств на основе данных КАСАНТ</p> <p>Анализ технологических нарушений на основе данных КАСАТ Анализ технологических нарушений на основе данных КАСАТ</p>
---	---

Рисунок 3 – Главное содержание стартовой страницы автоматизированной системы КАС АНТ

Результаты. Эмпирическим путем установлено, что в рамках офисной работы, связанной с безопасностью движения в железнодорожной отрасли, при наличии минимальных трудовых ресурсов наиболее подходящим является экспресс-обучение с применением наглядных методических пособий, визуализации основных технических и технологических операций (рис. 4).

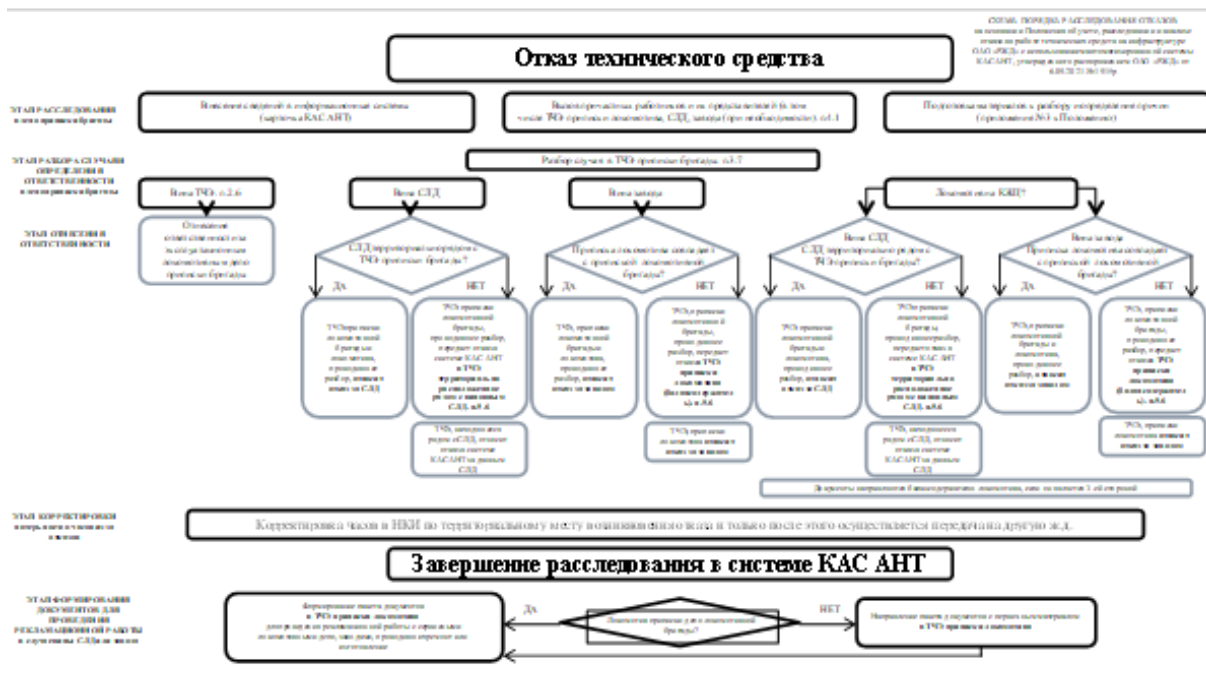


Рисунок 4 – Пример визуализации в кратком методическом пособии для экспресс-обучения персонала

Обучающий материал условно разделен на 3 учебных блока и, благодаря подробному описанию процесса, не требует дальнейших пояснений главного специалиста:

1 – блок методических указаний «Как выгружать данные из КАС АНТ» включает в себя пункты: описание системы, общие понятия о локомотивном комплексе, работа с данными в *Excel*, простое упражнение для заполнения данных, описание отказов технических средств и потерь из-за них поездо-часов;

2 – блок методических указаний «Работа с данными в *Excel*» включает в себя разделы: подробное описание работы с системами *Microsoft Office*, нюансы автоматизированной системы КАС АНТ, сводная таблица *Excel* – для отражения требующихся специальных данных;

3 – блок методических указаний «Работа с потерями поездо-часов из-за отказов технических средств» включает в себя описание работы с системами *Microsoft Office*, нюансов автоматизированной системы КАС АНТ, а также сводную таблицу *Excel* для заполнения соответствующими данными.

Главным преимуществом методических пособий является наглядное и подробное представление каждого шага работы. Такой подход способствует более легкому усвоению материала персоналом.

Обсуждение. Развитие технических систем, появление новых программ, изменения в документах, регулирующих работу отрасли, требуют оперативного обучения персонала. Так, например, изменился

порядок учета времени задержек поездов и их влияние на категорирование отказов, при этом дополнительно введена классификация сторонних предприятий-собственников локомотивов, учитываемых в локомотивном комплексе [17-19].

Однако, оперативное обучение иногда сложно организовать из-за ограниченной возможности привлечения к этой деятельности компетентных специалистов, способных проводить обучение на соответствующем уровне, но занятых выполнением своих должностных обязанностей.

Особенно актуальным является обучение сотрудников, имеющих производственный опыт, при их переводе на должности специалистов среднего звена. Их необходимо обучить умению работать с большими объемами данных, структурировать их, представлять в наглядном виде руководству.

Важным обстоятельством, которое необходимо учитывать для достижения успешного результата обучения, является то, что у переобучаемых сотрудников по роду их деятельности не было постоянной необходимости усваивать новые теоретические знания. Для преодоления естественных трудностей, связанных с отсутствием навыка усвоения новой информации, методика переобучения должна быть адаптированной для каждой группы работников.

Согласно расчетам на традиционное аудиообучение одного специалиста эксплуатационного локомотивного депо или сотрудника региональной дирекции тяги уходило, в среднем, до 4-х часов работы

специалиста центрального аппарата Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» или 50% продолжительности 8-часового рабочего дня.

После подготовки обучающего визуализированного материала затраты времени на обучение одного работника составили в среднем 30 минут. Затраты на подготовку материала не учитываются, так как они связаны с непосредственными трудовыми обязанностями разработчика по подготовке отчетов.

Выводы. Важно внедрять в систему переподготовки кадров способствующие формированию мотивации специальные мероприятия, направленные на повышение престижа повышения квалификации, развитие у сотрудников здоровой конкуренции и стремления к карьерному росту.

С целью совершенствования обучения персонала и использования освободившегося рабочего времени работников локомотивных бригад (помощников машиниста, машинистов), инженерного персонала эксплуатационных локомотивных депо, региональных дирекций тяги для дальнейшего совершенствования процессов безопасной эксплуатации следует обратиться к вопросу подготовки визуализированного методического материала.

Необходимо морально и материально стимулировать работников, участвующих в обучении сотрудников, проявляющих инициативу, предлагающих новые методики обучения, что позволит не только повысить их мотивацию, но и послужит обучающимся дополнительным подтверждением важного места этой работы в общей системе задач компании [20].

Повышение требований к качеству обучения при одновременном уменьшении затрачиваемого на него времени позволит готовить квалифицированных взаимозаменяемых специалистов без ущерба для производства.

Переобучение опытных сотрудников с учетом человеческого фактора будет способствовать продлению их трудового долголетия и применению их знаний на работе в той же организации, но на другом уровне, что повысит эффективность функционирования каждого подразделения и компании в целом [21]. Такой подход к формированию кадрового состава имеет большое социально-экономическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оценка потребности железных дорог в доподготовке персонала по выполнению перевозок на железнодорожном транспорте в особый период / О.Н. Куранова, А.И. Дергачев, С.А. Дергачев [и др.] // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2021. – № 3(27). – С. 5-10. – DOI 10.24412/2413-2527-2021-327-5-10. – EDN GLAZKM.
2. Тукова Е.А. Организация внутрифирменной подготовки сотрудников на примере транспортной отрасли / Е.А. Тукова // Интернет-журнал Науковедение. – 2016. – Т. 8. – № 1(32). – С. 11. – DOI 10.15862/11EVN116. – EDN VVNRZH.
3. Концепция развития дистанционных образовательных технологий и системы дистанционного обучения в ОАО «РЖД» от 30 ноября 2015 г. № 507, утвержденная вице-президентом ОАО «РЖД» Д.С.Шахановым – 12 с.
4. Положение об экспертизе учебно-программной

документации, учебно-методических материалов и технических средств обучения, используемых в образовательном процессе учебных центров филиалов ОАО «РЖД», утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 21 августа 2019 г. № 1834р – 23 с.

5. Муштонина Е.А. О повышении безопасности труда в локомотивном депо на основе совершенствования профессионального отбора персонала локомотивных бригад / Е.А. Муштонина, А.В. Александрова, А.И. Клеменцева // Безопасность и ресурсосбережение в техносфере: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Краснодар, 29 апреля 2021 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 2021. – С. 124-128. – EDN VSNGQR.

6. Муштонина Е.А. Учет личностных характеристик и компетенций в вопросах безопасности труда при профессиональном отборе работников (на примере персонала локомотивных бригад) / Е.А. Муштонина, А.В. Александрова, А.А. Левчук // Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг., Армавир, 04–05 декабря 2020 года. – Армавир: ООО «Редакция газеты «Армавирский собеседник» (Армавирская типография), 2021. – С. 227-232. – EDN SPTKUM.

7. Королева А.М. Оценка риска возникновения профессиональных заболеваний у работника / А.М. Королева, Е.Ю. Нарусова, О.В. Плицына // Актуальные проблемы техносферной безопасности: Сборник научных статей национальной научно-практической конференции, Москва, 06–12 марта 2019 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2019. – С. 18-19. – EDN JSQPHN.

8. Молочная Е.В. Структура профессиональной заболеваемости работников дальневосточной железной дороги / Е.В. Молочная, В.А. Гулимова // Дальневосточный медицинский журнал. – 2019. – № 3. – С. 70-73. – DOI 10.35177/1994-5191-2019-3-70-73. – EDN JWXIYW.

9. Стратегия научно-технологического развития холдинга "РЖД" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (белая книга), утвержденная распоряжением от 17 апреля 2018 г. № 769р – 112 с.

10. Бодров В.А. Чувство удовлетворенности работой как субъективный показатель уровня профессиональной пригодности субъекта труда // Человеческий фактор в авиации и космонавтике: потенциал и ресурсы: Сб. науч. трудов. М.: Полет, 2007. С. 58-75.

11. Головей Л.А. Позитивное функционирование личности в пожилом возрасте: комплексный подход / Л.А. Головей, О.Ю. Стрижицкая, А.В. Криулина // Психологические исследования. – 2014. – Т. 7. – № 36. – С. 9. – EDN THSVSL.

12. Устьянцева В.М. Особенности мотивации работников с различным типом адаптации / В.М. Устьянцева, Ю.А. Токарева // Перспективы развития науки в современном мире : Сборник статей по материалам V международной научно-практической конференции : В 3 частях, Уфа, 05 февраля 2018 года / Ответственный редактор: Халиков А.Р. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 143-155. – EDN YSMSZP.

13. Сиягина Н.Ю. Личностно-ориентированный подход в управлении личностно-профессиональным развитием и карьерным ростом / Н.Ю. Сиягина // Техническое творчество молодежи. – 2018. – № 6(112). – С. 14-17. – EDN VNRJKQ.

14. Никитин В.Н. Ценностно-ориентированный подход к управлению мотивацией персонала / В.Н. Никитин, П.В. Благодатский, Е.Н. Дармодехина // Лидерство и менеджмент. – 2022. – Т. 9. – № 2. – С. 377-390. – DOI 10.18334/lim.9.2.114302. – EDN MOCPSD.

15. Булатова Г.А. Профессиональное и личностное развитие персонала организации: стратегический подход / Г.А. Булатова, Т.В. Бортникова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 9-1(23). – С. 36-40. – EDN XIKJTR.

16. Инновационные методы обучения и развития

персонала: наставничество, менторство, баддинг / Ю.С. Безносюк, П.К. Видикер, А.А. Хорхордина, Ю.А. Токарева // Инструменты и механизмы современного инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 03 октября 2019 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2019. – С. 219-222. – EDN RMIATZ.

17. Положение об изменениях в распоряжение ОАО «РЖД» от 6 сентября 2021 г. № 1915/р «Об утверждении документов ОАО «РЖД» по вопросам учета отказов в работе технических средств и технологических нарушений на инфраструктуре ОАО «РЖД», утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 18 апреля 2022 г. № 1052р – 24 с.

18. Классификатор опасных отказов технических средств системы КАС АНТ, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» от 22 апреля 2021 г. № 888р – 148 с.

19. Схема расследования и отнесения ответственности за задержки поездов по причине отказов технических средств в АС КАС АНТ, утвержденная телеграфным указанием Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» от 23 сентября 2019 г. № ИСХ-17573 – 2 с.

20. Андруник А.П. Технология подготовки руководителей к лично-ориентированному управлению персоналом / А.П. Андруник // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – 2021. – № 1(55). – С. 49-53. – DOI 10.46845/2071-5331-2021-1-55-49-53. – EDN SNS-RXU.

21. Литвинова Н.П. Влияние мотивации персонала на успех организации / Н.П. Литвинова // Russian Studies in Law and Politics. – 2019. – Т. 3. – № 1. – С. 15-20. – EDN ZRSTQD.

Статья поступила в редакцию 28.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 331.453

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0026

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ
ЧЕЛОВЕК – ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 2015-0650

AuthorID: 493399

ORCID: 0000-0003-0856-4612

ScopusID: 57194587669

СОМОВА Юлия Васильевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности»

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова**(455000, Россия, Челябинская обл., Магнитогорск, проспект Ленина 38, e-mail: yuliya.somova.82@mail.ru)*

SPIN: 6912-4758

AuthorID: 492825

ORCID: 0000-0002-1499-4988

ScopusID: 57192987474

ЛИМАРЕВ Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры «Технологий, сертификации и сервиса автомобилей»

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова**(455000, Россия, Челябинская обл., Магнитогорск, проспект Ленина 38, e-mail: aslimarev@mail.ru)***ЛАРИНА Анастасия Анатольевна**, магистрант*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова**(455000, Россия, Челябинская обл., Магнитогорск, проспект Ленина 38, e-mail: anastasia-larina123@mail.ru)*

Аннотация. Внедрение систем менеджмента на предприятиях черной металлургии в соответствии с требованиями международных стандартов требует решения вопросов, направленных на обеспечение качества выпускаемой продукции на всех этапах жизненного цикла продукции. Важнейшей и неотъемлемой частью таких систем является необходимость обеспечения безопасных условий труда при выполнении производственных процессов. Наряду с этим аналогичные требования предъявляются также и со стороны органов государственной власти и общественных организаций. Это обуславливает актуальность проведения работ по разработке мероприятий направленных на повышение безопасности труда на основе определения и устранения опасных производственных факторов. Объектами исследования в работе являются опасные производственные факторы, которые приводят к травматизму. Для решения задач по снижению производственного травматизма на металлургических предприятиях были выявлены основные причины и проведен анализ их воздействия на работника. Среди рассмотренных причин достаточно сильное влияние на уровень травматизма оказывают технические факторы. Наиболее распространенными причинами травматизма на производстве чаще всего являются нарушения правил работниками техники безопасности, неисправность оборудования. С применением статистических методов был проведен анализ заранее определенных показателей несчастного случая. Это позволило определить опасные и вредные факторы производственной среды на рабочих местах в металлообрабатывающей отрасли. На основе полученных результатов было установлено, что основные мероприятия по снижению травматизма должны быть направлены не только на устранение опасных условий на рабочих местах, но и на действия работников.

Ключевые слова: несчастный случай, производственный травматизм, безопасность труда, производственный фактор, уровень травматизма, техника безопасности, металлургическое предприятие, промышленная безопасность, профилактика травматизма, система менеджмента

**RESEARCH OF THE HUMAN FACTOR IN THE SYSTEM MAN – TECHNICAL
SYSTEM – PRODUCTION SYSTEM WITH THE PURPOSE OF INCREASING LABOR SAFETY**

© The author(s) 2022

SOMOVA Yuliya Vasilievna, candidate of technical sciences

associate professor of the Department of industrial ecology and life safety

LIMAREV Aleksandr Sergeevich, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the Department of technologies, certification and service of motor vehicles

LARINA Anastasia Anatolievna, post-graduate student*Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk**(455000, Russia, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue 38,**e-mails: yuliya.somova.82@mail.ru, aslimarev@mail.ru, anastasia-larina123@mail.ru)***Abstract.** The introduction of management systems at ferrous metallurgy enterprises in accordance with the require-

ments of international standards requires solving issues aimed at ensuring the quality of manufactured products at all stages of the product life cycle. The most important and integral part of such systems is the need to ensure safe working conditions in the performance of production processes. Along with this, similar requirements are also presented by state authorities and public organizations. This determines the relevance of carrying out work on the development of measures aimed at improving labor safety based on the identification and elimination of hazardous production factors. The objects of research in the work are hazardous production factors that lead to injuries. To solve the problems of reducing industrial injuries at metallurgical enterprises, the main causes were identified and an analysis of their impact on the worker was carried out. Among the reasons considered, technical factors have a rather strong influence on the level of injuries. The most common causes of injuries at work are most often violations of the rules by employees, equipment malfunction. Using statistical methods, an analysis of predetermined accident indicators was carried out. This made it possible to determine the dangerous and harmful factors of the working environment at workplaces in the metalworking industry. Based on the results obtained, it was found that the main measures to reduce injuries should be aimed not only at eliminating hazardous conditions in the workplace, but also at the actions of workers.

Keywords: accident, occupational injury, labor safety, production factor, injury rate, safety precautions, metallurgical enterprise, industrial safety, injury prevention, management system.

Для цитирования: Сомова Ю.В. Исследование человеческого фактора в системе человек-техническая система-производственная система с целью повышения безопасности труда / Ю.В. Сомова, А.С. Лимарев, А.А. Ларина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 165-171. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0026.

Введение. Большинство предприятий черной металлургии сертифицировали свои системы менеджмента качества (СМК) на соответствие требованиям стандарта ISO 9001. Внедрение таких систем позволяет решить вопросы, связанные с обеспечением качества выпускаемой продукции на всех этапах жизненного цикла продукции, а также повышение качества труда и работоспособности в целом. К основным преимуществам внедрения таких систем можно отнести: актуализацию документированной информации на предприятии, возможность определения и систематического анализа проблемных мест, как в области качества продукции, так и в области безопасности производства, четкое распределение ответственности и полномочий сотрудников, а также улучшение трудовой дисциплины персонала [1, 2].

Неотъемлемой частью любого современного предприятия является необходимость выполнения требований общественности и государства по вопросам экологической и промышленной безопасности. В стандартах ИСО 9001 учитывается необходимость работы по этим направлениям, но представленные рекомендации не позволяют сформировать полноценную систему, отвечающую современным требованиям по вопросам экологической и промышленной безопасности. Поэтому, в настоящее время на многих предприятиях наряду с системой менеджмента качества по ИСО 9001 внедряются системы экологического менеджмента (СЭМ) по ИСО 14000, системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (СМБТиОЗ) по ИСО 45000 и др., отвечающие требованиям соответствующих международных стандартов [3, 4]. Это существенно повышает уровень социальной ответственности таких предприятий и улучшает их инвестиционную привлекательность. Кроме того, наличие систем менеджмента оказывает благоприятное влияние на

повышение эффективности деятельности предприятия в целом.

С выходом стандарта ISO 45000 предприятия были вынуждены осуществлять переход на новые требования. Система по этому стандарту направлена на обеспечение безопасности на рабочем месте для сотрудников и посетителей, усиление степени соответствия нормативно-правовым актам при одновременном снижении финансовых потерь. Одним из важнейших направлений реализации стандарта ISO 45000 является создание условий обеспечивающих безопасные условия труда с минимальными рисками возникновения травм и профессиональных заболеваний на рабочих местах. Выполнение требований стандарта позволяет сформировать СМБТиОЗ и выработать общую политику и цели в данном направлении. Это позволяет более полно учитывать законодательные требования и информацию о рисках в области профессионального здоровья и безопасности. Основными направлениями деятельности такой системы является разработка мероприятий организационного и технического характера, направленных на предупреждение аварийных ситуаций на эксплуатируемых опасных производственных объектах. Система разрабатывается на всё предприятие в целом, независимо от удаленности опасных производственных объектов друг от друга. Важнейшим аспектом системы безопасности труда является определение и устранение опасных производственных факторов [5].

Методология. В работе объектом исследования являются опасные производственные факторы, которые приводят к получению травм различной степени тяжести. Путей решения этой проблемы множество, однако их реализация на практике связана со значительными финансовыми и трудовыми затратами, эффективность которых при распылении средств и усилий будет низкой. Поэтому, для решения

задач по снижению травматизма на каждом отдельном производстве, необходимо разобраться по каким направлениям необходимо действовать, что позволит с минимальными затратами добиться наилучших результатов.

На металлургических предприятиях выделяют три основные группы производственного травматизма:

- технические;
- организационные;
- личностные (психологические и психофизиологические).

Для начала рассмотрим личностные причины, к которым относятся физические, нервно-психические перегрузки работников. Утомление – фактор, который негативно сказывается на уровне травматизма, притупляя внимание, не позволяет человеку своевременно реагировать на опасность. Работники чаще всего добираются до работы на общественном транспорте. При средней продолжительности переезда к месту работы большинство работников, либо не утомляются, либо незначительно утомляются. Тем не менее, работоспособность в течение смены изменяется, что говорит об утомляемости работника, поэтому, можно говорить о том, что утомляемость оказывает значительное влияние на уровень травматизма [6].

Среди организационных причин, являющихся причиной производственного травматизма, можно выделить неудовлетворительную эргономику рабочего места и организацию труда, недостаточное обучение рабочих безопасному труду, слабый технический надзор за опасными работами. Известны случаи, когда работники выполняли работу, не связанную с их непосредственными обязанностями. Это серьезный фактор снижающий безопасность производства. Причина этого в плохой организации производства на предприятии и в определенной доле нигилизма по отношению к правилам ТБ со стороны руководителей предприятия [1, 7].

К техническим причинам травматизма можно отнести неисправность и неэффективность средств коллективной и индивидуальной защиты (СКЗ и СИЗ), а также травмирующее механическое оборудование. СИЗ чаще всего находятся в исправном состоянии, а в случае неисправности их довольно оперативно восстанавливают, но бывают случаи, когда их ремонтировать приходится самим работникам. По мнению работников, исправное применяемое оборудование, СИЗ и СКЗ незначительно влияют на уровень травматизма [8]. Однако большинство среди них отмечают, что причинами травматизма на производстве чаще всего являются нарушения правил и неисправность оборудования [9, 10].

В настоящее время на многих металлургических предприятиях используется крупногабаритное оборудование, срок эксплуатации которого в среднем составляет 30 и более лет. В течение столь длительного периода в условиях круглосуточных производственных процессов, климатических воз-

действий и, в большинстве случаев, негативного влияния агрессивной производственной среды накапливаются дефекты, повреждения и неисправности оборудования. Использование такого оборудования сопряжено с возникновением опасности. Исходя из этого, металлургическим предприятиям нужно уделять особое внимание техническому состоянию применяемого технологического оборудования.

На металлургических предприятиях возникновение аварийных и опасных ситуаций, определяющих уровень промышленной безопасности, во многом определяется следующими факторами:

- степень износа оборудования;
- качество выполнения работ по ремонту оборудования, зданий и сооружений;
- соблюдение сроков эксплуатации оборудования;
- технологический уровень производства;
- степень загруженности персонала и квалификация персонала.

Для оценки тяжести и количества, возникших на производстве несчастных случаев можно использовать прогностические и ретроспективные методы [11]. При выполнении работы анализ был проведен с применением статического метода, который относится к прогностическим. Статистический метод позволяет провести анализ известных выбранных характеристик несчастного случая, на основе полученных в результате сбора данных по всем рассматриваемым показателям. Такой подход позволяет установить закономерности, которые характерны для этих случаев, а также дает возможность определить динамику травматизма и исследовать специфику несчастных случаев по видам производств или профессиональным группам на основе относительных статистических коэффициентов.

Для оценки относительного числа несчастных случаев на 1000 работающих за отчетный период применяем коэффициент частоты травматизма:

$$K_q = (N \cdot 1000) / C \quad (1)$$

где N – количество несчастных случаев;

C – среднесписочное число работающих.

Применение такого коэффициента целесообразно при проведении анализе исследуемых данных, полученных на определенном временном отрезке и возможно совместное применение с другими показателями. На основе такого показателя можно определить за отчетный период причины возникновения несчастных случаев, выявить возможные закономерности их появления, а также обнаружить опасные места и этапы проведения работ при осуществлении технологических процессов.

Для оценки среднего количества дней нетрудоспособности в отчетном периоде, которые приходятся на один несчастный случай применяем коэффициент тяжести травматизма:

$$K_m = D_n / H_c \quad (2)$$

где D_n – дни неработоспособности из-за несчаст-

ных случаев.

Применение этих показателей позволяет оценить степень воздействия проводимых на предприятии изменений на случаи травматизма.

Результаты. Анализ распределения травм по производственным переделам металлургического предприятия с наибольшим уровнем травматизма (рис. 1) показал, что наибольшее число производственных травм среди переделов приходится на прокатное производство. При этом в общем объёме на долю прокатных цехов приходится примерно 17% всех случаев. Такие показатели позволяют говорить о необходимости первоочередного проведения разработки комплекса мероприятий по повышению безопасности работ на участках прокатных подразделений. По результатам сравнения данных частоты и тяжести полученных травм можно судить о достоверности проведенного на производстве учета

несчастных случаев. На основе анализа полученных результатов было установлено, что снижение K_q приводит к росту K_m , что говорит об увеличении тяжелых несчастных случаев либо несчастных случаев со смертельным исходом. По данным учета несчастных случаев K_q в прокатных цеха составляет 2,43, тогда как общий по всему металлургическому предприятию 2,21. За аналогичный период изучения K_m в цехах по производству проката составляет 55,19, что примерно на 22% больше, что выше среднего по предприятию. Это говорит о том, что опасность воздействия в прокатном производстве определяется, прежде всего, конструктивными проблемами установленного различного основного и вспомогательного механического оборудования, движущиеся части и узлы которого представляют определенную опасность, так как не предусмотренный контакт с ними может вызвать травмы.

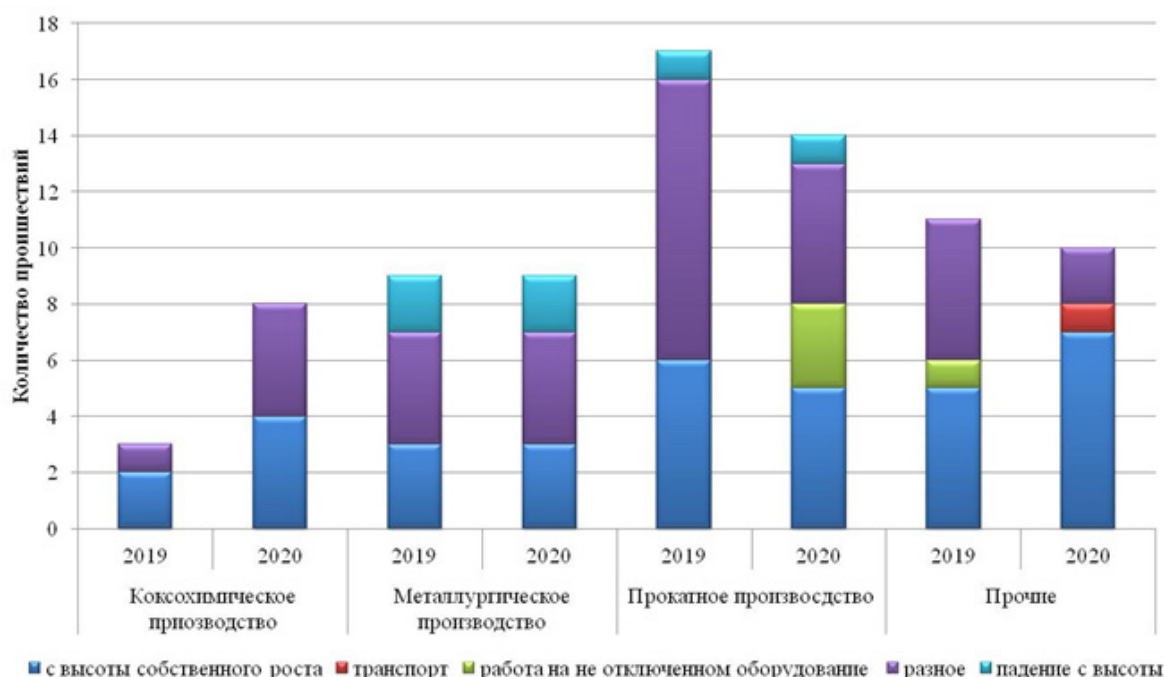


Рисунок 1 – Анализ по видам происшествий на металлургическом предприятии

Анализ производственного травматизма в прокатных цехах металлургического предприятия показала, что наибольшее число пострадавших среди операторов (рис. 2). Согласно полученным результатам около 40% выявленных случаев травматизма приходится на работников этой профессии. В значительной степени это обусловлено их общим числом, работающим на производстве, поскольку в прокатных цехах эта специальность является наиболее востребованной. Тем не менее для обеспечения более высокой безопасности в прокатных цехах необходима разработка соответствующих мероприятий. Среди таких мероприятий, могут быть, предупредительные и регулирующие мероприятия:

1. Устранение возможных рисков возникновения опасных ситуаций;
2. Разработка мер, снимающих риск распрост-

ранения опасной ситуации;

3. Внедрение мер для снижения рисков повреждения здоровья работников на основе ограничения контакта

4. Применение административных мер для установления ограничения по времени контакта с вредными и опасными производственными факторами;

5. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.

На металлургических предприятиях при разработке мероприятий по профилактике профессиональных заболеваний и травматизма на сегодняшний день особое значение приобретают инновационные технические решения, позволяющие повысить качество выполнения работы на новый уровень [12].



Рисунок 2 – Распределение случаев травматизма по профессиям в прокатных цехах

Анализ травматизма по профессиональному стажу (рис. 3) показывают, что больше всего травмы получают работники со стажем работы до 5 лет, на долю которых приходится около 70% всех несчастных случаев. При увеличении стажа работа количество травм у работников существенно снижается. Как правило, причиной высокого травматизма рабочих с небольшим стажем является отсутствие соответствующих знаний и особенностей работы. Также молодым работникам не хватает навыков в профессиональной деятельности. С целью снижения случаев травматизма необходимо реализовать проект по организации обучения и проведения психологического тестирования при приеме на работу [13, 14].

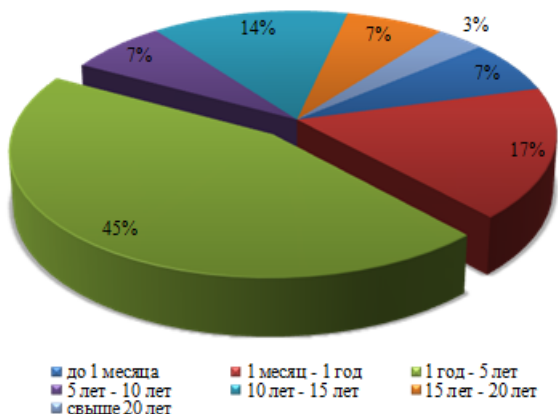


Рисунок 3 – Распределение случаев травматизма по профессиональному стажу пострадавших

На основе статистического анализа уровня производственного травматизма установлено, что основной причиной несчастных случаев в прокатных цехах является неудовлетворительное состояние рабочих мест, что составляет 56% от общего числа. Причинами (рис. 4), под действием которых был образован данный сегмент, являются низкая исполнительская дисциплина со стороны работников

цеха и подрядных организаций, формальная приёмка-сдача рабочей смены и недостаточный контроль со стороны руководителей цеха. Чтобы такие причины не возникали, необходимо сделать следующие мероприятия:

- разработать памятки «о порядке приема-сдачи смены» на всех участках, а так же обеспечить размещение памяток на всех рабочих местах;
- проводить устный опрос работников о знании памятки «порядка приема-сдачи смены»;
- фиксировать нарушения подрядных организаций с составлением предписаний и сроков устранения;
- составлять акты нарушений в случае не устранения в срок.



Рисунок 4 – Анализ причин производственного травматизма

Обсуждение. На металлургических предприятиях основными вредными производственными факторами являются пыль, вибрация, шум и несоответствующий микроклимат. Зачастую эти факторы на производстве действуют одновременно, что существенно повышает риск возникновения травматизма, а также увеличивает вероятность развития профессиональных заболеваний. Это часто становится причиной высокой заболеваемости работников. Проведение систематической работы в безопасности труда и охраны здоровья обеспечивает удовлетворенность всех заинтересованных сторон по следующим направлениям:

- безопасность труда;
- пожарная безопасность;
- сохранение материальной базы;
- выполнение требований законодательства;
- снижение риска возникновения несчастных случаев и их тяжести;
- систематизация нормативной документации в области безопасности труда и охраны здоровья;
- снижение потерь рабочего времени;
- повышение производственной культуры и имиджа предприятия в целом.

Подразделения, относящиеся к прокатному

производству, являются наиболее значимыми на металлургических предприятиях. Такие подразделения можно разделить на цеха холодной и горячей прокатки, которые обладают, как схожими, так и различными опасными производственными факторами. Следует отметить, что часть вспомогательных подразделений в таких цехах являются пожароопасными [15]. Поэтому, с целью разработки профилактических мероприятий в подразделениях прокатного производства была выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов. Также были выполнены исследования степени опасности производственных объектов и операций технологического процесса, осуществляемых в подразделении. Такие исследования обеспечивают возможность прогнозирования потенциальной возможности возникновения пожаров и взрывов в случае аварии на опасном объекте прокатного производства. На основе прогноза разрабатывается комплекс предупреждающих мероприятий, обеспечивающих повышение безопасности производственного процесса. Для предприятий металлургической отрасли применяемое оборудование и сооружения, должны соответствовать требованиям специальных нормативных документов. Такое соответствие в обязательном порядке подтверждается результатами экспертизы промышленной безопасности.

Заключение. В соответствии с исследованиями американского ученого У. Луса большая часть нарушений, на которые приходится более 96% всех случаев, связаны с организационными причинами, и только около 4% возникают по вине самих исполнителей. Поэтому руководству металлургических предприятий следует обращать пристальное внимание на состояние действующей системы безопасности труда и охраны здоровья. Это позволяет своевременно выявить и устранить организационные недочеты [17].

В основе принятых решений должны быть не бесосновательные обвинения исполнителей, которые объективно вызовут недовольства, а мероприятия по целенаправленной мотивации работников в безопасном и качественном выполнении своей деятельности. Такой подход существенно повышает безопасность предприятия, что оказывает прямое влияние на формирование его положительного имиджа [16, 19]. Для этого необходимо создание условий, чтобы все работники были заинтересованы в соблюдении требований техники безопасности на металлургическом предприятии. Это обусловлено тем, что наиболее перспективный метод снижения травматизма на опасном производстве – сокращение опасных действий работников [18]. Несмотря на это большинство современных систем безопасности труда и охраны здоровья на металлургических предприятиях по-прежнему направлены на устранение опасных производственных условий, а не на опасные действия работников. Такой подход в современных условиях

требует кардинального пересмотра. Поэтому для достижения высоких результатов при устранении несчастных случаев и травматизма на первом этапе необходима разработка следующих мероприятий:

- усиление качества профессионального отбора, поскольку значительная часть несчастных случаев вызвана физиологическими особенностями работников;

- подготовка работников на рабочем месте, заключающаяся в разъяснении возможных опасностей, способов их предотвращения, поведения в различных внештатных ситуациях и др.

Среди основных мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения опасных ситуаций, должно быть усиление контроля на металлургическом предприятии за безопасностью труда на каждом рабочем месте, в первую очередь со стороны работодателя. Также необходимо применять предохранительные системы, устраняющие опасные ситуации и предупреждающие об их появлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мезин И.Ю. Система менеджмента качества на промышленном предприятии: учебное пособие / И.Ю. Мезин, А.С. Лимарев, Е.Г. Касаткина, Д.М. Закиров, И.Г. Гун. Магнитогорск, 2017. – 250 с.
2. Логинова И.В., Лимарев А.С. Персонал как основа обеспечения эффективности работы предприятия // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2009. – № 1. – С. 329-332.
3. Лимарев А., Касаткина Е. Развитие систем экологического менеджмента в России // Управление качеством. – 2019. – №5. – С. 48-55.
4. Чапкаева Д.Д., Лимарев А.С., Сомова Ю.В. Управление профессиональной безопасностью и охраной труда в рамках интегрированной системы менеджмента // Качество в обработке материалов. – 2017. – №2(8). – С. 32-35.
5. Надежное обеспечение безопасности труда – основа повышения его производительности и эффективности / А.Б. Килин, В.А. Галкин, А.М. Макаров [и др.] // Уголь. – 2022. – № 1(1150). – С. 18-25.
6. Котельникова О.С. Условия труда и идентификация производственных факторов / О.С. Котельникова, А.Ю. Перятинский // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19–23 апреля 2021 года. Том 2. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 16.
7. Перятинский А.Ю. Основные факторы, влияющие на травматизм при строительно-монтажных работах / А.Ю. Перятинский, А.В. Тулина, Н.П. Гаврилова // Уральский промышленник. – 2015. – №2. – С.44-45.
8. Карнаух Н.Н. Учебно-методические материалы для обучения и повышения квалификации менеджеров средств индивидуальной защиты: учебное пособие / Н.Н. Карнаух, В.Е. Родин, Ю.Г. Сорокин - М.: ЭНАС, 2010. – 483 с.
9. Юдина Э.И. Анализ и оценка вероятности возникновения производственного травматизма на ОАО «ММК» // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – №11. – С. 11-14.
10. Сомова Ю.В. OHSAS 18001:2007 и аудит СУПБОТ / Ю.В. Сомова, В.А. Сомов, В.В. Держаков, В.А. Держаков // Уральский промышленник. – 2015. – №2. – С.40-41.
11. Курков Ю.Б. Исследование динамики и причин производственного травматизма на предприятиях Амурской области / Ю.Б. Курков, Г.В. Пчелинова // Природообустройство и строительство: наука, образование, практика: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Володина Н.Л. Система менеджмента качества // ЭКОНОМИНФО. 2016. – № 25 – С.86-88.

12. Ильина О.Ю. Оценка остаточного ресурса как элемент повышения безопасности промышленных объектов / О.Ю. Ильина, В.В. Держаков, А.В. Держаков // Уральский промышленник. – 2015. – №2. – С.35-36.
13. Карпов Р.Е. Анализ причин и профилактика производственного травматизма в строительной отрасли / Р.Е. Карпов // Инновационная наука. – 2018. – № 6. – С. 27-31.
14. Булавка Ю.А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии // Вестник полочского государственного университета. – 2011. – С.130-138.
15. Боброва З.М., Сомова Ю.В., Сомов Ю.В., Держаков В.В. Причины и анализ производственного травматизма на металлургических предприятиях // Уральский промышленник. – 2015. – №2. – С.49-51.
16. Сычугов Д.П., Сомова Ю.В. Выбор приоритетных направлений по снижению уровня риска для обеспечения безопасных условий труда // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. – 2020. – С. 8.
17. Налимова И.Ю. Несчастные случаи на производствах Челябинской области и пути их предупреждений // Охрана и экономика труда. – 2010. – № 1. – С. 66-67.
18. Сомова Ю. В. Исследование человеческого фактора в системе человек-техническая система-производственная среда с целью повышения безопасности труда на основе этиологии несчастных случаев / Ю.В. Сомова, Т.В. Свиридова, Э.И. Соколова // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 14 февраля 2020 года / Редколлегия: А.А. Горохов. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 304-310.
19. Обеспечение устойчивости откосов бортов карьеров с целью предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Перятинский А.Ю., Сомова Ю.В. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 14. – № 4. – С. 5-10.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.847:677.017

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0027

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 8637-9382

AuthorID: 791868

ORCID: 0000-0003-1485-4771

ЗЕЛИНСКАЯ Ирина Алексеевна, старший преподаватель кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева

(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский просп., 149, e-mail: mchssmirnova@mail.ru)

Аннотация. Целью исследования было изучение влияния углеродных наноструктур на термическую стойкость арамидного волокна в условиях горения углеводородов, а также разработка рекомендаций для технологии наномодифицирования тканей. В качестве объекта исследования использовалась арамидная ткань, обработанная силиконовой смолой, модифицированной углеродными наноструктурными компонентами, обладающими рядом уникальных свойств и позволяющими создавать материалы с улучшенными характеристиками и свойствами. Экспериментальная часть включала исследование термического окисления астраленов и образцов наномодифицированных тканей методом термогравиметрии, исследование термической стойкости тканей к контакту с нагретыми твёрдыми поверхностями, устойчивости материалов к воздействию открытого пламени и воздействию теплового потока. На основании полученных экспериментальных данных сделаны выводы о повышении эксплуатационных характеристик систем тепловой защиты в условиях горения углеводородов. Данные результатов исследований отражают возможность применения астраленов в качестве структурных модификаторов конструкционных материалов для улучшения эксплуатационных характеристик тканевых материалов.

Ключевые слова: астралены, арамидный материал, термическая стабильность, нефтепродукты, поражающие факторы, безопасность

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF NANOMODIFIED COMPONENTS OF THERMAL PROTECTION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF HYDROCARBON FIRE

© The Author(s) 2022

ZELINSKAIA Irina Alekseevna, senior lecturer of the department of retraining and professional development of specialists

Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia

(196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy prospect 149, e-mail: mchssmirnova@mail.ru)

Abstract. The aim of the study was to study the effect of carbon nanostructures on the thermal stability of aramid fiber under the conditions of hydrocarbon combustion, as well as to develop recommendations for the technology of fabric nanomodification. The object of study was an aramid fabric treated with silicone resin modified with carbon nanostructured components, which have a number of unique properties and make it possible to create materials with improved characteristics and properties. The experimental part included the study of the thermal oxidation of astralenes and samples of nanomodified tissues by thermogravimetry, the study of the thermal resistance of tissues to contact with heated solid surfaces, the resistance of materials to open flame and heat flow. On the basis of the experimental data obtained, conclusions were drawn about the increase in the performance characteristics of thermal protection systems in the conditions of hydrocarbon combustion. The data of the research results reflect the possibility of using astralenes as structural modifiers of structural materials to improve the performance characteristics of fabric materials.

Keywords: astralenes, aramid material, thermal stability, petroleum products, damaging factors, safety.

Для цитирования: Зелинская И.А. Исследование свойств наномодифицированных компонентов систем тепловой защиты в условиях горения углеводородов / И.А. Зелинская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 172-177. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0027.

Введение. В настоящее время в условиях жестких экономических санкций в Российской Федерации началась тенденция развития отечественных технологий. Многие промышленные предприятия расширяют спектр производимой продукции, активно внедряют новые технологические процессы в действующие производства, что увеличивает

пожарную опасность на предприятиях.

Для обеспечения безопасности новых производственных процессов возведение строительных конструкций не всегда представляется возможным. В таких случаях целесообразно применение мобильных противопожарных экранов, штор, занавесов и других преград [1, 2]. Данные конструкции предназ-

начены для защиты человека и материальных ценностей от теплового воздействия пламени и продуктов горения, а также огнетушащих составов. В состав конструктивных элементов систем тепловой защиты входят различные огне- и термостойкие ткани, состоящие из арамидных волокон. Сложные волокна (органические полимеры) являются горючими веществами (термопластами и реактопластами), которые в условиях высокотемпературных воздействий могут гореть и плавиться, что является важным фактором снижения эффективности систем противопожарной защиты [3, 4].

При пожарах в емкостях, технологических установках с вязкими и легкозастиывающими нефтепродуктами (мазут, масла и др.) возможны не только взрывы, но вскипание и выброс нефтепродуктов, сопровождающиеся бурным горением вспенивающейся массы [5]. При этом способствует быстрому распространению пожара, а также в зону поражения возможно попадание персонала предприятия и личного состава пожарных подразделений, работающих на тушении [6-8].

При разработке материалов для тепловой защиты внимание также должно уделяться снижению горючести. Однако материалы из смеси натуральных и химических волокон, из-за различия их химического

строения и свойств, трудно поддаются огнезащитной обработке, поэтому проблема снижения горючести таких материалов имеет особое значение.

Разработка методов снижения горючести материалов, выявление закономерностей процессов пиролиза и термической деструкции композитов приобретают исключительно важное научное и практическое значение для тепловой защиты оборудования промышленных предприятий.

Решению этих задач может способствовать использование в тканях модифицированных композитов на основе углеродных наноструктур (УНС). Введение УНС в структуру композита влияет на свойства и структуру полимерного связующего, а также на композиционный материал в целом [9, 10].

Проведенные исследования [11-13] позволяют сделать вывод о том, что модифицированные различными способами углеродные наночастицы даже при малых концентрациях могут успешно применяться для повышения физико-механических и тепловых характеристик материала.

Анализ способов модификации тканевых материалов углеродными наноструктурами в целях повышения их эксплуатационных характеристик позволил выделить основные способы модификации и оптимальные концентрации УНС (табл. 1).

Таблица 1 – Сведения о способах модификации тканевых материалов углеродными наноконпонентами

Вид наночастиц + базовый материал	Концентрация наночастиц, % масс.	Наблюдаемый эффект
MWCNT + эпоксидная смола E51	0,01...0,5	Повышение температуры разложения с 361 до 387°C; повышение предела прочности с 58,5 до 128,94 МПа; снижение температуры стеклования с 76 до 69°C.
DWCNT + эпоксидная смола SC-15	0,05...1	Увеличение трещиностойкости с 0,65 до 0,8 МПа; уменьшение коэффициента теплового расширения на 40...70%; повышение температуры стеклования с 85 до 105°C; увеличение значения деформации разрушения на 50%.
MWCNT + полиметилакрилат (ПММА)	4...26	Термическая деградация ПММА при 350...450°C (без MWCNT при 320...450°C).
Силиконовый эластомер (ПМВС 110-2) с 0,15-0,18%. Отвердитель дикумилпероксид (DCP). CO ₂ с чистотой 99,99% был используется в качестве физического вспенивающего агента	УНТ, длина: 10-30 мкм, наружные диаметры: 10-20 нм,	Результаты показали, что однородно диспергированные УНТ значительно усиливали матрицу ПМВС из-за сильного взаимодействия между молекулярной цепью и УНТ. Температура начала термического разложения нанокompозита была увеличена на 60°C с введением УНТ (0,5 мас. %).
Смола Araldite LY 5052 с ангидридом отвердителя (Aradur 5052).	MWCNT диаметр и длина 15 нм и 2 мм	Нанокompозиты, содержащие длинные углеродные нанотрубки (2091 нм и 1689 нм), обладают более высокой прочностью на разрыв, модулем упругости, деформацией разрушения и вязкостью разрушения по сравнению с нанокompозитами, содержащими короткие углеродные нанотрубки (1332 нм, 992 нм-УНТ и 503 нм-УНТ).
Ткань из чистого базальта с гладким переплетением, изготовленная из ровнитового ровинга 116 текс, 204 г/м ² .	Силикон, Bluesil RTV 3428 А и В.	После обработки плазмой, угол соприкосновения уменьшил от 109° к 47° и ткань стала гидрофильной, с временем поглощения 1.6 сек сравненным до 39 сек для ООН-определенной размер ткани.
Эпоксидный клей, ацетон, спирт	Астралены, 0,25–1,0	Увеличение температуры начала термической деструкции на 32°C, температуры воспламенения вещества на 67°C, температуры окончания экзотермических процессов, температуры начала термической деструкции и воспламенения.

Целью настоящего исследования было изучение влияния углеродных наноструктур (астраленов) на термическую стабильность полученных композитов и прочностные свойства материалов арамидных тканей, входящих в состав конструктивных материалов си-

стем тепловой защиты при термическом воздействии, соответствующим условиям горения нефтепродуктов [14].

Методология. В качестве объекта исследования являются полиарамидные нити, модифицированные

силиконовыми композициями, содержащими углеродные наночастицы. В качестве модификатора использовались углеродные наноструктуры – астралены [15, 16].

Исследуемые составы были получены путем смешивания наномодифицированного отвердителя (компонент В) и полимерного связующего на основе эпоксидных смол (компонент А). Перед смешиванием компонентов в отвердитель вводились астралены в концентрации 0,001-0,1 масс.%. Астралены диспергировались при воздействии источника ультразвука с частотой 100 кГц в течение 15 мин при температуре 40°C. Образцы были получены путем вулканизации нанесенного полимерного покрытия, состоящего из полимера и отвердителя в соотношении 6:1 при температуре 180°C.

Перечень образцов, использованных в исследовании, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Наименование и концентрации образцов, использованных в исследовании

Наименование образца	Базовый материал	Концентрация астраленов, масс.%
Sil	Силикон	0
Sil+Astr0,01	Силикон	0,01
Sil+Astr0,1	Силикон	0,1
Ar	Арамидное волокно	0
Ar+Sil	Арамидное волокно + силикон	0
Ar+Sil+Astr0,001	Арамидное волокно + силикон	0,001
Ar+Sil+Astr0,01	Арамидное волокно + силикон	0,01

Для исследования термической стабильности образцов силиконовой смолы и наномодифицированных тканей использовался дериватограф «Термоскан-2» (производитель: ООО «Аналитприбор», г. Санкт-Петербург) [17]. Параметры исследования: Среда: воздух, скорость повышения температуры в камере печи: 10°C/мин, максимальная температура: 500°C.

Исследование влияния астраленов на устойчивость материалов к контакту с нагретой металлической поверхностью до 400°C проводилось по ГОСТ Р 53264-2009. В состав установки входит электропечь «ПЛ-18» (производитель: ЗАО «НАКАЛ»), держатель образцов с габаритными размерами 100x50x80 мм и контактирующей пластины, изготовленной из керамических мате-

риалов с габаритными размерами 140x140x6 мм. Во время проведения исследований в электропечи постоянно поддерживалась температура 400±5°C, время выдержки каждого образца в электропечи составило 7 с. После контакта с нагретой металлической поверхностью, образцы были подвергнуты разрушению с использованием разрывной машины «Plus LRX» (производитель: «Lloyd Instruments Ltd.», Великобритания).

Определение устойчивости наномодифицированных материалов к воздействию теплового потока плотностью 5 кВт/м² в течении 240 с проводилось по ГОСТ Р 53264-2009 и BS EN 469:2005. В качестве источника излучения использовалась радиационная панель размером 200x150 мм с нагревательным элементом в виде спирали из нихромовой проволоки. Для измерения и регулировки температуры использовался прибор «Теромодат» (производитель: ООО НПП «Системы контроля») и преобразователь температуры «ТП-200»0 (ТУ 4211-002-02567567-04). После воздействия теплового потока, образцы были повергнуты разрушению с использованием разрывной машины «Plus LRX» (производитель: «Lloyd Instruments Ltd», Великобритания). Для обработки результатов измерений использовалось программное обеспечение «NEXYGEN Plus».

Исследование по определению устойчивости материалов к воздействию открытого пламени проводилось по ISO 6941-99 (время воздействия открытого пламени: 15 с, размеры между установочными шпильками прямоугольной рамки 110x40 мм, размеры образцов: 140x60 мм). После воздействия открытого пламени было определено остаточное горение исследуемых образцов.

Результаты. Модифицирование силиконов астра-ленами приводит к течению экзотермической реакции при более высокой разнице температуры между исследуемым и эталонным образцами (табл. 3)[18].

При увеличении массовой концентрации астра-ленов в силиконовой смоле происходит большее поглощение экзотермического эффекта в заданном температурном диапазоне (рис. 1, 2).

Для арамидного волокна пропитанного смолой, модифицированной астра-ленами 0,001 масс.%, пики потери массы смещены в область более высоких температур, что подтверждает повышение стойкости образцов к термическому воздействию (рис. 3) [19].

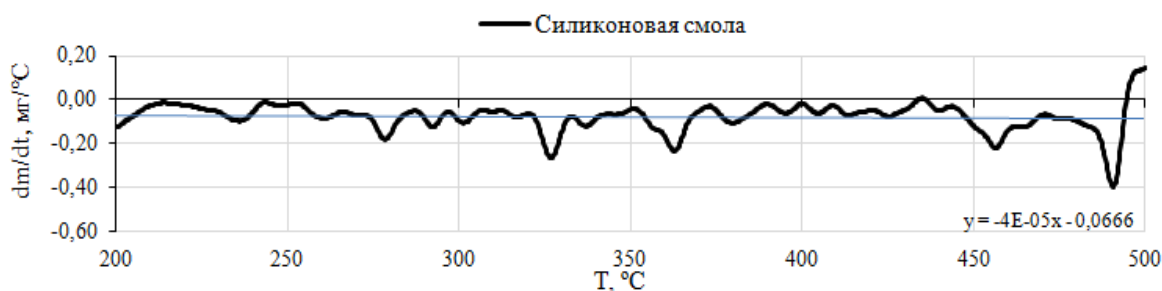


Рисунок 1 – ТГА-термограмма силиконовой смолы

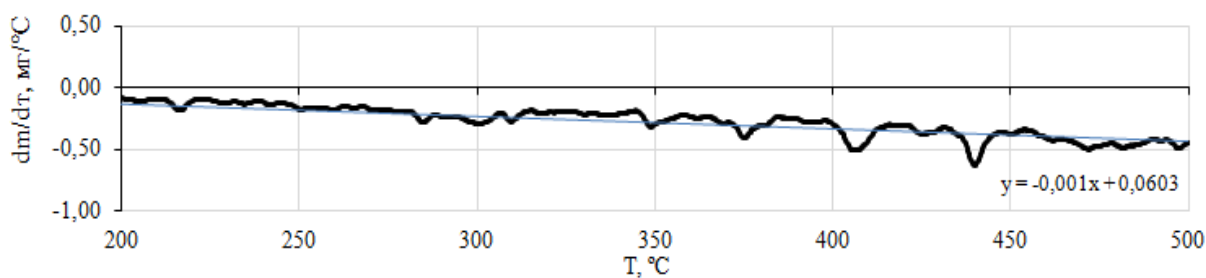


Рисунок 2 – ТГА-термограмма арамидного волокна

Таблица 3 – Анализ результатов исследований термической стабильности образцов

Наименование образца	Пик 1	Пик 2	Пик 3	Пик 4	Пик 5
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
Sil	276	325	361	454	489
Sil+Astr0,01	-8	-3	+28	+1	-5
Sil+Astr0,1	+8	-1	+19	-6	-18
Ar	214	282	373	404	438
Ar+Sil	+38	+18	+25	+11	+13
Ar+Sil+Astr0,001	-	+11	+14	+25	+40
Ar+Sil+Astr0,01	+44	+33	-7	-	+18

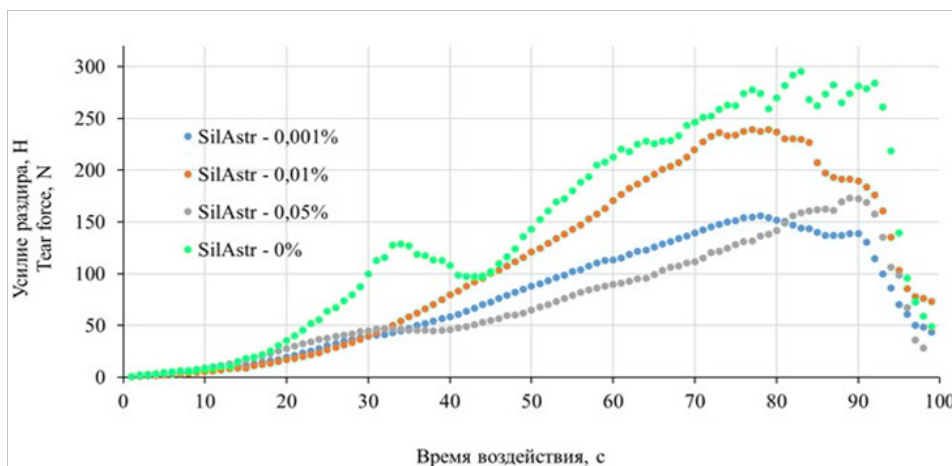


Рисунок 3 – Усилие раздира материала при воздействии теплового потока

Исследования показали, что образец материала с нанесенными на него астраленами с концентрацией 0,01 масс.% выдерживает максимальное усилие раздира в 239,37 Н, после воздействия теплового потока плотностью 5 кВт/м² в течение 4 мин, материал с концентрацией астраленов 0,05 масс.%

выдерживает максимальное усилие раздира в 173,08 Н, наименьшую устойчивость к раздиру в 155,99 Н, выдерживает материал с астраленами концентрация которых составляет 0,001 масс.% (рис. 4) [20]. Наибольшее усилие к раздиру в 295,11 Н выдержал материал, необработанный астраленами.

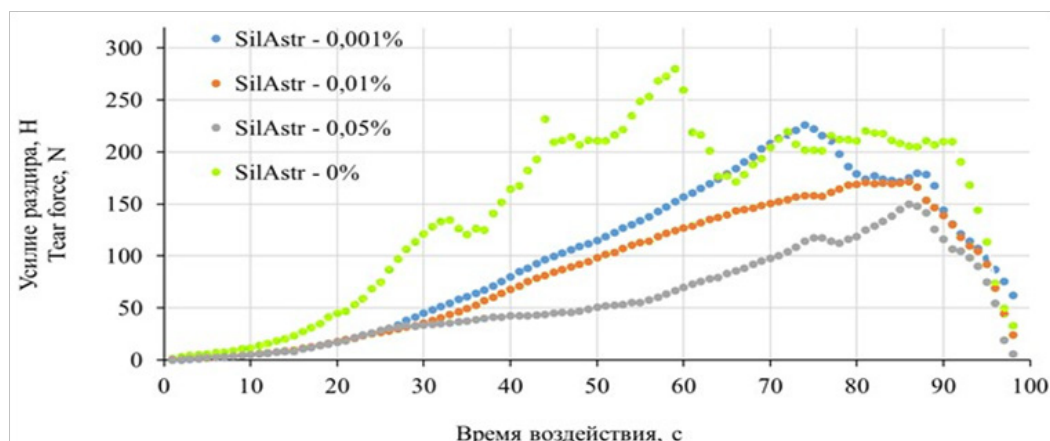


Рисунок 4 – Усилие раздира материала после воздействия теплового потока

Проведенный анализ результатов исследования, после контакта образцов с нагретой поверхностью до 400°C в течении 7 с показал, что наибольшее усилие к раздиру в 279,91 Н выдержал материал, необработанный астраленами. Усилие раздира в 171,04 Н выдержал материал с нанесенными на него астраленами с концентрацией 0,01 масс.%. Образец материала с концентрацией астраленов 0,001 масс.% выдерживает максимальное усилие раздира в 225,64 Н, наименьшее усилие раздира в 149,43 Н, выдержал материал с астраленами, концентрация которых составила 0,05 масс.%.

Обсуждение. Применение углеродных наноматериалов способствует повышению эксплуатационных характеристик текстильных материалов таких как: термостойкости, прочности и устойчивости к контакту

с нагретой металлической поверхностью [21, 22]. Экспериментальные исследования влияния углеродных наноструктур на эксплуатационные характеристики материала показали, что углеродные наноструктуры с концентрацией астраленов 0,001 масс.% наиболее эффективны и устойчивы к воздействию открытого пламени. Повышение концентрации астраленов до 0,05 масс.% приводит к снижению эксплуатационных характеристик и увеличению остаточного горения материала. Концентрация астраленов до 0,01 масс.% способствует поддержанию и распространению горения по поверхности материала. Проведенное исследование позволило разработать рекомендации для технологии наномодифицирования материалов защитных экранов с целью повышения тепловой и огнезащиты (рис. 5).

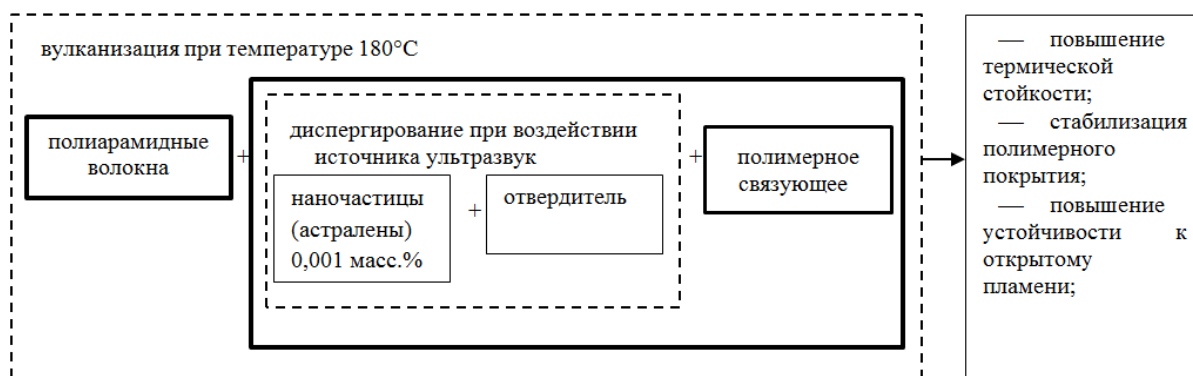


Рисунок 5 – Технология наномодифицирования тканевых материалов

Выводы. Модификация полимерного покрытия астраленами снижает общую потерю массы материала при термическом воздействии, относительно образца с не модифицированным полимерным покрытием. Увеличение массовой концентрации астраленов в полимерном слое до 0,01 масс.% приводит к повышению показателя остаточной массы образца после теплового воздействия.

Для полимерного покрытия, модифицированного астраленами с массовой концентрацией 0,01 масс.% характерно начало термической деструкции при более высоких температурах, а сама экзотермическая реакция проходит с меньшим выделением тепла, что говорит о повышении термической стойкости и стабилизации полимерного покрытия.

По результатам термического анализа можно сделать вывод, что применение астраленов в модификации полимерного покрытия приводит к снижению потери массы при термическом воздействии, а также повышает термическую стабильность при температурах выше 400°C.

В качестве рекомендаций по применению термостойких тканей для противопожарной защиты оборудования промышленных предприятий предлагается разработка мобильных термостойких экранов на основе композитов с применением в качестве модификаторов астраленов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Еремина Т.Ю. Некоторые вопросы обеспечения пожарной безопасности зданий аэропортов / Т.Ю. Еремина, В.Е. Фадеев // Пожарная безопасность. – 2015. – № 2. – С. 144-151. – EDN UAAQJ.
2. Puri R. G., Khanna A. S. Intumescent coatings: A review on recent progress // Journal of Coatings Technology and Research. – 2017. – Т. 14. – №. 1. – С. 1-20. DOI: 10.1007/s11998-016-9815-3.
3. Механические свойства волокон и нитей: Метод. указания / Сост.: ВолгГТУ. Волгоград, 2001
4. Bourbigot S. и др. Recent advances for intumescent polymers // Macromolecular Materials and Engineering. – 2004. – Т. 289. – №. 6. – С. 499-511. DOI:10.1002/mame.200400007.
5. Morgan A.B, Wilkie C.A. Flame retardant polymer nanocomposites // John Wiley & Sons. – 2007. – 422 с.
6. Поляхин П.В., Чебуханов М.А. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. - М.: ВНИИПО, 2020, - 80 с.: ил. 30
7. Кисляков Р.А., Иванов А.В., Панкратов И.А. Направления совершенствования материалов и тканей для боевой одежды пожарного // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. С. 101–103.
8. Пашенко Максим Евгеньевич, Григорьев Алексей Николаевич Методы и средства защиты человека при тушении пожаров пеной // Научный журнал. 2019. №9 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sredstva-zashchity-cheloveka-pri-tushenii-pozharov-penoy>
9. Rabajczyk A. и др. Nanotechnology in Fire Protection – Application and Requirements. Materials. 2021. Т. 14. №. 24. С. 7849. DOI: 10.3390/ma14247849.
10. Domagała K. и др. Purification and functionalisation of

multi-walled carbon nanotubes. *Materials Letters*. 2019. T. 253. С. 272-275. DOI: 10.1016/j.matlet.2019.06.085.

11. Пат. на изобретение 2490288 С1, Российская Федерация, МПК:С08L83/04; С08L83/06; С09J183/04; С09J183/06, С09К21/02. Композиция на основе жидкого низкомолекулярного силоксанового каучука для огнестойкого материала / Хелевина О.Г. – №2012112569/05; заявл.30.03.12; опубл. 20.08.13; Бюл. № 23

12. Шайд А., Фургуссон М., Ван Л. Анализ термofизиологического комфорта ткани с наночастицами аэрогеля для защитной одежды пожарных //Химическая и материаловедческая техника. – 2014. – Т. 2. – №. 2. – С. 37-43.

13. Иванов А.В. и др. Исследование эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29. – №. 1

14. Папагеоргиу Д.Г., Кинлох И.А., Янг Р.Дж. Механические свойства графена и нанокомпозитов на основе графена //Прогресс в материаловедении. – 2017. – Т. 90. – С. 75-127.

15. Гуняев Г.М., Комаров О.А., Ильченко С.И., Алексаши В.М., Пономарев А.Н., Деев И.С., Никитин В.А. «Фуллероидные наноматериалы – активные структурные модификаторы полимеров и полимерных композитов»// Пластические массы, 2003, №10, с.15

16. Domagała K. и др. Purification and functionalisation of multi-walled carbon nanotubes. *Materials Letters*. 2019. T. 253. С. 272-275. DOI: 10.1016/j.matlet.2019.06.085.

17. Применение дериватографа кинетики термодеструкции образцов : методические указания / сост.: О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова, Г.Ж. Алпысбаева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2020

18. Shames, A.I. и др. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles // *Diamond and Related Materials*. – 2009. – Т.18 – №. 2-3. – С. 505-510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.

19. Rudyak, V.Y. Measurements of the temperature dependent diffusion coefficient of nanoparticles in the range of 295–600 K at atmospheric pressure // *Journal of Aerosol Science*. – 2009. – Т. 40. – №. 10. – С. 833-843. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2009.06.006.

20. Mukherjee, S. Preparation and stability of nanofluids-a review //IOSR Journal of Mechanical and civil engineering. – 2013. – Т. 9. – №. 2. – С. 63-69.

21. Кожитов Л.В., Запороцкова И.В., Козлов В.В. Перспективные наноматериалы на основе углерода // *NBI-technologies*. 2009. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-nanomaterialy-na-osnove-ugleroda>.

22. Смирнов А.Н. Физические основы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учеб. пос. / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков. – Режим доступа: <http://nashol.com>.

Статья поступила в редакцию 20.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.841.2.001.2

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0028

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ НАГРЕВЕ

© Автор(ы) 2022

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)*

SPIN: 8914-6416

AuthorID: 851719

ORCID: 0000-0001-5479-8271

ПАРИЙСКАЯ Анна Юрьевна, 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: anna_par.74@mail.ru)*

SPIN: 5453-9653

AuthorID: 69568

ORCID: 0000-0002-9415-5622

ПЬЯНКОВА Любовь Алексеевна, методист

ЗАО «Научные приборы»

(198095, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 52, lyuba_pyan@mail.ru)

Аннотация. Процесс теплового воздействия находится в центре внимания из-за его влияния на свойства медно-алюминиевых проводников. Среди множества факторов, влияющих на свойства металла, таких как восстановление, рекристаллизация и измельчение зерен, изменение фазового состава является одним из наиболее важных факторов, влияющих на характеристики материалов, и требует дальнейших исследований в различных областях материаловедения. В литературе имеется множество исследований, касающихся характеристик изменения фазового состава в последние десятилетия, что подчеркивает важность данного исследования. Изменение фазового состава также является основным фактором при оценке целостности материала в применимых условиях. В данной статье исследованы изменения микроструктурных характеристик и фазового состава омедненных проводников ССА-20 в температурном диапазоне 100–600°C методами XRD и СЭМ. Реперными маркерами для определения температуры воздействия на проводники являются появление на межфазной границе проводника фазы Al_2Cu при температурах выше 300°C, и существование в диапазоне температур 300–400°C фазы Al_4Cu_9 . Благодаря проведенным исследованиям можно определить температуры воздействия на омедненные алюминиевые проводники при проведении пожарно-технической экспертизы.

Ключевые слова: омедненные алюминиевые проводники, межфазные границы, температура отжига, изменение фазового состава.

COMPREHENSIVE STUDY OF CHANGES IN THE PHASE COMPOSITION OF COPPER-ALUMINUM CONDUCTORS DURING HEATING

© The Author(s) 2022

MOKRYAK Anna Vasievna, researcher of the department of calculative methods and informational technologies in the fire expertise

PARIYSKAYA Anna Iurevna, 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-mails: mokryakanna@mail.ru, anna_par.74@mail.ru)*

PYANKOVA Liubov Alekseevna, methodist

Joint Stock Company SCIENTIFIC INSTRUMENTS

(198095, Saint Petersburg, Marshala Govorova 52, e-mail: lyuba_pyan@mail.ru)

Abstract. The process of thermal exposure is in the spotlight because of its effect on the properties of copper-aluminum conductors. Among the many factors affecting the properties of metal, such as reduction, recrystallization and grain grinding, the change in phase composition is one of the most important factors affecting the characteristics of materials, and requires further research in various fields of materials science. There are many studies in the literature concerning the characteristics of the change in phase composition in recent decades, which underlines the importance of this study. The

change in phase composition is also a major factor in assessing the integrity of the material under applicable conditions. In this article, changes in the microstructural characteristics and phase composition of copper-plated CSA-20 conductors in the temperature range of 100-600°C are investigated by XRD and SEM methods. Reference markers for determining the temperature of exposure to conductors are the appearance of the phase Al_2Cu at the interfacial boundary of the conductor at temperatures above 300°C, and the existence of the phase Al_4Cu_9 in the temperature range 300-400°C. Thanks to the conducted studies, it is possible to determine the temperatures of exposure to copper-plated aluminum conductors during fire-technical expertise.

Keywords: copper-plated aluminum conductors, interfacial boundaries, annealing temperature, change in phase composition.

Для цитирования: Мокряк А.В. Комплексное исследование изменения фазового состава медно-алюминиевых проводников при нагреве / А.В. Мокряк, А.Ю. Парийская, Л.А. Пьянкова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 178-184. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0028.

Введение. Алюминиевый провод с медным покрытием (ССАВ или ССА) представляет собой электрический проводник, состоящий из внутреннего алюминиевого сердечника и внешней медной оболочки. Спрос на омедненные провода постоянно растёт, поскольку этот материал дешевле и легче, чем чистый медный провод, имеет более высокую электропроводность и прочность, чем у чистого алюминия, а электрические соединения обычно более надёжны, чем у чистого алюминия. Таким образом, омедненные провода относятся к объектам экспертных исследований, представляющих в настоящее время наибольший интерес. С одной стороны, они в большинстве случаев сохраняются после пожара, с другой – происходящие в них изменения протекают в широком температурном диапазоне и могут быть зафиксированы многими аналитическими методами, такими как рентгенофазовый анализ и метод электронной микроскопии.

Несмотря на значительный прогресс в исследованиях омедненных проводников, до сих пор не совсем ясны механизмы диффузии и химические реакции между Cu и Al , факторы, определяющие процесс спекания соединений $Cu-Al$, а также кинетика роста интерметаллических слоёв.

Так известно, что в зависимости от толщины медного покрытия и диаметра омедненного проводника виды и морфология межфазных интерметаллических соединений (ИМС) может существенно варьировать от температуры воздействия [1-2, 5, 9, 15]. При температуре 300-400°C в алюминиевых проволоках с медным покрытием вблизи границы Cu/Al могут образовываться интерметаллические микроstructures Al_2Cu , $AlCu$ и Al_4Cu_9 , появление которых сопровождается процессом объёмной диффузии [3-5]. Согласно фазовой диаграмме состояния $Cu-Al$, растворимость жидкой меди и алюминия бесконечна, тогда как растворимость твердой меди и алюминия ограничена. В результате твердотельных реакций при плазменной обработке поверхности образование тех же интерметаллических фаз связано с быстрой диффузией из-за наличия множества вакансий, дислокаций и границ зерен. Увеличение температуры и концентрации меди в системе до 30 ат. % приводит к образованию сначала стабильной $\theta-CuAl_2$, а затем при концентрации меди 50 ат.% $\eta-CuAl$ и $\zeta-Cu_{11}Al_9$, при 60 ат.% возможно су-

ществование $\delta-Cu_3Al_2$, при 70 ат.% – $\gamma-Cu_9Al_4$ [6-8, 18].

Цель данной работы – получение информации об изменении микроструктурных характеристик и фазового состава омедненных проводников в температурном диапазоне 100-600°C, для определения степени температурного воздействия и поведении проводников при пожарах.

Методология. В качестве объектов исследования использовали провод монтажный ПГВА «Автомобильный» 01-6531 1·1,5мм², изготовитель LIN'AN CF CO., LTD стандарт SJ/T 11223-2000: рассчитанная концентрация меди составила 20%, толщина медного слоя в данном проводнике 0,3 мм.

Исследуемые образцы проводов были предварительно подвержены температурному воздействию от 100 до 600°C, с интервалом в 100° и выдержкой соответственно 15, 30 и 45 мин. Отжиг проводился в муфельной печи МИМП – 10 П с программным управлением (ТУ 3443.008.24662585-04).

Исследование поверхности фрагментов медно-алюминиевых проводников, отожжённых при различных температурах и выдержках, проводилось методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на сканирующем электронном микроскопе *TESCAN VEGA\XMU* (производства фирмы *TESCAN*, Чехия) с вольфрамовым катодом и высоким вакуумом в камере при увеличениях до 5000^x, токе зонда 2 пА-40 нА, ускоряющем напряжении 20 кВ и рабочем расстоянии 15-47 мм. Контрастные изображения многофазных границ проводников получены с помощью *BSE*-детектора, в режиме обратно рассеянных электронов (производства фирмы *Oxford Instruments*, Великобритания) с энергетическим разрешением 127 эВ и активной площадью рабочего кристалла 80 мм². Определение элементного состава осуществлялось беззотным рентгенофлуоресцентным энергодисперсионным детектором *X-MAX 80* с площадью кристалла 80 мм² в режиме высокого вакуума, при ускоряющем напряжении 20-30 кВ и рабочем расстоянии 27 мм. Все спектры характеристического рентгеновского излучения (ЭДС-спектры) обрабатывались в программном пакете *INCA Energy*.

Рентгенофазовый анализ (*XRD*) проводников проводился в двух рентгено-оптических схемах – Брегга-Брентана на настольном рентгеновском дифрак-

тометре Дифрей-401к (производство АО «Научные приборы», Россия) и в схеме Дебая-Шеррера на настольном рентгеновском дифрактометре «РАДИАН» ДР-01 (производство ЗАО «НТЦ ЭКСПЕРТЦЕНТР», Россия). Регистрация дифракционных спектров проводников на дифрактометре Дифрей-401к выполнялась на хромовом аноде ($\lambda = 2,29091\text{\AA}$) (ток/ напряжение на трубке – 5 мА/25 кВ), детектор изогнутый позиционно-чувствительный (пространственное разрешение 300 мкм), радиус гониометра 114 мм, время набора спектра 43°/300 сек без вращения образца. Условия измерений на дифрактометре «РАДИАН» ДР-01: медный анод ($\lambda = 1,54051\text{\AA}$), (ток/напряжение

на трубке – 4,8 мА/30 кВ), детектор полосковый полупроводниковый ППД-К (пространственное разрешение 400 мкм), радиус гониометра 120 мм, скорость сканирования 0,05 °/3 сек с вращением образца.

Фазовый полуколичественный анализ осуществлялся в программном комплексе *Diffract*, база дифракционных данных – *PDF2*.

Результаты. В результате отжига омедненных алюминиевых проводников на границе *Al/Cu* развивается межфазная граница, поведение которой с изменением температуры отжига иллюстрируют электронно-микроскопические *BSE*-изображения продольного сечения проводника (рис. 1).

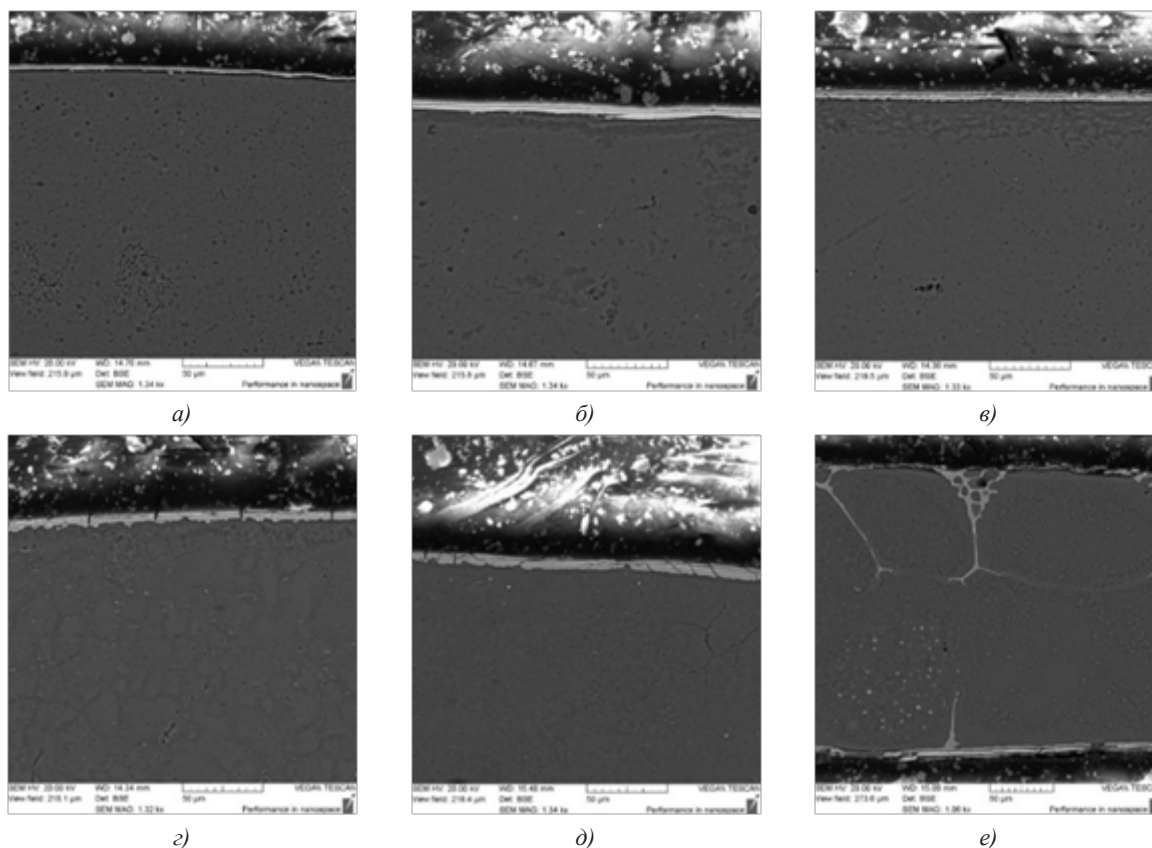


Рисунок 1 – *BSE*-изображения (1000 - 1300x) продольного сечения омедненного алюминиевого проводника после нагрева: а) 100 °С, б) 200 °С, в) 300 °С, г) 400 °С, д) 500 °С, е) 600 °С

На рисунке 1 прослеживается эволюция межфазных границ с изменением температуры отжига, где ярко белый цвет на фото соответствует меди, а темно-серый – алюминиевому сердечнику. Так на фото рисунка 1а отчетливо видно, что поверхность алюминиевого сердечника однородная с микроскопическими включениями различной формы, медный слой четкий. Последующий отжиг проводника при температурах 200-300°С приводит к увеличению толщины медного слоя (рис.1 б-в) и изменению характера поверхности алюминиевого сердечника на более «рыхлую».

При температурах отжига 400-500°С происходит растрескивание поверхностного медного слоя и увеличение его толщины (фото 1г, 1д), а на поверхности алюминиевого сердечника проявляются макроблоки.

При увеличении температуры отжига до 600°С медный слой расслаивается и по образовавшимся трещинам затекает в глубь проводника (фото 1 е). На поверхности алюминия видны включения светлого цвета округлой формы. При увеличении времени выдержки наблюдаемые картины при температуре отжига до 500°С существенно не меняются, однако при температуре 600°С увеличение времени выдержки до 30 и 45 минут приводит к увеличению ширины межфазной границы практически вдвое (рис.2).

Детальное исследование продольного сечения омедненного проводника методом СЭМ показало существенные различия в морфологии самой межфазной границы и позволило выделить образовавшиеся новые смешанные фазы интерметаллидов

при различных температурах отжига (рис. 3-4). Как показано на *BSE*-изображениях, за счет разницы контрастов наблюдаемая межфазная граница ста-

новится двухцветной при температуре отжига 300°C (рис.3 в), и трехцветная при температуре 400-500°C (рис.3 г-д).

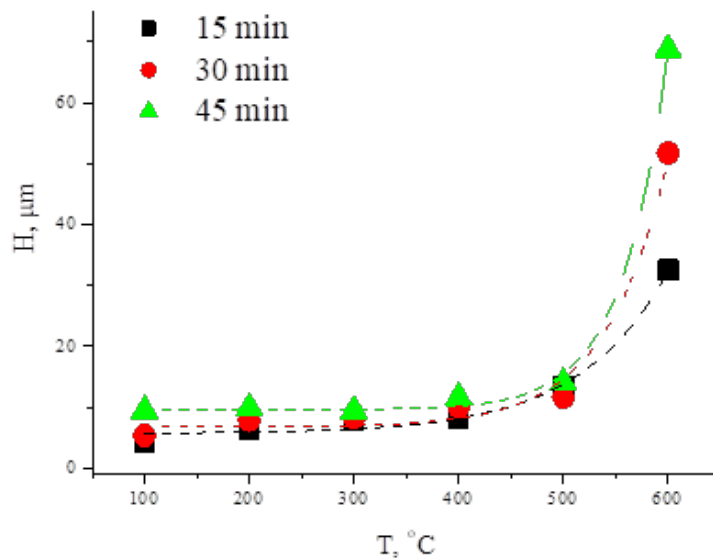


Рисунок 2 – Изменение толщины межфазной границы *Cu-Al* от температуры и времени выдержки (аппроксимация экспоненциальной функцией в программе Origin 7)

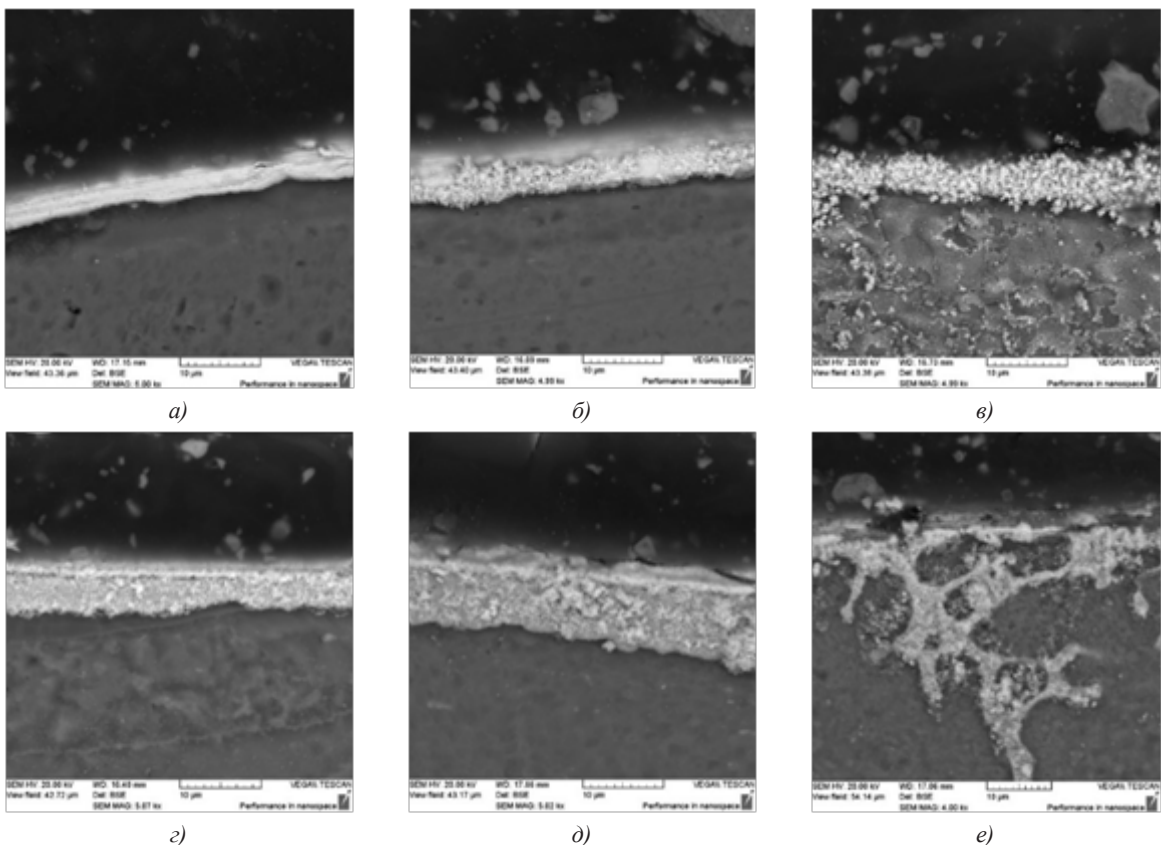


Рисунок 3 – Детальные *BSE*-изображения (4000 – 5000х) медного слоя на продольном сечении омедненного алюминиевого проводника после нагрева: а) 100 °С, б) 200 °С, в) 300 °С, г) 400 °С, д) 500 °С, е) 600 °С

Наблюдаемое разделение границ по цветам в обратных электронах и в кодах *RGB* по методу Оцу [9,10-14, 16-17] коррелирует с массовыми коэффициентами поглощения и рентгеновской плотностью фаз (табл. 1). Так самые большие участки темно-серого

(голубого) цвета относятся к сердечнику проводника алюминия $\mu_{Al}=153 \text{ см}^2/\text{г}$, а самые светлые (желтые) участки соответствуют медному покрытию ($\mu_{Cu}=156 \text{ см}^2/\text{г}$). Широкие слои ИМС появляющиеся после 300°C равномерно серого цвета соответствуют Al_2Cu ,

тонкие слои промежуточных цветов могут соответствовать Al_4Cu_9 и $AlCu$. Согласно [7-13, 20] на поздней стадии диффузии, после образования твердого раствора Al_2Cu , атомы Al диффундируют в границу раздела двух фаз, образуя таким образом фазу Cu_9Al_4 , что и демонстрирует BSE -изображение проводника отожжённого при $400^\circ C$ (рис. 4а).

ного при $400^\circ C$ (рис. 4а).

Проведенный рентгеноспектральный элементный анализ по четырем точкам в каждой зоне позволил рассчитать фазовый состав слоев межфазной границы и тем самым подтвердил обнаруженную ранее закономерность.

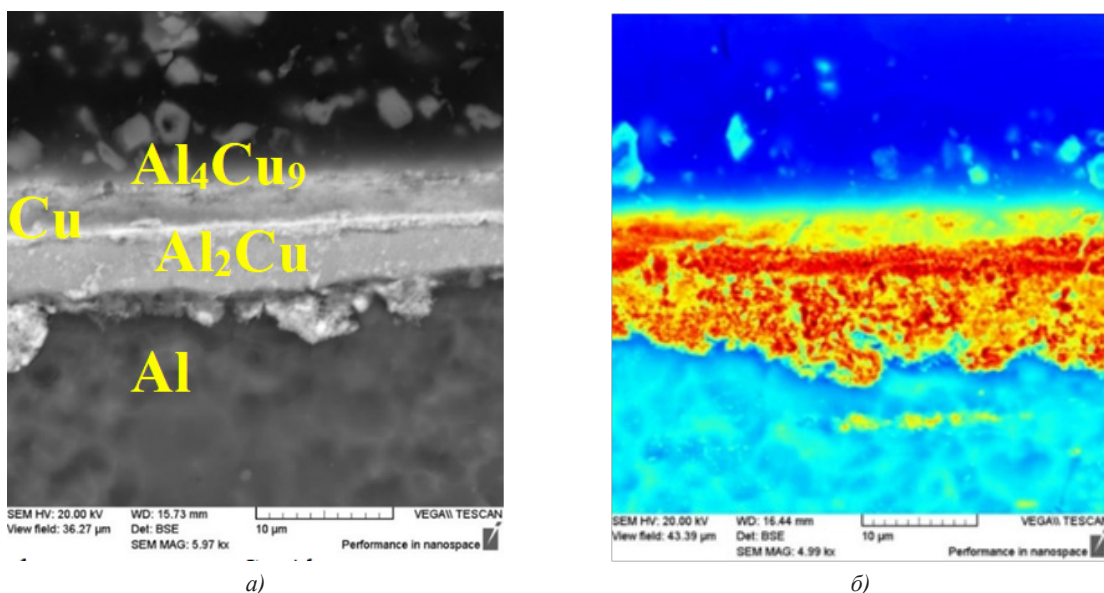


Рисунок 4 – Межфазная граница $Cu-Al$ с выделенными слоями интерметаллических соединений (Al_2Cu и Al_4Cu_9) при температуре $400^\circ C$: а) BSE -изображение, б) $СЭМ$ -изображение-обработка по методу $ОЦУ$.

Таблица 1 – Физические характеристики системы $Cu-Al$ (справочные, $СЭМ$ и XRD данные)

Фаза	Справочные и рассчитанные данные			По данным BSE		Существование фазы по данным XRD , при $T_{отжига}, ^\circ C$		
	$\rho, г/см^3$	$\mu_{Cu}^{-1}, мкм$	$\mu_{Cu}^{-1}, мкм$	RGB	Цвет	100-200	300-400	500-600
Al	2,7	24	73	0, 240, 255	Цвет морской волны	+	+	+
Al_2Cu	4,35	7	21	240, 48, 0	Алый	-	+	+
$AlCu$	5,35	15	44	255, 192, 16	Янтарный	-	-	-
Al_4Cu_9	6,85	9	27	240, 144, 16	Насыщенный оранжево-желтый	-	+	-
Cu	8,96	12	35	255, 255, 0	Желтый	+	-	-

Обсуждение. Результаты рентгенофазового анализа омедненных алюминиевых проводников в целом подтверждают данные BSE -анализа и показывают, что в процессе нагрева от 100 до $600^\circ C$, в системе $Cu-Al$ возможны следующие кристаллические фазы, регистрируемые на дифрактограммах: Al ($PDF2\#3-932$), Cu ($PDF2\#11-242$), $CuAl_2$ ($PDF2\#25-012$), Al_4Cu_9 ($PDF2\#65-1855$) и CuO ($PDF2\#8-1917$) (табл. 1).

Как следует из данных рентгенофазового анализа, при температуре $100-200^\circ C$ – проводник не претерпевает каких-либо изменений, а на дифрактограммах присутствуют четкие дифракционные максимумы алюминия и меди (рис. 5). При отжиге $300^\circ C$ на дифрактограммах появляются дифракционные максимумы соединения $CuAl_2$ и в небольших концентрациях фаза Cu_9Al_4 , которая затем исчезает при температурах выше $400^\circ C$. Дифракционные пики меди полностью исчезают при отжиге $400^\circ C$, при этом на дифрактограммах появляется аморфное гало, по структурным характеристикам близкое к оксиду меди.

Наблюдаемые закономерности (рис. 5) проявляются как на медном, так и хромовом излучениях, но в силу разной глубины проникновения рентгеновского луча к анализируемой поверхности (мкм) (табл. 1) интенсивности дифракционных максимумов ИМС отличаются. На рисунке 6 приведены данные зависимости концентраций фаз меди и $CuAl_2$ от температуры отжига проводников, полученные на двух анодах также отличается между собой, поскольку хромовый анод в три раза чувствительнее к малой концентрации тонких слоев, образующихся на межфазной границе системы $Cu-Al$ интерметаллидов.

В целом, данные полученные на двух дифрактометрах с разными анодами коррелируют между собой – концентрация слоя меди монотонно уменьшается с увеличением температуры отжига до $300^\circ C$, а концентрация слоя ИМС, как и ширина межфазной границы от 300 до $600^\circ C$ в термообработанных образцах увеличивается. Рассчитанная объемная доля суммы двух ИМС Cu_2Al и Cu_9Al_4 в термооб-

работанных образцах варьирует от 0,1 (300°C) до 0,15 (400°C) и 0,3 (600°C). Это полностью соответствует работе [6], где показано, что объемная доля ИМС

зависит от конечного диаметра проволоки и условий термообработки, варьируясь от 0,03 (диаметр 3 мм – 400°C 30 мин) до 0,26 (диаметр 1 мм – 400°C 6 часов).

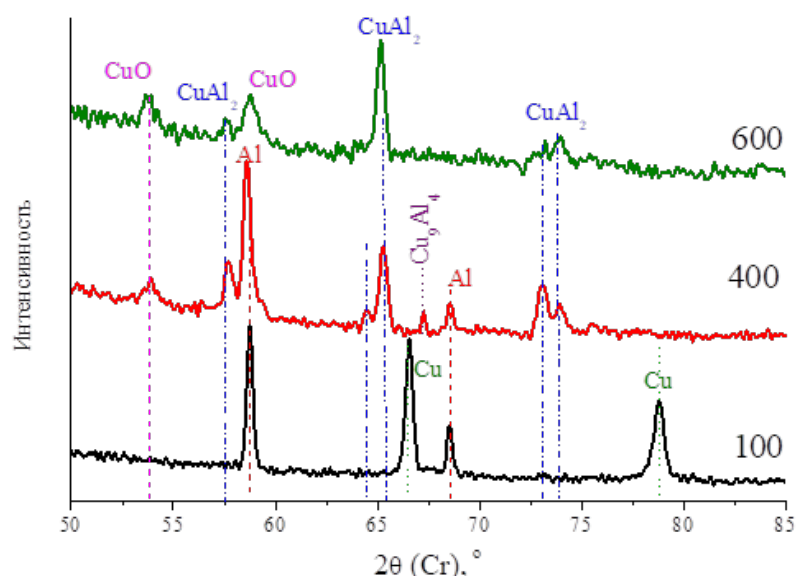


Рисунок 5 – Фрагменты дифрактограмм омедненных алюминиевых проводников после отжига

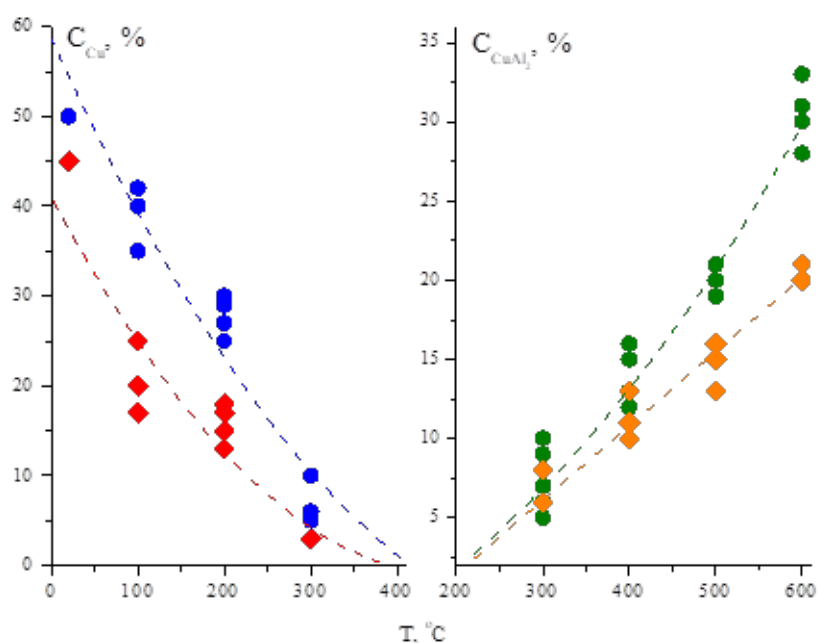


Рисунок 6 – Изменение концентрации фаз Cu и Cu_2Al с увеличением температуры отжига, полученные на медном (ромбы) и хромовом (кружки) аноде источника рентгеновского излучения

Выводы. Исследование методами СЭМ, BSE и XRD микроструктурных характеристик и фазового состава омедненных алюминиевых проводников в температурном диапазоне 100-600°C показали корреляцию данных, полученную разными методами анализа. Отмечено, что при увеличении температуры отжига проводников происходит изменение межфазной границы в системе $Al-Cu$ с образованием насыщенных твердых растворов, которые могут образовываться по обе стороны границы раздела за счет взаимной диффузии. По

мере увеличения температуры отжига атомы Cu и Al непрерывно диффундируют друг в друга, образуя новые типы интерметаллических соединений. Согласно уравнению свободной энергии Гиббса, наиболее стабильной фазой является Al_2Cu [4, 7], которая имеет наибольшую объемную долю среди ИМС во всех образцах. Следующая стабильная фаза Al_4Cu_9 существует в узком температурном интервале 300-400°C, и концентрация ее в 2 раза меньше, чем фазы Al_2Cu .

Таким образом, появление на межфазной границе

проводника фазы Al_2Cu при температурах выше $300^\circ C$, и существование в диапазоне температур $300-400^\circ C$ фазы Al_4Cu , можно считать реперными значениями для определения температуры воздействия на омедненные алюминиевые проводники при проведении пожарно-технической экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гуров К.П., Карташкин Б.А., Угасте Ю.Э. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. М.: Наука, 1981. – 352 с.
2. A. Gueydan, B. Domengès, P. A. Dubois & E. Hug Thermokinetic analysis of intermetallic growth in copper clad aluminium wires // Materials Research Innovations, Volume 17(2), 2013. – P.124-128.
3. Трыков Ю.П., Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Абраменко С.А. Свойства слоистых интерметаллидных композиций системы Cu-Al, полученных по комплексной технологии // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. – № 5. – С. 51–55.
4. Шморгун В.Г., Кулевич В.П., Савченко В.В. Механизм контактного плавления в системе Al-Cu // Ж. Известия Волгоградского государственного технического университета, № 2 (181), 2016, с. 21-24.
5. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.
6. Toroghinejad M.R., Jamaati R., Dutkiewicz J., Szpunar J.A. Investigation of nanostructured aluminum/copper composite produced by accumulative roll bonding and folding process Mater. Des. 51 (2013), pp. 274-279.
7. Zhang H., Dong X. Experimental and numerical studies of coupling size effects on material behaviors of polycrystalline metallic foils in microscale plastic deformation Mater. Sci. Eng. A, 658 (2016). – pp. 450-462.
8. Sasaki T., Morris R., Thompson G., Syarif Y., Fox D. Formation of ultra-fine copper grains in copper-clad aluminum wire Scr. Mater., 63 (5) (2010). – pp. 488-491
9. Rhee K., Han W., Park H., Kim S. Fabrication of aluminum/copper clad composite using hot hydrostatic extrusion process and its material characteristics Mater. Sci. Eng. A, 384 (1) (2004). – pp. 70-76
10. Guo Y., Qiao G., Jian W., Zhi X. Microstructure and tensile behavior of Cu-Al multi-layered composites prepared by plasma activated sintering Mater. Sci. Eng. A, 527 (20) (2010). – pp. 5234-5240
11. Шморгун В.Г. Влияние высокотемпературной термообработки на структуру и механические свойства медно-алюминиевых и титано-стальных СКМ/ В.Г. Шморгун, Ю.П. Трыков, О.В. Слаутин, Д.Ю. Донцов, С.А. Абраменко // Новые перспективные материалы и технологии их получения. НГПМ-2007: Сб. науч. тр. междунар. конф./ ВолГТУ и др. – Волгоград, 2007. – С. 239-240.
12. Трыков Ю.П. Исследование особенности деформирования при холодной прокатке сваренного взрывом медно-алюминиевого трехслойного СКМ/ Ю.П. Трыков, В.Г. Шморгун
13. Jin T., Li G., Cao Y., Xu, R. Shao S., Yang B. Experimental research on applying the copper-clad aluminum tube as connecting tubes of air conditioners Energy Build. – 97 (2015). – pp. 1-5
14. Kuncicka L., Kocich R., Dvorak K., Machackova A. Rotary swaged laminated Cu-Al composites: effect of structure on residual stress and mechanical and electric properties Mater. Sci. Eng. A, 742 (2019). – pp. 743-750
15. Шморгун В.Г. Оптимизация процесса формирования переходной зоны в медноалюминиевом интерметаллидном композите, полученном с помощью комплексной технологии/ В.Г. Шморгун, Ю.П. Трыков, О.В. Слаутин, С.А. Абраменко // Новые перспективные материалы и технологии их получения (НГПМ) – 2004: Сб. науч. тр. Междунар. науч. конф./ ВолГТУ и др. – Волгоград, 2004. – Т. II. – С. 265-266.
16. Шморгун О.В., Слаутин В.М., Волчков С.А., Абраменко // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Матер. II Всерос. конф., г. Камышин, 20-23 мая 2003 г. / Камышин. технол. ин-т (филиал) ВолГТУ и др. – Камышин, 2003. – Т. I. – С. 229-230.
17. Трыков Ю.П. Механические свойства СКМ системы Cu-Al с рассредоточенными интерметаллидными фрагментами на межслойных границах/ Ю.П. Трыков, В.Г. Шморгун
18. Шморгун С.А. Абраменко, О.В. Слаутин // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. III Всерос. конф., г. Камышин./ КТИ (филиал) ВолГТУ и др. – Камышин, 2005. – Т. 2. – С. 63-64.
19. Шморгун В.Г. Механические свойства медно-алюминиевого СИК в интервале температур 20-950 град. / В.Г. Шморгун, Ю.П. Трыков, С.А. Абраменко // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. III Всерос. конф., г. Камышин/ КТИ (филиал) ВолГТУ и др. – Камышин, 2005. – Т. 2. – С. 74-75.
20. Слаутин О.В. Механические свойства слоистой интерметаллидной медноалюминиевой композиции при повышенных температурах/ О.В. Слаутин, С.А. Абраменко, В.Г. Шморгун, Ю.П. Трыков // VIII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Тезисы докладов / ВолГТУ и др. – Волгоград, 2004. – С. 164-166.

Статья поступила в редакцию 30.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.841.4:004.9

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0029

**СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕТУШАЩИХ И ЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ**

© Автор 2022

SPIN: 6886-9928

AuthorID: 792929

ORCID: 0000-0002-4854-9321

ResearcherID: A-3805-2015

ИВАНОВ Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Пожарная безопасность технологических процессов и производств»
*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
(196105, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149, e-mail: ivanov.av@igps.ru)*

Аннотация. Создание новых материалов является необходимым условием развития индустриального общества нового поколения в условиях возрастающих рисков пожаров и чрезвычайных ситуаций. Производство материалов с применением нанотехнологий всегда связано с большими затратами на экспериментальные исследования, созданием дорогостоящих опытных образцов продукции и высокой долей неудачных проектов, что сдерживает развитие производства, особенно в условиях современной геополитической и экономической изоляции страны. Для обеспечения технологического суверенитета государства в области высокотехнологичного производства необходимо применение новых подходов проектирования наноматериалов, опирающихся на методы компьютерного моделирования. В статье приводятся результаты квантово-химического моделирования взаимодействия атомарного кислорода с наноструктурами – углеродными нанотрубками и астраленами. С помощью метода регрессионного анализа получены уравнения, прогнозирующие временные значения ликвидации модельного пожара и огнезащитного действия интумесцентных покрытий при модифицировании составов углеродными наноструктурами, в зависимости от параметров, определяющих условия наномодифицирования. Данные моделирования в среде «Pyrosim» позволяют определить оптимальные расходы углеродных наноструктур в базовых материалах (0,25-1,0 об. %), исходя из полученных экспериментальных данных о теплофизических и коллигативных свойствах наножидкостей. Предлагается система прогнозирования эксплуатационных характеристик веществ и материалов, использующихся для пожаротушения и огнезащиты на промышленных объектах, на основе результатов компьютерного моделирования.

Ключевые слова: углеродные наноструктуры, пожаротушение, огнезащита, квантово-химические моделирование, полевая модель пожара, регрессионный анализ, нейронные сети, чрезвычайные ситуации.

**SYSTEM FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF NANOMODIFIED
FIRE EXTINGUISHING AND PROTECTIVE COMPOSITIONS**

© The Author 2022

IVANOV Alexey Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the department of fire safety technological processes and production
*Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149, e-mail: e-mail: ivanov.av@igps.ru)*

Abstract. The creation of new materials is a necessary condition for the development of a new generation industrial society in the face of increasing risks of fires and emergencies. The production of materials using nanotechnology is always associated with high costs for experimental research, the creation of expensive prototypes of products and a high proportion of unsuccessful projects, which hinders the development of production, especially in the current geopolitical and economic isolation of the country. To ensure the technological sovereignty of the country in the field of high-tech production, it is necessary to use new approaches to the design of nanomaterials based on computer simulation methods. The article presents the results of quantum-chemical modeling of the interaction of atomic oxygen with nanostructures - carbon nanotubes and astralenes. With the help of regression analysis programs, equations were obtained that predict the time values of the elimination of a model fire and the fire-retardant effect of intumescent coatings when the compositions are modified with carbon nanostructures. Simulation data in the program «Pyrosim» environment make it possible to determine the optimal costs of carbon nanostructures in base materials (0.25-1.0 vol.%), based on the obtained experimental data on the thermophysical and colligative properties of nanofluids. A system for predicting the performance characteristics of substances and materials based on the results of computer simulation for fire extinguishing and fire protection at industrial facilities is proposed in this paper.

Keywords: carbon nanostructures, fire extinguishing, fire protection, quantum chemical modeling, fire field model, regression analysis, neural networks, emergencies.

Для цитирования: Иванов А.В. Система прогнозирования эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнетушащих и защитных составов / А.В. Иванов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 185-192. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0029.

Введение. Развитие индустриального общества нового поколения неотъемлемым образом связано с созданием материалов, полученных с помощью передовых достижений в областях фундаментальной науки и инженерии, а также интеграции в технологический цикл производств систем искусственного интеллекта в сочетании с гибкой автоматизацией производства под конкретные требования потребителя [1]. В условиях научной и экономической изоляции России, жесткой конкуренции со стороны ведущих индустриальных стран Запада, а также общемирового замедления темпов технологического роста, проблема развития отечественного производства материалов нового поколения является весьма острой [2]. Созданию высокотехнологичной продукции всегда сопутствует большое количество неудачных экспериментальных и тестовых образцов, что снижает конкурентные преимущества предприятий в рыночной экономике, при необходимости обеспечения ресурсосбережения и энергоэффективности производства. Решение данной проблемы невозможно без использования информационных систем, позволяющих с достаточной точностью прогнозировать характеристики готовых изделий, обеспечивающее адаптацию современных систем противопожарной защиты к возможным чрезвычайным ситуациям техногенного характера и пожарам [3].

Создание новых образцов материалов для пожаротушения и огнезащиты часто связано с применением наноструктур, занимающих промежуточную область между объектами классической физики и квантовой механики, обладающих уникальными свойствами «умных материалов» – способностью оперативно «откликаться» на изменение параметров окружающей среды [4].

Получены экспериментальные данные по влиянию параметров наномодифицирования на эксплуатационные характеристики огнетушащих (ОТВ) [5,6] и огнезащитных (ОВС) [7-9] составов, а также показатели пожарной опасности различных веществ и материалов [3,10-12]. На основании данных экспериментов создавались модели прогнозирования развития опасных факторов пожара в условиях применения углеродных наноструктур (УНС) в системах пожаротушения и огнезащиты, разрабатывались рекомендации по внедрению технологий наномодифицирования для обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли и транспорта [13,14]. Таким образом, экспериментальные данные и результаты моделирования являются основой для создания интеллектуальных систем, применяющихся для разработки наноматериалов для различных областей науки и промышленного производства [15].

Целью работы было теоретическое обоснование и описание системы прогнозирования свойств эксплуатационных характеристик наномодифицированных веществ и материалов, применительно к задачам пожаротушения и огнезащиты.

Методология. Методологической основой разработки системы являлись теории квантового моделирования и машинного обучения при создании наножидкостей и нанокompозитов.

Основы методов квантово-химического моделирования были заложены английским химиком-теоретиком нобелевским лауреатом Pople J., и в настоящее время получили всеобщее признание и широкое распространение при исследовании строения и свойств химических соединений, значительно ускоряя и удешевляя процесс создания инновационных материалов [16]. Квантово-химическое моделирование проводится с учетом конфигурации электронных облаков атомов вещества и определяется волновой функцией:

$$\hat{H}\Psi(r)=E\Psi(r) \quad (1)$$

где $\Psi(r)$ – волновая функция, зависящая от координат электронов r , $\Psi(r)$ – нерелятивистский гамильтониан молекулы [17]. Для осуществления квантово-химического моделирования используются расчетные программные комплексы «GAUSSIAN», «ORCA», «PROMODA» и ряд других [18].

В условиях ограниченного количества данных экспериментальных исследований целесообразно применять методы регрессионного анализа с построением квазилинейных уравнений регрессии [19]:

$$Y_j=f_j(x_1...x_m), j \in [1, n] \quad (2)$$

представленных в виде квазилинейных регрессионных уравнений:

$$Y_j = \sum_{k=1}^{M_j} a_{jk} z_{jk}, j \in [1, n] \quad (3)$$

где a_{jk} – коэффициент регрессии; z_{jk} – условный фактор, являющийся функцией воздействующих факторов $(x_1...x_n)$ в матрице Z_j ; M_j – общее количество коэффициентов регрессионных уравнений или условных факторов ($M_j < N$).

В данной работе выбор воздействующих факторов для оценки огнетушащей эффективности наномодифицированных ОТВ проводился на основании анализа методов расчета требуемой интенсивности подачи [20-22] и результатов экспериментальных исследований по определению времени ликвидации горения ЛВЖ в условиях подачи распыленной воды [6,13].

Перечень факторов, определяющих огнезащитную эффективность ОВС, определялся, исходя из результатов фундаментальных [23] и прикладных исследований процессов формирования и термической деструкции пенококса при пожаре [24], в том числе – в условиях применения технологий наномодифицирования [7].

Адекватность полученных уравнений с соответствующей доверительной вероятностью $\alpha \geq 95$ осуществлялась по F -критерию Фишера ($F_j > 10$):

$$F_j = D_{j0} / D_j, j \in [1, n] \quad (4)$$

где D_{j0} – дисперсия полученных в ходе экспериментальных исследований данных.

Прогнозирование эксплуатационных характеристик наноматериалов в зависимости условий модифицирования и оценка значимости воздействующих факторов (x_1, \dots, x_n) осуществлялось с помощью нейронных сетей (НС) в программном продукте «STATISTICA». Для этого использовался многослойный линейный персептрон (MLP) с двумя скрытыми слоями [14].

Работа многослойного персептрона описывается выражениями:

$$NET_{jn} = \sum_n w_{nj} x_{nj} \quad (5)$$

$$OUT_{jn} = F(NET_{jn} - \theta_{jn}) \quad (6)$$

$$x_{(nj(l+1))} = OUT_{jn} \quad (7)$$

где n – номер входа; x_{nj} – n -й входной сигнал; j – номер нейрона в слое;

w_{nj} – весовой коэффициент n -го нейрона j -го номера слоя l ; NET_{jn} – сигнал нейрона j -го номера слоя l .

Для моделирования распространения опасных

факторов пожара использовалась программная среда «Pyrosim», реализующая полевую модель с открытым кодом «FDS» (Fire Dynamic Simulator). Применение программной среды позволило совместить методы прямых наблюдений параметров горения модельного очага в условиях применения жидких огнетушащих составов.

В ходе исследования анализировалось возможность решения поставленных задач с помощью: квантово-химического моделирования строения наноструктур [18]; нейросетевого моделирования свойств и характеристик полученных веществ и материалов [14]; регрессионного анализа для получения численных моделей времени тушения модельного очага пожара класса «В» и времени огнезащитного действия ОВС [14]; полевого метода моделирования пожара в условиях применения наноструктур в среде «Pyrosim» [13].

Результаты. Квантово-химическое моделирование процессов окисления углеродной нанотрубки и астралена проводилось в программном продукте «ORCA» [25]. Результаты моделирования в целом согласовываются с работой Li J. L. и Кудина К. Н., проводившими исследование процессов окисления графена в среде кислорода [25] (рис. 1).

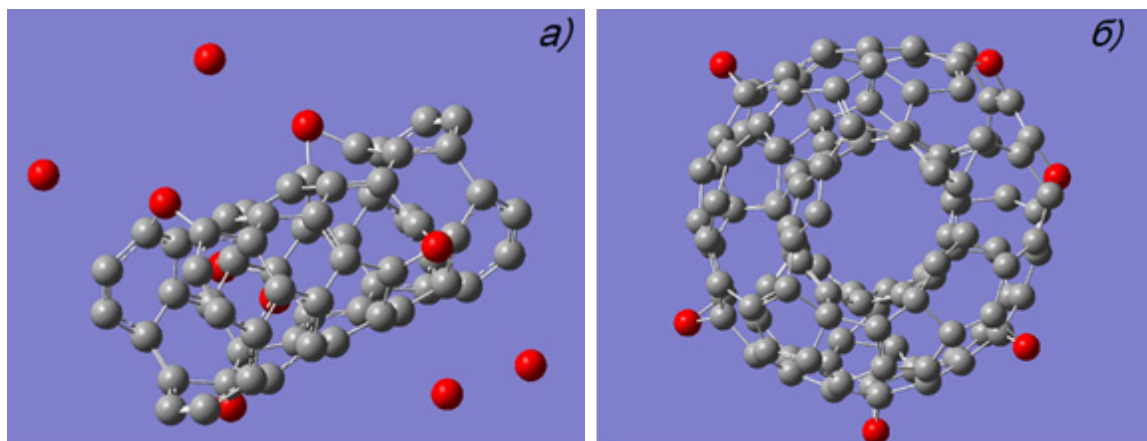


Рисунок 1 – Результаты моделирования процессов окисления в среде кислорода: углеродной нанотрубки (а), астралена (б)

Моделирование показало, что процесс деформации и разрыва связей C-C при окислении УНС имеет необратимый характер, в результате чего на поверхности углеродной наночастицы образуются одиночные изолированные эпоксидные группы. При этом связь C-C деформируется и разрывается, что сопровождается снижением полной энергии системы [26].

Регрессионный анализ. В качестве исходных данных использовались результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств огнетушащих и интумесцентных составов, модифицированных углеродными наноструктурами [6, 13].

Построение регрессионных моделей и оценка вклада переменных проводилось в программе «REGGRAN» [13]. В программе «STATISTICA» [14] осуществлялось построение НС, прогнозирую-

щих эксплуатационные характеристики модифицированных огнетушащих и огнезащитных составов.

В качестве воздействующих факторов (x_1, \dots, x_n) выбраны параметры наномодифицирования исходных веществ и материалов, а в качестве выходных параметров (Y_i) – физические свойства и эксплуатационные характеристики полученных огнетушащих и огнезащитных составов. Задача определения оптимальных параметров модификации для обеспечения требуемых характеристик ОТВ и ОВС была представлена в виде обучающих подвыборок (рис. 2 и 3).

Обучение НС проводилось с количеством циклов не менее 20000 и достигалось, когда среднее значение ошибки не превышало 10^{-2} . При анализе данных были выбраны НС с минимальными значениями ошибки обучения с параметрами (табл. 1, 2).

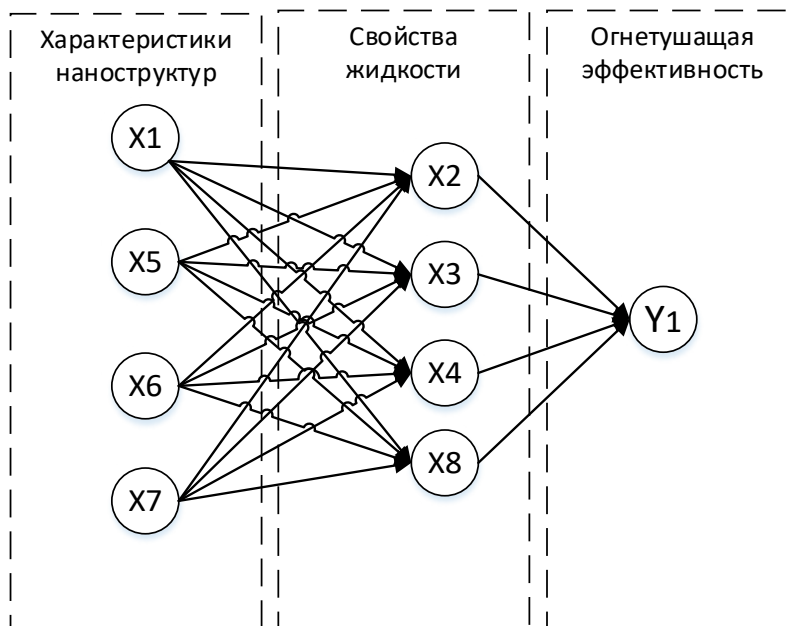


Рисунок 2 – Параметры регрессионной модели для ОТВ

X1 – концентрация УНС, об. %; X2 – поверхностное натяжение суспензий, Н/м; X3 – удельная теплота парообразования суспензии, МДж/кг; X4 – скорость нагрева суспензии до температуры кипения, °С/мин; X5 – диэлектрическая проницаемость наножидкостей; X6 – добротность УНС, G/D; X7 – удельная поверхность УНС, м⁻¹; X8 – средний размер капель, мм; Y1 – время тушения модельного очага, с

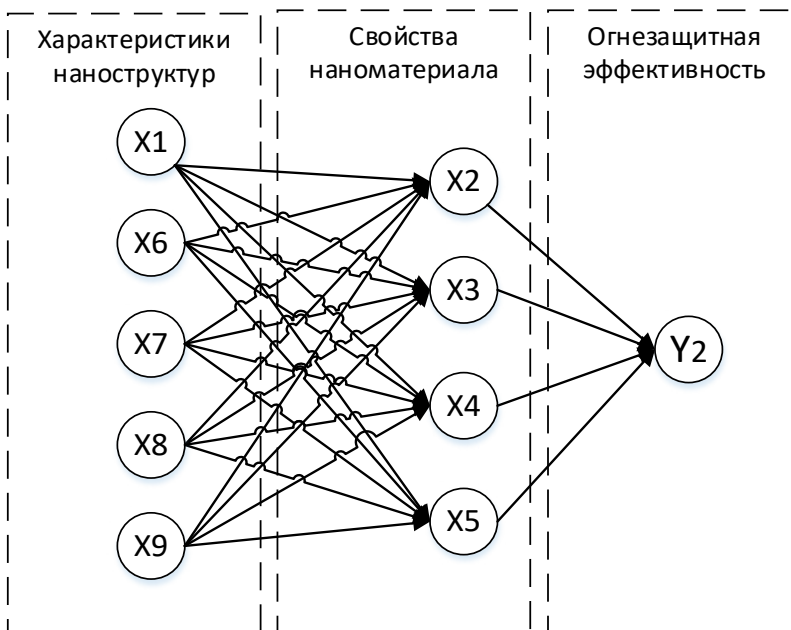


Рисунок 3 – Параметры регрессионной модели для ОВС

X1 – концентрация УНС, об. %; X2 – усилие отрыва, МПа; X3 – коэффициент вступивания; X4 – тепловой эффект в интервале температур 280-380°С; X5 – тепловой эффект в интервале температур 450-800°С; X6 – диэлектрическая проницаемость ОВС; X7 – добротность УНС, G/D; X8 – удельная поверхность УНС, м⁻¹; X9 – размер агломераций УНС в растворителе, нм; Y2 – время достижения предельного состояния металла, мин

Таблица 1 – Параметры нейронных сетей для моделирования характеристик огнетушащих составов

Net. name	Training error	Test error	Training algorithm	Hidden activation	Output activation
MLP 3-17-1	0,0029	4,9587	BFGS 136	Tanh	Identity
MLP 3-21-1	0,1533	0,0134	BFGS 104	Tanh	Exponential
MLP 3-24-1	0,0080	0,5519	BFGS 188	Logistic	Identity

Анализ результатов моделирования в программах

REGAN и STATISTICA позволил сделать вывод, что решающее значение в огнетушащей эффективности является размер капель ОТВ и скорость их нагрева до температуры кипения (воздействующие факторы x_4, x_5). Влияние на время тушения во целом зависит от концентрации УНС (x_1), значений диэлектрической проницаемости наножидкостей (x_3), качества УНС (x_6) (рис. 4).

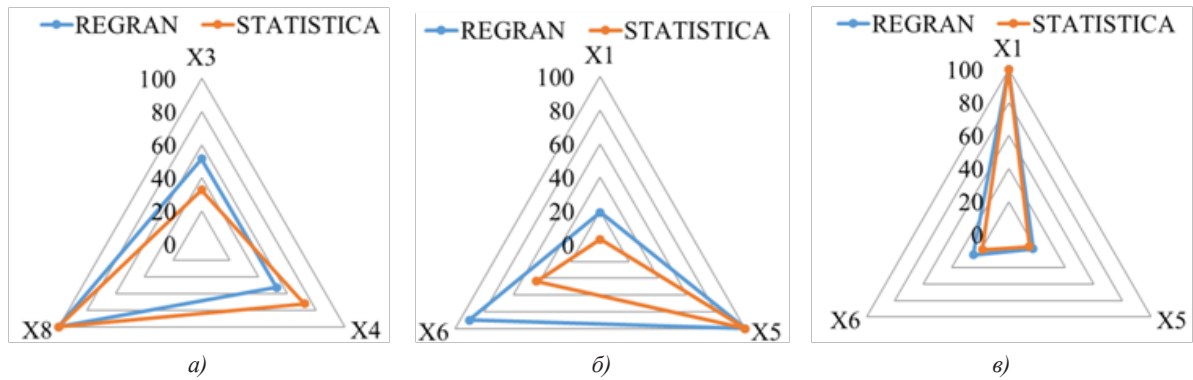


Рисунок 4 – Относительная значимость влияния ВФ на характеристики модифицированных ОТВ: время ликвидации горения (а), скорости нагрева жидкости до температуры кипения (б), размера капель (в)

Полученные в ходе обработки результатов эмпирических исследований в программе REGRAN позволили получить адекватные математические модели. Ниже представлены регрессионные зависимости показателей эффективности модифицированных ОТВ от условий модифицирования:

$$y_1 = 1455(x_3, x_8)^{-1} + 365,7x_3, x_8 + 1435; F=17,8 \tag{7}$$

$$y_1 = 1084(x_3, x_8)^{-1} + 137,6(x_1)^{-1} + 247,6x_1/x_8 - 1048; F=29,7 \tag{8}$$

$$y_1 = (121,8x_1)/x_3, x_8 + 1350(x_3, x_8)^{-1} - 1350(x_3, x_1)^{-1} + 27,62(x_1)^{-1} - 179,6(x_8)^{-1}; F=39,1 \tag{9}$$

$$x_3 = -4,551x_5^2 + 6,661x_5 - 0,6852x_1^3 x_5 x_6^2 + 0,0734x_1^3 x_5^2 x_6^3 + 0,0233x_1^2 x_6^3; F=13,3 \tag{10}$$

$$x_3 = -3,27x_1^3 x_6 + 2,25x_1^3 + 8,304x_1 x_5^3 - 5,083x_1 x_5^2 + 0,276x_1^2 x_6^2 + 2,118; F=65,1 \tag{11}$$

$$x_4 = 0,2042x_6^2 - 1,159x_5 x_6^{1/2} - 13,49x_5^2 + 84,79; F=24,1 \tag{12}$$

$$x_4 = -0,079x_1^{1/2} x_6^2 + 11,99x_6 - 1,159x_5^{3/2} - 4,243x_6^{3/2}; F=44,9 \tag{13}$$

$$x_4 = 0,006x_1^{1/2} x_5^2 x_6^2 + 0,073x_1^{1/2} x_6^2 + 12,13x_6 - 1,317x_5 - 4,302x_1^{3/2}; F=23,8 \tag{14}$$

$$x_8 = -0,015x_6 + 0,441x_1^{3/2} + 0,794; F=15,2 \tag{15}$$

$$x_8 = 0,2536x_1^{1/2} - 0,043x_1 x_6 + 0,419x_1^{3/2} x_5^{1/2} + 0,712; F=19,6 \tag{16}$$

$$x_8 = 0,704x_5^{3/2} - 1,511x_1 x_5^2 + 0,067x_1^2 x_5^2 x_6^{3/2} - 0,028x_1^{3/2} x_6^{3/2} + 1,287x_1^{1/2}; F=19,6 \tag{17}$$

Таблица 2 – Параметры нейронных сетей для моделирования характеристик огнезащитных составов

Net. name	Training error	Test error	Training algorithm	Hidden activation	Output activation
MLP 4-8-1	0,000275	0,001408	BFGS 449	Exponential	Identity
MLP 4-14-1	0,017829	0,113083	BFGS 143	Tanh	Logistic
MLP 4-13-1	0,015077	0,005645	BFGS 471	Exponential	Sine
MLP 4-10-1	0,002277	0,007758	BFGS 377	Exponential	Exponential

Решающее значение в обеспечении огнезащитной эффективности является снижение горючести составов, характеризующееся тепловыми эффектами в интервале температур 280-380°C и 450-800°C (воздействующие факторы x_4, x_5). Влияние на горючесть во многом зависит от концентрации (x_1) и качества модификатора (x_7), а также диэлектрической проницаемости наноматериала (x_6) (рис. 5).

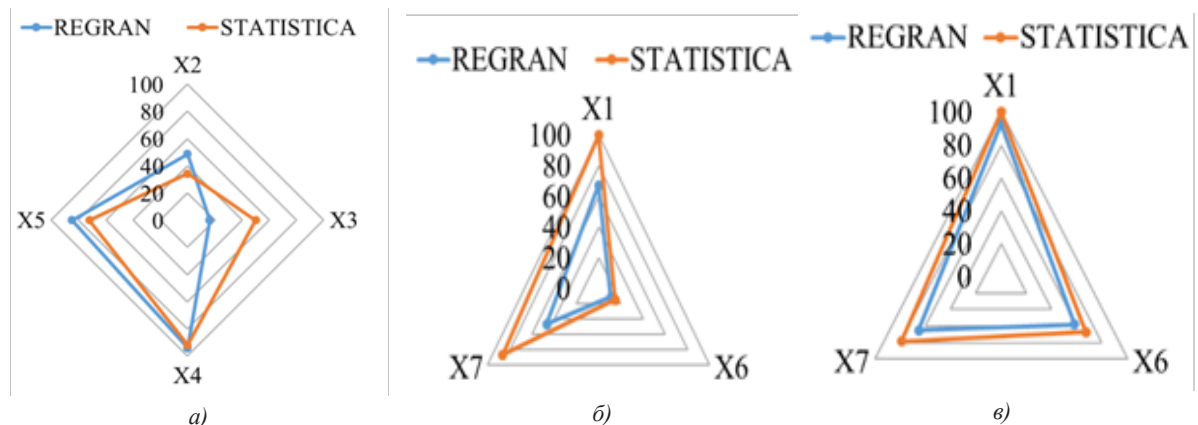


Рисунок 5 – Относительная значимость влияния ВФ на характеристики модифицированных ОБК: огнезащитную эффективность (а), тепловые эффекты в интервале температур 280-380°C (б) и 450-800°C (в)

Получены регрессионные уравнения зависимости огнезащитной эффективности ОВС от условий их модифицирования:

$$y_2 = 91,12x_2^{1/2} / ((x_3^{3/2}) x_4) + 31,11x_2^{1/2} x_3 x_4; F=4,7 \quad (18)$$

$$y_2 = 11,8x_3^2 ((x_2 x_3) / x_4)^{1/2} - 3,74 (x_2^{1/2}) / (x_3 x_2^{3/2}) + 114,9(x_2 x_3 x_5)^{1/2} x_4^2; F=5,08 \quad (19)$$

$$y_2 = 15,73 \cdot 1/x_3 \cdot ((x_2 x_3) / x_4)^{1/2} - 162,8 x_4 / (x_2^{1/2}) x_3 x_5^{3/2} + 2801,8 \cdot 1/x_3 \cdot ((x_4 / x_2 x_3)^{3/2}) + 2757 x_2 x_3^{1/2} x_4^2; F=7,01 \quad (20)$$

$$x_2 = 7,478 \cdot 1 / (x_1^{3/2}) x_7^2 x_6 + 0,6488(x_1 x_6)^{1/2} - 1,867 \cdot 10^{-2} x_1 x_6 x_7^{1/2} + 14,61 \cdot 1 / ((x_1 x_6)^2 x_7^{1/2}) - 11,51 \cdot 1 / (x_6^2 x_7^{1/2}) - 0,5533 x_6 \cdot (x_1 / x_7)^{1/2}; F=5,87 \quad (21)$$

$$x_2 = 0,6969(x_6^{3/2} / x_1^{1/2}) + 1,273 \cdot 1 / (x_1^2 x_6^{1/2} x_7) - 17,63 (x_6^{3/2} x_7^2) / x_1^{1/2} + 1,909 x_7^{1/2} / (x_1 x_6)^{1/2} + 2,807 x_6 / x_1; F=4,28 \quad (22)$$

$$x_3 = 0,7741 / x_1^{1/2} - 0,6488 x_1 + 0,4123; F=3,81 \quad (23)$$

$$x_3 = 7,556 \cdot 10^{-2} x_6 x_7^{1/2} - 5,106 \cdot 10^{-2} x_7 x_6^{1/2} - 0,1697(x_6 x_7)^{1/2} + 0,3897 x_7^{1/2} - 2,496 \cdot 10^{-2} x_1 x_6 + 0,3798; F=12,7 \quad (24)$$

$$x_3 = 0,412 x_7 - 6,313 \cdot 10^{-2} x_7^3 + 6,944 \cdot 10^{-5} x_1^2 x_6 x_7 + 8,643 \cdot 10^{-2} x_1^2 + 0,3857; F=5,04 \quad (25)$$

Полученные в ходе эмпирических исследований и математического моделирования результаты позволили сформулировать основные механизмы создания и применения наноматериалов для пожаротушения и огнезащиты.

Моделирование в среде *FDS*. В качестве исходных данных использовались результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств огнетушащих составов, модифицированных углеродными наноструктурами [6, 13].

В программной среде «*Pyrosim*» разработана модель тестового очага пожара класса «*B*», на котором проводилась отработка рецептов огнетушащих составов на основе воды и пенообразователей (рис. 6).

Моделировалось температурное поле в очаговой зоне, исходя из полученных экспериментальным путем свойств наножидкостей и параметров подачи огнетушащего состава. Полученные в ходе моделирования результаты определили ход изменения температуры в зоне горения, вызванного интенсификацией теплоотвода при подаче огнетушащего состава, при которой происходит гашение пламени легковоспламеняющейся жидкости (рис. 7).

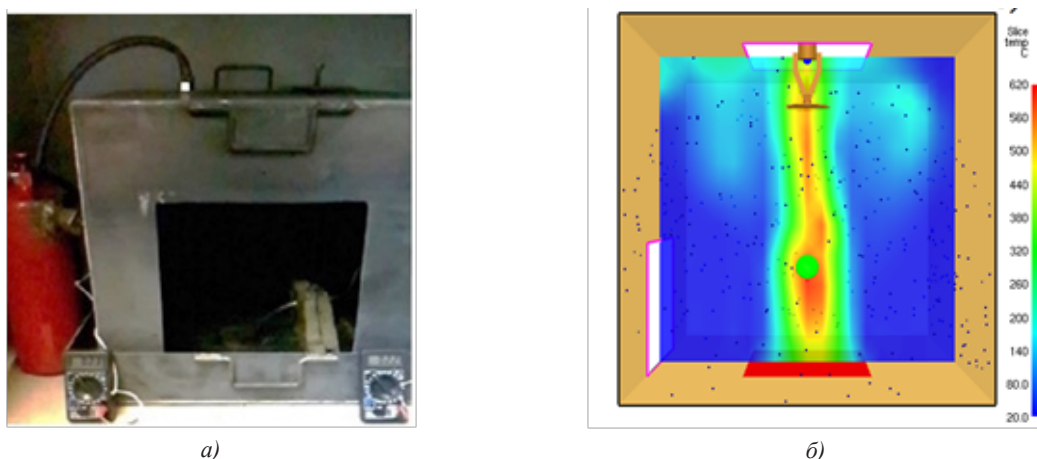


Рисунок 6 – Экспериментальная установка по тестированию огнетушащих составов: фотография (а) и модель в программной среде «*Pyrosim*» (б)

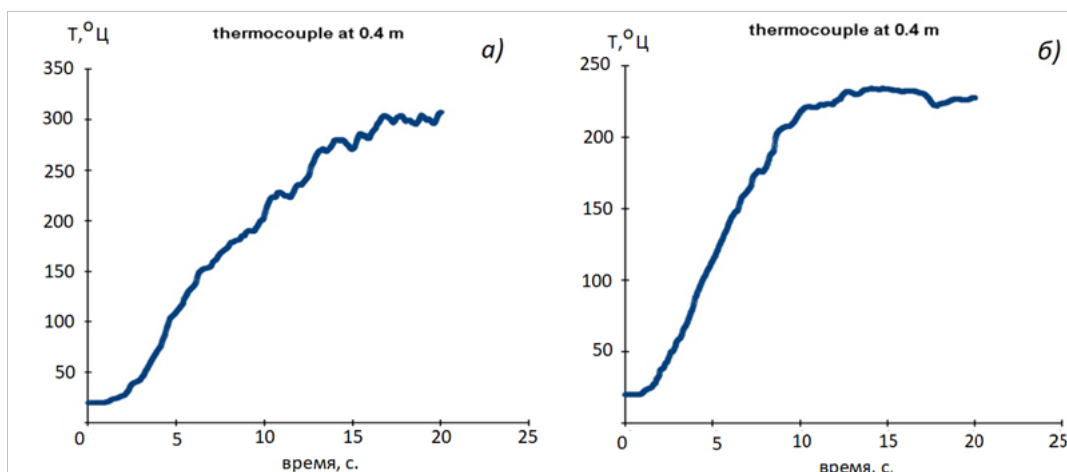


Рисунок 7 – Изменение температуры в очаговой зоне при использовании ОТВ: немодифицированных (а) модифицированных УНС (б)

Сравнительная оценка трендов температуры в зоне горения показала, что использование наномодифицированных составов приводит к снижению температур ниже значений, соответствующих температуре самовоспламенения ЛВЖ, в отличие от применения немодифицированных ОТВ с аналогичной интенсивностью подачи.

Обсуждение. Полученные в ходе регрессионного анализа выражения (7-17) для ОТВ и (18-25) для ОВС, согласно F -критерию являются адекватными с доверительной вероятностью $>90\%$ [27], и могут применяться для прогнозирования эксплуатационных характеристик исследуемых веществ и материалов при варьировании параметров объемной фракции УНС и условий стабилизации наночастиц, характеризующихся изменением диэлектрической проницаемости наноматериалов.

Результаты моделирования в программных продуктах «STATISTICA» и «Pyrosim» позволяют сделать вывод, что оптимальными для целей пожаротушения и тепловой защиты являются концентрации 1,0 об. % для исследуемых углеродных нанотрубок [28] и 0,25 об. % для астраленов в базовом веществе [29].

Полученные в ходе исследования результаты позволили теоретически обосновать функциональную схему процесса прогнозирования свойств наноматериалов для целей противопожарной защиты с использованием методов квантово-химического моделирования структуры вещества, регрессионного

анализа и моделирования развития опасных факторов пожара в условиях использования наноматериалов.

Предлагаемая система прогнозирования свойств веществ и наноматериалов, использующихся для целей пожаротушения и огнезащиты, имеет функциональную структуру, представленную на рисунке 8.

Основные этапы изучения свойств наномодифицированных материалов включают в себя исследование:

- структуры вещества при окислении и воздействии высокой температуры, образовании новых химических соединений;
- температурно-пространственной динамики в очаге пожара;
- свойств газовых смесей при горении и подачи огнетушащего состава;
- прогнозирование эксплуатационных характеристик огнетушащих и защитных составов в условиях многофакторных испытаний.

Процесс прогнозирования эксплуатационных характеристик наномодифицированных ОТВ и ОВС включает в себя постановку научной задачи, формирование технического задания для проведения исследования, исследовательскую часть, анализ результатов работы и подготовку необходимой отчетной документации. Данная работа неотъемлемым образом связана с использованием баз данных наноматериалов и нанотехнологий, а также их дополнение в зависимости от полученных промежуточных результатов исследований.

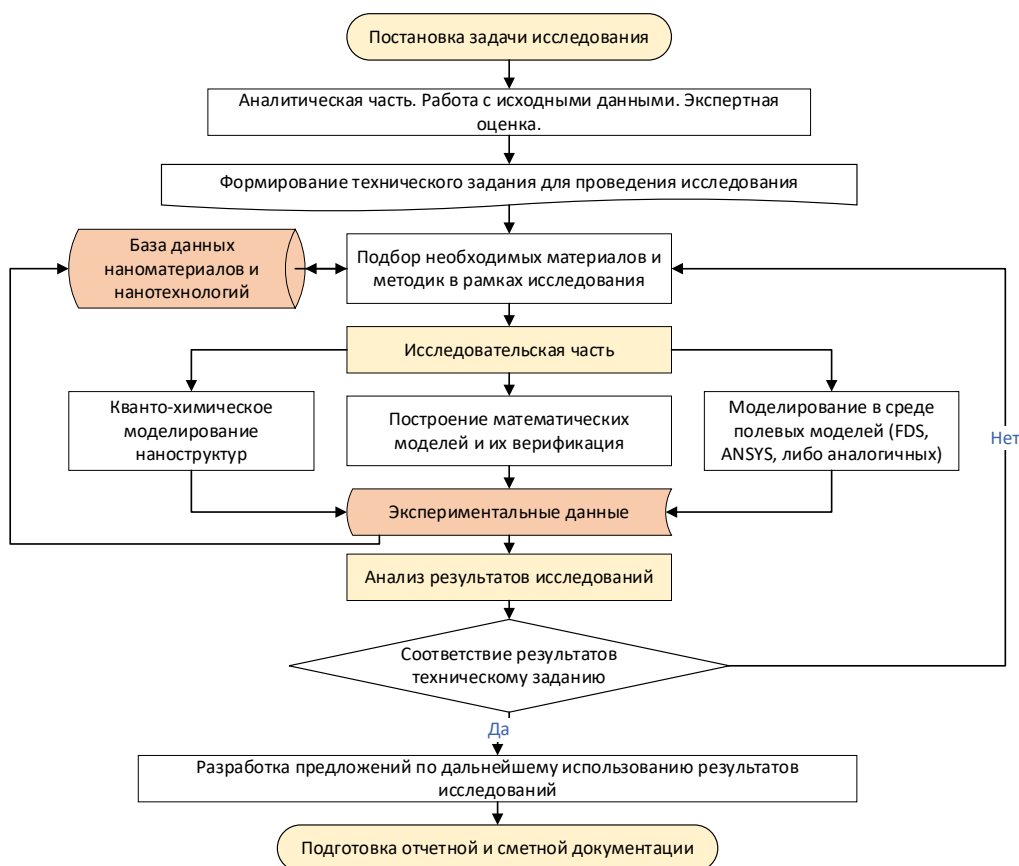


Рисунок 8 – Функциональная схема получения наноматериалов с применением технологий компьютерного моделирования

Процесс прогнозирования эксплуатационных характеристик наномодифицированных ОТВ и ОВС включает в себя постановку научной задачи, формирование технического задания для проведения исследования, исследовательскую часть, анализ результатов работы и подготовку необходимой отчетной документации. Данная работа неотъемлемым образом связана с использованием баз данных наноматериалов и нанотехнологий, а также их дополнение в зависимости от полученных промежуточных результатов исследований.

Выводы. Прогнозирование эксплуатационных характеристик наноматериалов с помощью методов компьютерного моделирования позволяет изучать и оптимизировать рецептуры огнетушащих и защитных составов в течение всего «жизненного цикла» материала – с момента применения модифицирующего компонента в базовом материале до применения наноматериала по назначению.

Использование системы прогнозирования эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнетушащих и защитных составов на основе компьютерного моделирования позволит существенно сократить технологический цикл получения инновационных материалов, снизить конечную стоимость продукта и повысить эффективность систем противопожарной защиты в условиях возможных техногенных чрезвычайных ситуаций и пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Николайчук Ю.А. и др. Общие проблемы развития и внедрения наноматериалов и нанотехнологий // *Литьё и металлургия*. – 2020. – №. 4. – С. 152-162.
2. Тебекин А.В. Перспективы развития национальной экономики в рамках шестого технологического уклада с учетом ужесточения западных санкций // *Журнал исследований по управлению*. – 2022. – Т. 8. – №. 1. – С. 17-37.
3. Аброуков С.В., Смирнов А.В. Создание базы знаний – новое направление исследований наноматериалов и нанотехнологий // *Вестник Чувашского университета*. – 2013. – №. 3. – С. 52-56.
4. Копылов С.Н. и др. Нанотехнологии и пожарная безопасность // *Пожарная безопасность*. – 2011. – №. 3. – С. 71-74.
5. Богданова В.В., Кобец О.И. Разработка и применение синтетических NP-содержащих дисперсий для предотвращения и тушения лесных и торфяных пожаров (обзор) // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2020. – Т. 29. – №. 6. – С. 5-27. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.5-27.
6. Пустовалов И.А. Экспериментальное исследование огнетушащей способности модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой, модифицированной астраленами. *Пожаровзрывобезопасность*. – 2021. – Т. 30. – №. 5. – С. 84-97. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.84-97.
7. Зыбина О.А., Бабкин О.Э., Снегирев А.Ю. Каталитическое действие углеродных нанодобавок на термолитиз интумесцентных лакокрасочных покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 2018. – №. 6. – С. 35-40.
8. Яковлев Г.И. и др. Модификация огнезащитного силикатного покрытия углеродными нанотрубками // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2013. – №. 5. – С. 49-51.
9. He W. et al. Flame retardant polymeric nanocomposites through the combination of nanomaterials and conventional flame retardants // *Progress in Materials Science*. – 2020. – Т. 114. – С. 100687. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2020.100687.
10. Dan V. et al. Studying the fire hazard properties of multi-walled carbon nanotubes by the method of synchronous thermal analysis // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2019. – Т. 693. – №. 1. – С. 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/693/1/012042.
11. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2016. – Т. 25. – №. 9. – С. 30-37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.
12. Королев Д.С., Калач А.В., Каргашилов Д.В. Прогнозирование пожароопасных свойств веществ и материалов с использованием дескрипторов и нейронных сетей // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова*. – 2015. – №. 4. – С. 100-103.
13. Торопов Д.П., Иванов А.В., Скрипник И.Л. Моделирование тушения пожара жидких углеводородов в условиях применения огнетушащих суспензий воды с углеродными наноструктурами // *Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России*. – 2019. – №. 3 (24). – С. 91-103.
14. Мифтахутдинова А.А., Иванов А.В., Ивахнюк Г.К. Моделирование процессов электризации жидких углеводородов в условиях стабилизации углеродных наноструктур // *Техносферная безопасность*. – 2018. – Т. 21. – №. 4. – С. 36-44.
15. Wang M. et al. Nanomaterials discovery and design through machine learning // *Small Methods*. – 2019. – Т. 3. – №. 5. – С. 1900025. DOI: /10.1002/smt.201900025.
16. Pople J.A. Nobel lecture: Quantum chemical models // *Reviews of Modern Physics*. – 1999. – Т. 71. – №. 5. – С. 1267.
17. Игнатов С.К. Квантово-химическое моделирование молекулярной структуры, физико-химических свойств и реакционной способности (Часть 1) // *Нижний Новгород*. – 2006. – 82 с.
18. Хохряков Н.В., Иванова А.М. Квантовохимические расчеты металл-углеродных нанокомпозитов // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2019. – №. 3. – С. 63-70.
19. Таранцев А.А. Принципы построения регрессионных моделей при исходных данных с нечетким описанием // *Автоматика и телемеханика*. – 1997. – №. 11. – С. 215-219.
20. Горшков В.И. Тушение пламени горючих жидкостей // *М.: Пожнаука*. – 2007. – 268 с.
21. Шароварников А.Ф., Корольченко Д.А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2013. – Т. 22. – №. 11. – С. 70-74.
22. Думилин А.И. Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2013. – Т. 22. – №. 4. – С. 85-90.
23. Vandersall, H.L. Intumescent Coating Systems, Their Development and Chemistry // *Journal of Fire and Flammability*. – 1971. – Т. 2. – С. 97-140.
24. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // *Buildings*. – 2020. – Т. 10. – №. 10. – С. 185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
25. Li J. L. et al. Oxygen-driven unzipping of graphitic materials // *Physical review letters*. – 2006. – Т. 96. – №. 17. – С. 176101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.96.176101.
26. Ajayan P.M., Yakobson V.I. Oxygen breaks into carbon world // *Nature*. – 2006. – Т. 441. – №. 7095. – С. 818-819. DOI: 10.1038/441818a.
27. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. // *М.: Наука*, 1971 – 576 с.
28. Иванов А.В., Торопов Д.П., Медведева Л.В., Калинина Е.С. Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. – 2019. – Т. 28. – №. 1. – С. 22-34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.22-34.
29. Ponomarev A.N., Ivanov A.V., Suyasova M.V., Savenkova A.Ye., Pyatin D.V., Voytenok O.V. Investigation of extinguishment process of liquid hydrocarbon flames by aqueous suspensions of astralenes // *Fire Technology*. – 2021. – С. 1-15. DOI: 10.1007/s10694-021-01094-1.

Статья поступила в редакцию 13.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.842.847

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0030

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ И ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ
ПОЖАРА ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ**

© Автор(ы) 2022

SPIN-код: 4750-2530

AuthorID: 1085743

ORCID: 0000-0001-9083-011X

ЛЕОНТЬЕВА Мария Сергеевна, адъюнкт*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**(196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, e-mail: igps19@mail.ru)*

Аннотация. В ходе исследования был проведен углубленный анализ и поиск методов и возможностей снижения рисков чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов. Современные условия перевозки опасных веществ и материалов требуют необходимости решения актуальной проблемы, заключающейся в поиске и совершенствовании методики снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Целью исследования является снижение пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров. Для достижения цели применялись различные методы: обработки известных статистических данных, теоретико-эмпирические и методы комплексного анализа. Разработка и практическое использование новой методики снижения пожарного риска позволит снизить вероятность возникновения на подвижном составе пожаров и других чрезвычайных ситуаций и, тем самым, минимизировать возможные материальные потери, случаи травмирования и гибели людей. Анализ научных трудов отечественных и зарубежных ученых подтвердил, что проблема снижения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций является актуальной и требует углубленного исследования. В статье предлагается структурно-функциональная схема аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов. Концепция построения мониторинговой системы может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ в морских портах, складах, при их транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных местах, то есть, является универсальной.

Ключевые слова: грузовые перевозки, опасные грузы, аппаратно-программный комплекс, пожарный риск, оптимизация, транспортная система, самовозгорание, мониторинг, адаптивная система, предотвращение пожара.

**METHODOLOGY FOR CREATING SCENARIOS AND ASSESSING THE LEVEL OF FIRE HAZARDS
DURING RAIL TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS**

© The Author(s) 2022

LEONTYEVA Maria Sergeevna, post-graduate student*Saint-Petersburg University of state fire service of EMERCOM of Russia**(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149, e-mail: igps19@mail.ru)*

Abstract. In the course of the study, an in-depth analysis and search for methods and opportunities to reduce the risks of emergencies in railway transport during the transportation of dangerous goods was carried out. Modern conditions for the transportation of hazardous substances and materials require the need to solve an urgent problem, which consists in finding and improving methods for reducing fire risk during railway transportation of flammable substances and materials. The aim of the study is to reduce the fire risk in the railway transportation of dangerous goods based on adaptive technology of guaranteed fire prevention. To achieve the goal, various methods were used: processing of known statistical data, theoretical and empirical and methods of complex analysis. The development and practical use of a new method of reducing fire risk will reduce the likelihood of fires and other emergencies on the rolling stock and, thereby, minimize possible material losses, cases of injury and death of people. The analysis of scientific works of domestic and foreign scientists confirmed that the problem of reducing the likelihood of emergency situations is relevant and requires in-depth research. The article proposes a structural and functional scheme of a hardware and software complex for diagnosing and predicting the level of fire risk in railway transportation of dangerous goods. The concept of building a monitoring system can be successfully implemented not only in railway transport, but also at storage facilities for fire and explosive substances in seaports, warehouses, during their transportation through pipelines and in other potentially dangerous places, that is, it is universal.

Keywords: cargo transportation, dangerous goods, hardware and software complex, fire risk.

Для цитирования: Леонтьева М.С. Методика формирования сценариев и оценивания уровня опасных факторов пожара при железнодорожных перевозках опасных грузов / М.С. Леонтьева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 193-199. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0030.

Введение. В связи с участвовавшими случаями возникновения чрезвычайных ситуаций на грузовых железнодорожных составах возрастает значимость углубленного исследования, оценки и разработки новых системных подходов и механизмов управления безопасностью и устойчивостью функционирования грузового железнодорожного транспорта в условиях чрезвычайных ситуаций, что подтверждает актуальность проблемы и значимость научных разработок в этом направлении. Железнодорожные составы в больших объемах перевозят опасные грузы, в том числе, легковоспламеняющиеся вещества и материалы. Их транспортировка сопровождается высоким уровнем пожарного риска и это является одним из самых отрицательных факторов перевозочного процесса. За последние десятилетия участились чрезвычайные ситуации (ЧС) на грузовых железнодорожных составах [1,2], при этом наблюдается тенденция увеличения материального ущерба от ЧС. В связи с этим возрастает значимость углубленного исследования, оценки и разработки новых системных подходов и механизмов управления безопасностью и устойчивостью функционирования грузового железнодорожного транспорта в условиях ЧС, что подтверждает актуальность проблемы и значимость научных разработок в этом направлении. Пожары при перевозках опасных грузов приводят к остановке движения, повреждению инфраструктуры и причинению вреда жизни и здоровью людей, поэтому крайне важно наблюдать за параметрами грузов и факторами, которые могут привести к возгоранию.

В современных условиях мировой экономики логистические цепочки претерпевают изменения в связи с масштабными геополитическими трансформациями. Меняются их направления: повышается роль внутренних грузоперевозок по территории России, Западное направление сменяется Восточным. Такое перераспределение не снижает нагрузку на железнодорожные составы, которые по-прежнему в больших объемах перевозят опасные грузы [1,3]. Транспортировка опасных грузов сопровождается пожарными рисками. Номенклатура перевозимых веществ и материалов расширяется, а стоимость грузов возрастает, что ведет к увеличению материального ущерба в случае техногенной аварии на железнодорожном транспорте. Поэтому крайне важно наблюдать за параметрами грузов и факторами, которые могут привести к возгоранию [4-6].

Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных учёных свидетельствует о том, что в настоящее время накоплен уже значительный опыт и теоретические основы по исследованию проблемы пожарной опасности грузоперевозок, особенностям возникновения пожаров при перевозке опасных грузов, а также тушению таких пожаров [7], что является ценной базой при разработке АПКДП ПР.

Реализация отслеживания параметров подвижного состава и опасных грузов, при изменении которых до

критических значений резко возрастает вероятность возникновения ЧС, возможна на основе комплексной мониторинговой системы обеспечения контроля и дистанционного оценивания параметров опасных грузов без остановки железнодорожного состава, что исключает существенные временные потери при перевозочном процессе [8,9].

Методология. Целью статьи является снижение пожарного риска при железнодорожных перевозках взрывопожароопасных грузов различного назначения на основе использования аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов (АПКДП ПР).

В ходе исследования был проведен углубленный анализ и поиск методов и возможностей снижения рисков чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов. Для обоснования эффективности и экономической рациональности методов снижения пожарных рисков на основе раннего обнаружения признаков и предпосылок к возникновению ЧС были использованы различные методы: обработки известных статистических данных, теоретико-эмпирические и методы комплексного анализа [10-13].

Для обнаружения изменения параметров опасного груза, таких как, температура, давление, влажность, концентрация газов и паров необходимо манипулировать чувствительностью датчика, то есть перестраивать параметры самого датчика. Для корректного функционирования устройств зондирования производится последовательная настройка параметров датчика по информации, поступающей с контрольных пунктов зон мониторинга. При достижении критических значений параметров опасных грузов, тревожный сигнал поступает в пункт управления безопасностью. Работает система, способная идентифицировать признаки пожароопасного состояния до возникновения горения. Для решения новой задачи по определению вероятности возникновения ЧС используется метод размытой классификации [9].

Результаты. Неотъемлемой частью совершенствования научно-методического аппарата и обоснования применения аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов является методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов [3,14]. Предлагаемая методика состоит из следующих основных этапов:

Этап 1. На сортировочной станции формируется железнодорожный состав с вагонами, заполненными опасными грузами.

Этап 2. Происходит сбор информации об опасных грузах, перевозимых железнодорожным составом. На этом этапе проводится также сбор и анализ (с использованием баз данных) пожароопасных характеристик грузов.

Этап 3. Происходит сбор информации о типе и технических характеристиках железнодорожных вагонов, в которых размещаются опасные грузы с помощью сканирования идентификационных кодов, расположенных на вагонах.

Этап 4. Осуществляется сбор информации о маршруте следования грузового железнодорожного состава и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными грузами (определяются группы вагонов, например, вагоны №001-005 следуют до пункта «А», вагоны №006-015 следуют до пункта «Б» и т.д.).

Этап 5. Формируется цифровая база данных (ЦБД) о маршруте следования железнодорожного состава, номерах, типах и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными грузами, типах опасных грузов и их количестве в соответствующих вагонах.

Этап 6. Происходит сохранение цифровой базы данных в памяти бортового компьютера локомотивной бригады (для оперативного реагирования и получения информации о составе и грузах).

Этап 7. Осуществляется отправка копии базы данных в центр обработки данных и принятия решений оператором перевозок (ЦОДПР ОП).

Этап 8. На пункте предварительного контроля (ППК) происходит дистанционная идентификация параметров железнодорожного состава. Отправляется сигнал активации выборки базы данных в ЦОДПР ОП. Происходит активация системы контроля параметров ПС и системы контроля метеорологических параметров. После чего осуществляется дистанционная идентификация и контроль технического состояния вагонов с опасными грузами.

Этап 9. Результаты дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами и результаты контроля метеорологических параметров отправляются в ЦОДПР ОП. Формируется и отправляется сигнал активации системы контроля параметров пожарной опасности грузов на пункт основного контроля (ПОК).

Этап 10. В ЦОДПР ОП принимают сигнал активации и выборки информации базы данных о типах вагонов и типах опасных грузов в них для идентифицированного железнодорожного состава. Происходит прием информации с ППК с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами и результатов контроля метеорологических параметров на пути следования железнодорожного состава.

Этап 11. Осуществляется совместная обработка информации с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Формируется по результатам обработки информации блок управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров

датчиков раннего распознавания признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого индивидуально для каждого вагона с опасным грузом.

Этап 12. В ПОК происходит активация системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов в железнодорожном составе. Прием от ЦОДПР ОП блока управляющих сигналов для конфигурирования и признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого индивидуально для каждого вагона с опасным грузом. Осуществляется дистанционный контроль и сохранение информации в памяти системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов об уровне зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов. Сведения об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов отправляются в ЦОДПР ОП.

Этап 13. В ЦОДПР ОП происходит прием сведений об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов. Начинается совместная обработка информации об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов с результатами дистанционного контроля технического состояния данных вагонов, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Происходит формирование и сохранение результатов обработки данных (при этом происходит определение и присвоение уровня опасности ЧС каждому вагону, выводится алгоритм дальнейших действий:

μ_1 – уровень опасности ЧС низкий, возможно дальнейшее движение без ограничений, $\mu_1 \in [0,85-1]$. Низкий показатель пожарного риска свидетельствует о благоприятной обстановке и позволяет следовать грузовому составу по установленному маршруту с принятой скоростью движения.

μ_2 – уровень опасности ЧС средний, необходим контроль состояния груза на ближайшей остановке по маршруту следования состава, $\mu_2 \in [0,5-0,85]$. При среднем показателе пожарного риска допустимо следовать до ближайшей остановки, с уменьшенной скоростью либо съезжать на запасной путь и обследовать грузовой состав в месте, где фиксируется тревожный сигнал, при необходимости привлечь пожарную охрану.

μ_3 – уровень опасности ЧС высокий, необходимо направить состав на запасные пути в безопасное место для немедленного контроля состояния груза), $\mu_3 \in [0-0,5]$. При высоком показателе пожарного риска требуются оперативные действия в отношении

грузового состава – немедленная остановка и принятие мер по недопущению развития ЧС, привлечение пожарной охраны.

Математическую основу для принятия решения о принадлежности объекта и складывающейся ситуации к какому-либо классу опасности составили методы размытой классификации, позволяющие

структурировать информацию об объектах с учётом нечеткости исходных данных [15-16].

Методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов может быть реализована на основе системы поддержки принятия решений [17], структурная схема которой изображена на рисунке 1.

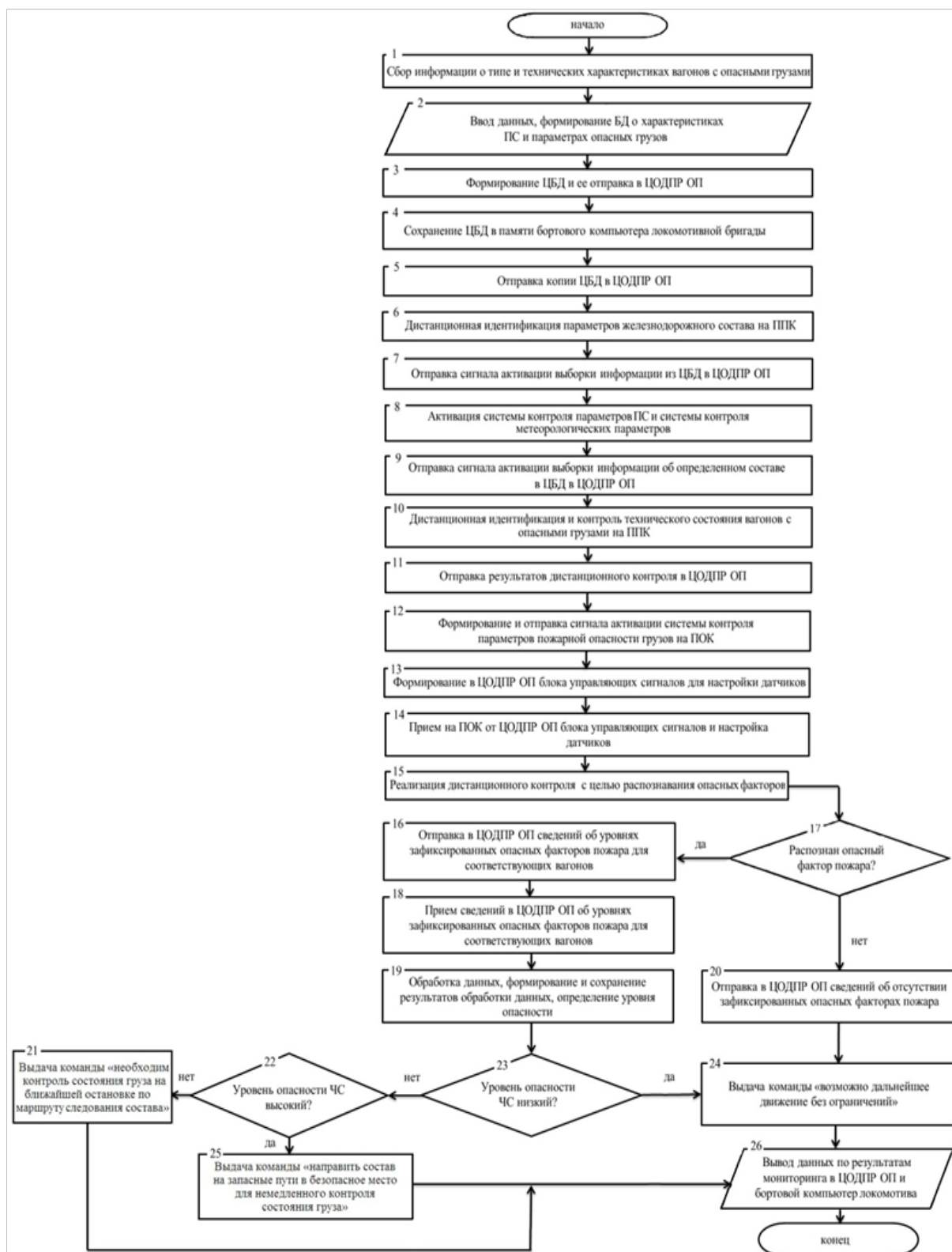


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма

Структурно-функциональная схема аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов представлена на рисунке 2.

АПКДП ПР имеет открытую масштабируемую модульную структуру. Функционально законченные процедуры обработки данных в комплексе реализуются модулями, объединенными в соответствующие подсистемы [18, 19].

Проанализируем состав подсистем и их функциональное назначение. В соответствии со структурно-функциональной схемой и алгоритмом функционирования в АПКДП ПР можно выделить

следующие подсистемы:

1. Подсистема управления функционированием АПКДП ПР.

2. Подсистема формирования и модификации структуры модели идентификации уровня пожарного риска опасного груза;

3. Подсистема управления информационными массивами обучающих выборок классификаторов модели;

4. Подсистема классификации уровня пожарного риска опасных грузов для новых объектов.

Подсистема управления функционированием АПКДП ПР содержит 4 модуля (рис. 2). Предназначение подсистемы отобразено на рисунке 3.

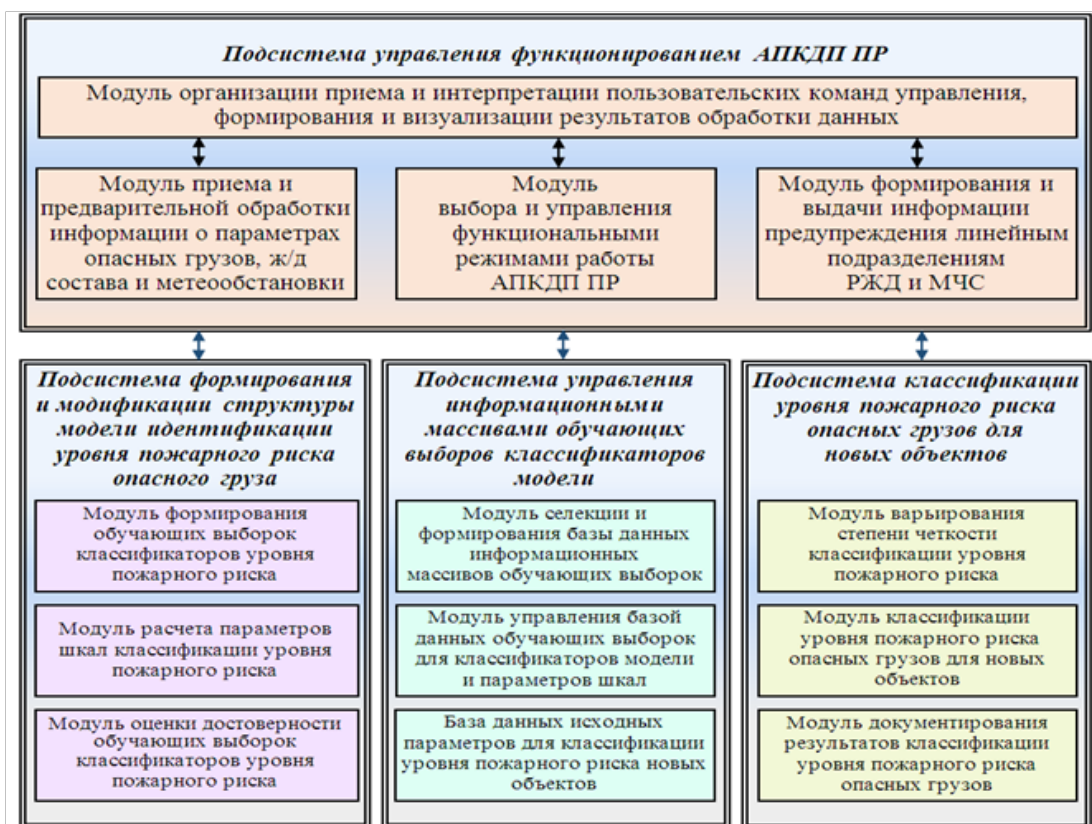


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема АПКДП ПР

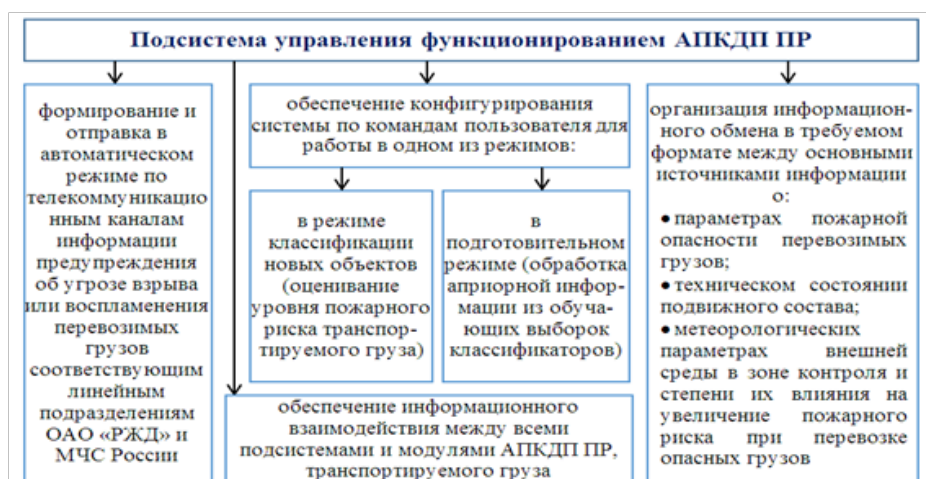


Рисунок 3 – Предназначение подсистемы управления функционированием АПКДП ПР

Подсистема формирования и модификации иерархической структуры модели идентификации уровня пожарного риска транспортируемого опасного груза является основной на этапе реализации

подготовительного режима функционирования комплекса.

Данная подсистема состоит из 3 модулей, её предназначение отобразено на рисунке 4.

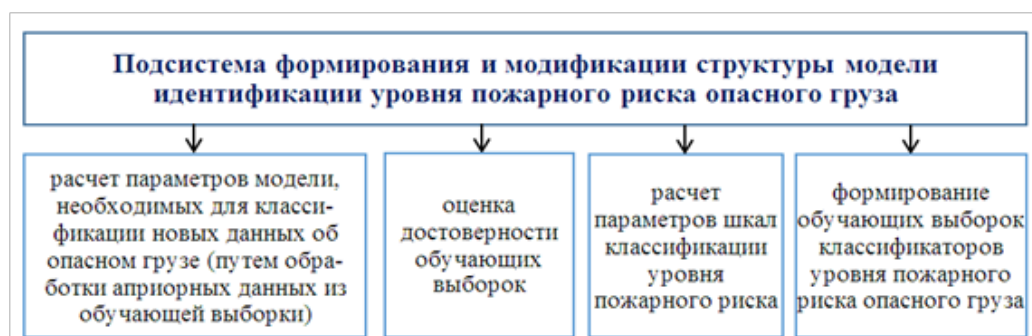


Рисунок 4 – Предназначение подсистемы формирования и модификации структуры модели идентификации уровня пожарного риска

Подсистема управления информационными массивами обучающих выборок классификаторов модели является вспомогательной и используется в подготовительном режиме функционирования АПКДП ПР для повышения достоверности результатов обработки данных об уровне пожарного риска опасного груза, представленных в нечеткой форме. Данная подсистема содержит два модуля и базу данных (рис. 2).

Подсистема классификации уровня пожарного риска опасных грузов для новых объектов является основной при функционировании АПКДП ПР в режиме классификации. Она позволяет определять степени принадлежности уровня пожарного риска опасных грузов к заданным классам. Данная подсистема содержит 3 модуля (рис. 2):

Обсуждение. Таким образом, разработанная структура и алгоритм функционирования АПКДП ПР позволяют проводить анализ степени влияния параметров опасных грузов, технического состояния подвижного состава и параметров метеорологической обстановки в зоне контроля на уровень пожарного риска транспортируемого груза и принимать оперативные решения по его снижению в случае необходимости [20].

Предложенный алгоритм и его реализация возможна только на основе аппаратно-программного комплекса системы поддержки принятия решений. В рамках исследования были программно реализованы основные компоненты структурно-функциональной схемы АПКДП ПР. Анализ функционирования разработанной системы показал, что предлагаемая система способна корректно решать стоящие перед ней задачи.

Научная новизна заключается в разработке новой методики снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, отличающейся от известных использованием адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров на ранних

этапах их возникновения и развития. Реализация сформулированных предложений возможна на основе комплексной мониторинговой системы обеспечения контроля и дистанционного оценивания параметров опасных грузов без остановки железнодорожного состава, что исключает существенные временные потери при перевозочном процессе.

Выводы. Грузовой состав – источник повышенной опасности. Это связано с возможными пожарами, взрывами, крушениями и авариями грузовых поездов при погрузке и в процессе транспортировки опасных грузов. Разработанная структура автоматизированной системы и реализованная на ее основе многоуровневая иерархическая модель позволяют проводить анализ степени влияния внутренних и внешних факторов, представленных в нечеткой расплывчатой форме на уровень ЧС в условиях динамичного изменения параметров среды их функционирования. Транспортировка опасных грузов всегда сопровождается рисками, возможными пожарами, взрывами, крушениями и авариями грузовых поездов при погрузке и в процессе перевозки. Проведенный анализ функционирования АПКДП ПР показал, что предлагаемая система и алгоритм ее функционирования способны корректно решать стоящие перед ней задачи. Предложена архитектура аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего работу системы поддержки принятия решений. При реализации предложенной методики разработанного алгоритма и структурной схемы дистанционного контроля пожарного риска позволяет утверждать, что цель может быть достигнута в полном объеме. Предложена архитектура аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего работу системы поддержки принятия решений. Разработанная система и алгоритм ее функционирования позволяет снизить пожарную опасность грузоперевозок. Предложенный алгоритм и его реализация возможна только на основе аппаратно-программного комплекса системы поддержки принятия решений. При ре-

лизации предложенной методики разработанного алгоритма и структурной схемы дистанционного контроля пожарного риска цель исследования может быть достигнута в полном объеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.
2. Michael Y. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series //Science of The Total Environment. – 2021. – Т. 764. – С. 142.
3. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy //Trans Motauto World. – 2021. – Т. 6. – №. 1. – С. 27-29.
4. Shin S. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect //Journal of hazardous materials. – 2018. – С. 279-289.
5. Szacillo L. Risk assessment for rail freight transport operations //Eksplatacja i Niezawodnosc. – 2021. – Т. 23. – №. 3.
6. Королева Л.А. Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов : диссертация ... доктора технических наук : 05.26.03 / Королева Людмила Анатольевна – Санкт-Петербург, 2019. – 423 с. : ил.
7. Леонтьева М.С. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом / М.С. Леонтьева, Ю.Е. Актерский // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 1(61). – С. 108-116.
8. Ludvigsen J., Klabeo R. Extreme weather impacts on freight railways in Europe //Natural hazards. – 2014. – Т. 70. – №. 1. – С. 767-787
9. Леонтьева М.С. Основные ресурсы и механизмы снижения пожарного риска железнодорожных перевозок опасных грузов / М.С. Леонтьева // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 326-331.
10. Пожаропредупредительная автоматика. Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний / Ф.И. Шаровар. – Москва: Специнформатика-Си, 2013. – 555 с. : ил.
11. Анардович С.С., Руш Е.А. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного характера на железнодорожном транспорте //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – №. 2 (66). – С. 121-128.
12. Фалеев М.И. Программно-целевой метод решения проблем снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций //Управление рисками чрезвычайных ситуаций. – 2001. – С. 26-34.
13. Бадалян Н.П. и др. Аппаратный комплекс для информационной системы поддержки принятия стандартных управленческих решений //Вестник Национального политехнического университета Армении. Электротехника, энергетика. – 2018. – №. 1. – С. 32-45.
14. Szacillo L. et al. Risk assessment for rail freight transport operations //Eksplatacja i Niezawodnosc. – 2021. – Т. 23. – №. 3.
15. Беликов В.С., Вислогузов В.В., Катцын Д.В., Клюй В.В., Мальгин И.Г. Обеспечение пожарной безопасности на железнодорожном транспорте: учебное пособие / Под ред. В.С. Артамонова – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. – 100 с.
16. Вакула В.А., Котов Д.Ю. Пожаробезопасность на железнодорожном транспорте //Актуальные проблемы железнодорожного транспорта. – 2018. – С. 10-13.
17. Cui J., Nelson J.D. Underground transport: An overview //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2019. – Т. 87. – С. 122-126.
18. Груманс В.М. Проблемы оптимизации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на транспорте //Цифровизация транспорта и образования. – 2019. – С. 328-337.
19. Тушко И.С. Транспортная безопасность на железнодорожном транспорте: проблематика и пути решения

//Проблемы правоохранительной деятельности. – 2019. – №. 4. – С. 62-67.

20. Сибирко В.И., Путин В.С., Арсланов А.М. Причины пожаров на транспортных средствах в Российской Федерации //Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения. – 2020. – С. 106-109.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.84:622.13:691.4

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0031

**АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И
ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПУНКТА ПОДГОТОВКИ ГАЗА)
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ГАЛСТУК-БАБОЧКА**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 6624-0096

Author ID: 341043

ORCID: 0000-0002-0321-8705

Scopus ID: 57210258881

СЕВОСТЬЯНОВА Ольга Павловна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

(430000, Россия, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68/1, e-mail: opkein@yandex.ru)

SPIN: 8467-5126

Author ID: 671259

ORCID: 0000-0002-9849-3995

Researcher ID: AAF-6826-2021

Scopus ID: 5720226546

КЛИМОВА Ирина Викторовна, кандидат технических наук,
доцент Высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: bgd4@mail.ru)

Аннотация. Объекты газораспределения и газопотребления относятся к опасным производственным объектам, где возможны аварийные ситуации, которые наносят материальный, экологический ущерб, а также могут нанести вред здоровью человека и его жизни. Наиболее вероятным негативным событием на таких объектах является выход газа в атмосферу при частичной разгерметизации. Цель работы – построение визуальной модели, основанной на диаграмме «галстук-бабочка» и позволяющей проводить анализ безопасности объектов газораспределения и газопотребления, с отражением предупреждающих и реагирующих барьеров безопасности. В задачи исследования входило обоснование интеграции современных методов системного анализа («Анализ барьеров безопасности», «Анализ дерева отказов» и «Анализ дерева событий»), построение и описание диаграммы-модели, классификация барьеров безопасности для пункта подготовки газа. Предлагаемая модель визуализирует логические цепочки возникновения и развития негативного события и позволяет наглядно показать, каким образом возможно влиять на сценарии развития аварии (инцидента). Барьеры безопасности предлагается разделить на внешние, внутренние и человеческие, с последующим делением на технические и организационные.

Ключевые слова: модель, разгерметизация, пожар, взрыв, опасный производственный объект, риск-факторы, предупреждающие и реагирующие барьеры, сценарий аварии, пункт подготовки газа.

**SAFETY ANALYSIS OF GAS DISTRIBUTION AND GAS CONSUMPTION FACILITIES
(USING THE EXAMPLE OF A GAS TREATMENT POINT) USING THE BOW TIE MODEL**

© The Author(s) 2022

SEVOSTYANOVA Olga Pavlovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of "Life Safety"

N. P. Ogarev Mordovian State University

(430000, Russia, Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya str. 68/1, e-mail: opkein@yandex.ru)

KLIMOVA Irina Viktorovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Higher School of Technosphere Safety

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29, e-mail: bgd4@mail.ru)

Abstract. Gas distribution and gas consumption facilities belong to hazardous production facilities, where emergency situations are possible that cause material, environmental damage, and can also harm human health and life. The most likely negative event at such facilities is the release of gas into the atmosphere during partial depressurization. The purpose of the work is to build a visual model based on the "bow tie" diagram and allowing for an analysis of the safety of gas distribution and gas consumption facilities, reflecting warning and reacting safety barriers. The objectives of the study included the justification of the integration of modern methods of system analysis ("Analysis of safety barriers", "Failure tree analysis" and "Event tree analysis"), the construction and description of a diagram model, classification of safety barriers for a gas treatment point. The proposed model visualizes the logical chains of the occurrence and development of a negative event and allows you to clearly show how it is possible to influence the scenarios of the develop-

ment of an accident (incident). The security barriers are proposed to be divided into external, internal and human, with subsequent division into technical and organizational.

Keywords: model, depressurization, fire, explosion, hazardous production facility, risk factors, warning and reacting barriers, accident scenario, gas treatment point.

Для цитирования: Севостьянова О.П. Анализ безопасности объектов газораспределения и газопотребления (на примере пункта подготовки газа) с использованием модели галстук-бабочка / О.П. Севостьянова, И.В. Климова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 200-205. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0031.

Введение. В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 870 от 29.10.2010 г. «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления», объект технического регулирования может быть идентифицирован в качестве сети газораспределения, если транспортирует природный газ:

а) по территориям населенных пунктов – с давлением, не превышающим 1,2 МПа;

б) по территориям населенных пунктов исключительно к производственным площадкам, на которых размещены газотурбинные и парогазовые установки, и по территориям указанных производственных площадок – с давлением, превышающим 1,2 МПа;

в) между населенными пунктами – с давлением, превышающим 0,005 МПа.

Объект технического регулирования может быть идентифицирован в качестве сети газопотребления, если транспортирует природный газ:

а) к газоиспользующему оборудованию газифицируемых зданий и газоиспользующему оборудованию, размещенному вне зданий, – с давлением, не превышающим 1,2 МПа;

б) к газотурбинным и парогазовым установкам – с давлением, не превышающим 2,5 МПа.

Анализ результатов технических расследований аварий [1] позволяет выявить основные причины возникновения аварий и инцидентов на исследуемых объектах. Причины аварий (рис. 1) могут быть разделены на три группы: внешние, внутренние и ошибки оператора (человеческий фактор).

Для реализации риск-ориентированного подхода Ростехнадзором разработан и утвержден ряд методик для оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, анализа опасностей и оценки риска аварий, обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрыве топливно-воздушных смесей, установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасного производственного объекта (ОПО) [2-5].

Целью данной работы является построение визуальной модели, основанной на диаграмме «галстук-бабочка» и позволяющей проводить анализ безопасности объектов газораспределения и газопотребления, с отражением барьеров безопасности.



Рисунок 1 – Основные факторы риска и причины аварий

Методология. В работе использованы и интегрированы несколько существующих подходов, применяемых для анализа возникновения отказов и развития аварий на опасных производственных объектах («Анализ дерева отказов» и «Анализ дерева событий»), метод АББ («Анализ барьеров безопасности»).

В качестве основной задачи, которая решалась в ходе исследования, была возможность повысить безопасность работы ППГ, варьируя предупреждающие и реагирующие барьеры безопасности в построенной модели на основе диаграммы «галстук-бабочка», начиная с области накопления риск-факторов и заканчивая последст-

виями реализации негативного события.

В процессе эксплуатации сетей газораспределения и газопотребления должны быть обеспечены: подача газа газоиспользующему оборудованию требуемого давления, очищенного от посторонних примесей и конденсата, в количестве, соответствующем его нагрузке; безопасная работа оборудования, а также безопасное проведение его технического обслуживания и ремонта; своевременное техническое обслуживание и ремонт оборудования; производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности [6].

Подача газа газоиспользующему оборудованию происходит через пункт подготовки газа (ППГ),

который будет рассмотрен в качестве модельного объекта.

ППГ предназначен для очистки, замера и бесперебойной подачи очищенного природного газа на дожимные компрессорные установки, очистки газа для газотурбинных установок (ГТУ), при строительстве парогазовых установок (ПГУ), а также на компрессорных станциях для обеспечения топливным, пусковым и импульсным газом компрессорных цехов с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами и электростанций собственных нужд с газотурбинным приводом. Возможные шесть сценариев развития аварии (С1-С6) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные сценарии развития аварии при частичной разгерметизации оборудования ППГ

Частичная разгерметизация	→ мгновенное воспламенение		→ взрыв	С1
			→ факельное горение	С2
	→ без мгновенного воспламенения	→ наличие источника огня	→ взрыв	С3
			→ факельное горение	С4
	→ создание газового облака		→ создание опасных концентраций	С5
			→ рассеивание	С6

Основные негативные события, которые могут произойти при инициирующем событии «частичная разгерметизация» – это утечка газа без воспламенения, факельное горение, взрыв с последующим пожаром [7-12].

Иницирующему событию предшествуют причины, способствующие реализации опасности и его скорейшему наступлению. Как было отмечено ранее, эти причины, как риск-факторы, можно разделить на три основные группы: внешние, внутренние и человеческий фактор. Риск-факторам предшествуют индикаторы риска – это то, что приводит к их развитию. Например, высокие или низкие температуры воздуха, изменение ландшафта, проведение ремонтных работ и т.д. Между риск-факторами и инициирующим событием создаются предупреждающие барьеры, которые позволяют снизить вероятность реализации инициирующего события, так же как реагирующие барьеры между инициирующим событием и последствием.

Барьеры безопасности – это физические и (или) нефизические методы и средства, предназначенные для предотвращения, контроля или смягчения нежелательных событий или несчастных случаев. Эти средства варьируются от единичного технического блока или действия человека до комплексной социотехнической системы.

Барьерная функция – это деятельность или действие, направленные на предотвращение, контроль или смягчение нежелательных событий, при этом, под барьерной системой подразумевается совокупность или множество связанных между собой элементов, которые спроектированы и реализованы для исполнения одной или нескольких барьерных функций [13-15].

Предлагается барьеры безопасности, как и риск-

факторы, разделить на внешние, внутренние и человеческие (табл. 2).

Согласно существующему методу анализа барьеров безопасности (АББ), барьеры безопасности, предшествующие негативному событию, определены как предупреждающие [16]. Барьеры, которые направлены на снижение последствий после того, как событие произошло (средства управления для восстановления и снижения последствий), предлагается назвать реагирующими.

Результаты. Наглядно связь между риск-факторами и возможными последствиями показана на схеме типа «галстук-бабочка» (рис. 2).

При моделировании в качестве входных параметров рассматривались риск-факторы, в качестве выходных параметров – последствия выхода газа (С1-С6).

Предлагаемая модель состоит из левого и правого крыла, связующим звеном для крыльев является головное событие (частичная разгерметизация). Этот метод анализа объединяет дерево событий и дерево отказов и дает возможность разместить на диаграмме барьеры безопасности.

Левое крыло выстраивает логику причинно-следственных связей от головного события до области накопления риск-факторов, движемся справа налево (по методу «Анализ дерева отказов»). После выявления основных групп риск-факторов они могут быть конкретизированы и проранжированы по значимости вклада. Предупреждающие барьеры располагаются между выявленными группами причин и головным событием, тем самым снижая вероятность его возникновения. Один и тот же барьер может быть направлен на снижение влияния (устранение) какой-либо одной причины или группы причин.

Таблица 2 – Классификация барьеров безопасности для ППГ

Барьерная система						
↓						
Барьерная функция						
↓						
Барьеры безопасности						
Внешние		Внутренние		Человеческие		
↓		↓		↓		
совокупность внешних физических воздействий на объект		связанные с неисправностями оборудования и снижением надежности внутри системы		ошибки оператора, неправильные действия человека в процессе выполнения работ		
↓		↓		↓		
Технические	Организационные	Технические	Организационные	Технические	Организационные	
текущий и капитальный ремонт	визуальный контроль технического состояния	текущий и капитальный ремонт	визуальный контроль технического состояния	использование VR-технологий при обучении	производственный контроль	
проверка параметров срабатывания ПЗК и ПСК	аварийно-диспетчерское обеспечение	проверка параметров срабатывания ПЗК и ПСК	аварийно-диспетчерское обеспечение		использование нейронных обучаемых сетей	аттестация работников
техническое обслуживание	техническое диагностирование	техническое обслуживание	техническое диагностирование	использование нейронных обучаемых сетей		обучение работников по вопросам безопасности
	проверка герметичности фланцевых, резьбовых и сварных соединений	контроль загазованности в помещениях ППГ	проверка герметичности фланцевых, резьбовых и сварных соединений			проведение внутренних и внешних аудитов
	производственный контроль	вентиляция	производственный контроль настройка регуляторов		профотбор персонала использование инструктивных карт	

На рисунке 2 приведены следующие примеры предупреждающих барьеров: усиление конструктивной защиты, совершенствование ПК и системы обучения персонала. Кроме того, риск-факторы могут быть представлены более развернуто с отражением причин их возникновения. В этом случае предупреждающие барьеры могут находиться между разными уровнями причин.

Правое крыло представляет собой развитие неблагоприятного события, что принято называть

сценариями.

Построение крыла идет слева направо – от головного события к конкретным последствиям (по методу «Анализ дерева событий»). С этой стороны модель также может быть расширена и включать комбинированные последствия, принцип «домино», переход аварии в чрезвычайную ситуацию. Расположение реагирующих барьеров возможно между головным событием и разными уровнями последствий.

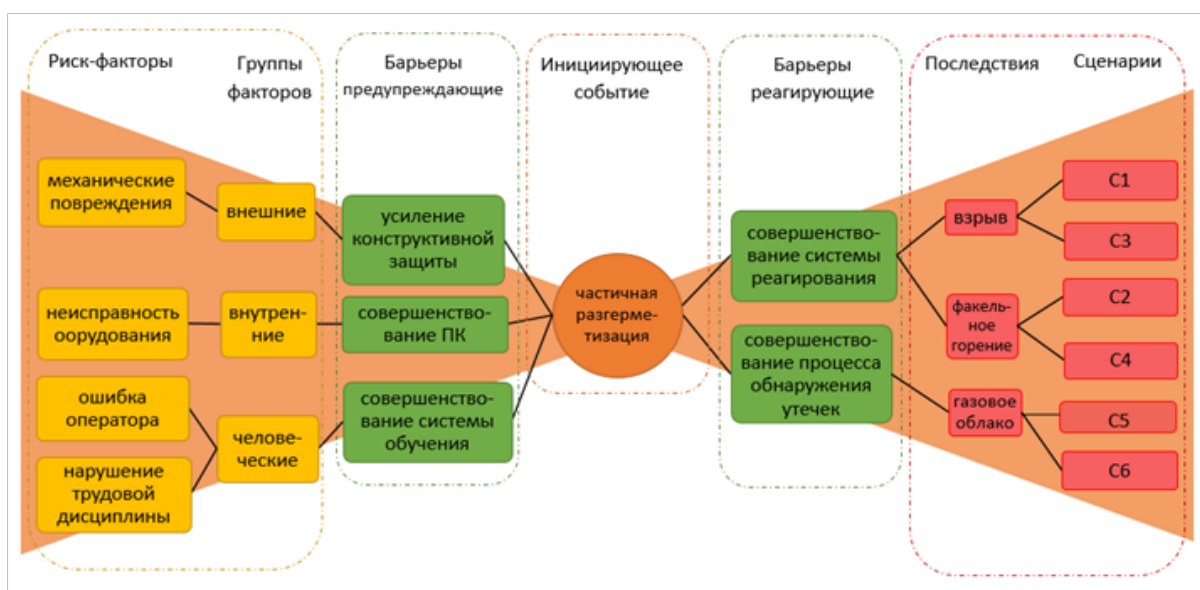


Рисунок 2 – Применение метода АББ на примере ППГ

Обсуждение. Рассмотрим возможные варианты риск-факторов, а также, предупреждающих и реагирующих барьеров. Механические повреждения возможны от влияния различных внешних факторов,

не зависящих от человека, неблагоприятных и опасных процессов и явлений природы (НОЯ). По генезису из всего спектра наиболее вероятными НОЯ для ППГ будут:

1) климатические и гидрологические – ураганы, грозы, штормы и др.;

2) геолого-морфологические – землетрясения, оползни и др.;

3) биологические – лесные пожары, повреждения дикими животными.

Они могут быть слабо ограниченными или резко ограниченными и могут являться риск-факторами, способными разрушить объект и привести к иницирующему событию.

Варьируемыми параметрами в представленной модели являются предупреждающие и реагирующие барьеры. Они могут изменяться в зависимости от ситуации и принятого решения, а также от возможностей и способностей конкретного объекта. Один барьер может быть установлен как на одну группу риск-факторов, так и на несколько.

Из диаграммы (рис. 1) видно, что 12% аварий в сумме происходит из-за двух видов ошибок персонала, 69% в сумме – из-за механических повреждений и 19% аварий в сумме дают неисправное оборудование, НОЯ и иные причины. Таким образом, порядка 81% – это вклад человеческого фактора, потому как даже механические повреждения происходили вследствие управления спец.техникой или нарушения правил.

В качестве предупреждающих барьеров на стадии обучения и подготовки персонала можно рассмотреть, например, инструктивные карты, применение VR-технологий [17, 18]. На сегодняшний день существуют методики профессионального отбора, учитывающие различные функциональные состояния человека при принятии решений [19].

Для создания реагирующих барьеров возможно использование комплексного мониторинга и управления производством (*c-MES*, *EAM* – системы управление ТО и ремонтами). Рабочим инструментом могут служить нейронные обучаемые сети [20, 21], позволяющие с помощью математических моделей воспроизвести работу человеческого мозга. Также ряд работ посвящены совершенствованию системы производственного контроля, внедрению дополнительных индикаторов, отражающих результативность и эффективность как производственного контроля, так и системы управления промышленной безопасностью в целом [22, 23].

Выводы. Предлагаемая модель по типу «галстук-бабочка» визуализирует логические цепочки возникновения и развития негативного события на модельном объекте, позволяет наглядно показать, каким образом возможно влиять на сценарии развития негативного события (аварии или инцидента).

Модель является интеграцией нескольких методов оценки риска – «Анализ барьеров безопасности», «Анализ дерева отказов», «Анализ дерева событий».

Варьируемыми блоками в представленной модели являются предупреждающие (располагаются в левой части диаграммы) и реагирующие барьеры (располагаются в правой части диаграммы).

Предлагается риск-факторы и барьеры безопасности разделять на три группы: внешние, внутренние и человеческие. Один барьер может быть установлен как на одну группу риск-факторов, так и на несколько и призван снизить риск возникновения аварии и минимизировать ее последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Уроки, извлеченные из аварий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (Дата обращения: 05.04.2021).
2. «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утв. приказом Ростехнадзора от 31.03.2016 № 137.
3. «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144.
4. «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрыве топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.06.2016 № 217.
5. «Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса», утв. приказом Ростехнадзора от 23.08.2016 № 349.
6. «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», утв. приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 531.
7. Prasetyo, Enggar & Santosa, Haryono & Kasim, Fadli & Nikita, & Ayash, Yahya. (2020). Risk assessment and mitigation of fire in compressed natural gas (CNG) station using ALOHA and fault tree method at PT. Sarihusada Generasi Mahardhika 2 Klaten. AIP Conference Proceedings. 2223. 050005. 10.1063/5.0003917.
8. Sellami, Ilyas & Manescau, Brady & Chetehouna, Khalid & De izarra, Charles & Nait-Said, Rachid & Zidani, Fatiha. (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 54. 10.1016/j.jlp.2018.02.010.
9. Bradley, I., Scarponi, G. E., Otremba, F., & Birk, A. M. (2021). An overview of test standards and regulations relevant to the fire testing of pressure vessels. Process Safety and Environmental Protection, 145, 150-156.
10. Li, J., & Hao, H. (2021). Numerical simulation of medium to large scale BLEVE and the prediction of BLEVE's blast wave in obstructed environment. Process Safety and Environmental Protection, 145, 94-109.
11. Folch-Calvo, Martin et al. "Analysis and Characterization of Risk Methodologies Applied to Industrial Parks." Sustainability 12 (2020): 7294.
12. Li, Z., Wang, S., & Sun, D. (2020). Research on safety spacing of chemical storage tanks based on accident consequence and risk analysis. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 198, 01021 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019801021>
13. Жуков И.С. Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 5. С. 49–56.
14. Анализ барьеров безопасности в системе обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов / Г.С. Дупляков, М.В. Елфимова, А.Н. Батура // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 1 (16). С. 11-17.
15. Типология барьеров безопасности в системе управления профессиональными рисками / С.П. Левашов, И.П. Карначев, В.С. Шкрабак // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2018. – № 2. – С. 137-146.
16. Руководство по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах", утв. приказом Федеральной службы по экологическому, техно-логическому и атомному надзору от 11.04.2016 г. № 144.
17. Кейн О.П., Климова И.В. Возможность применения инструктивных карт безопасных методов и приемов труда в агропромышленном комплексе // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов. Саранск, 2017. – С. 666-671.

18. Fathutdinov R.I., Afanasjeva I.V. Improving procedures of training employees by implementing guidance cards safe methods and techniques of work // Machines. Technologies. Materials. International scientific journal. – № 10. – 2016. – P. 10–12.

19. Захаров Д. Ю., Климова И.В., Щербатюк Я.В. Оценка влияния функционального состояния персонала на риски возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2017. – № 4. – С. 152-164.

20. Земенкова М. Ю. Методологическое обеспечение мониторинга безопасности объектов транспорта и хранения нефти и газа на основе интеллектуальных экспертных систем. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тюменский индустриальный университет. Тюмень, 2020.

21. Hemmatian, Behrouz & Casal, Joaquim & Planas, Eulalia & Hemmatian, Behnam & Rashtchian, Davood. (2019). Prediction of BLEVE mechanical energy by implementation of artificial neural network. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 63. 104021. 10.1016/j.jlp.2019.104021.

22. Fruchtnicht E., Fellers J.W., Hanks C.D. Safety inspections: continuous improvement, Effectiveness & Efficiency// Professional safety volume. – 2013. – № 7. – P. 28–35.

23. Podgorski D. Measuring operational performance of OSH management system - A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators // Safety and Health at Work. 2015. – P. 146-166.

Статья поступила в редакцию 25.05.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 628.316.12:665.7

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0032

ЭЛЕКТРОФЛОТОВОКОАГУЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ

© Автор(ы) 2022

АНТониу Давид Фернанду Малунгу, магистрант

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

(410054, Россия, Саратов, улица Политехническая, дом 77, e-mail: davidquimico_1@hotmail.com)

SPIN: 1016-6620

Author ID: 400231

ORCID: 0000-0001-2345-6789

ResearcherID: S-8051-2016

Scopus ID: 6603460301

ОЛЬШАНСКАЯ Любовь Николаевна, доктор химических наук,

профессор, профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

(410054, Россия, Саратов, улица Политехническая, дом 77, e-mail: ecos123@mail.ru)

Аннотация. В последние десятилетия развитие нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли вызвало многочисленные отрицательные воздействия на окружающую среду. Для удаления нефтезагрязнений из почв, поверхностных и подземных вод применяют механические, физические, физико-химические и электрохимические методы. Это позволяет в последующем использовать очищенную воду и нефтепродукты для вторичного употребления. Перспективным способом очистки промывных грунтовых нефтезагрязнённых вод является электрофлотация. Благодаря доступной аппаратуре и простоте в эксплуатации она призвана стать альтернативным и технологичным способом очистки воды от загрязняющих веществ. В статье приведены результаты исследований с помощью разработанного реактора и дана оценка физико-химических параметров (рН, температура, цвет, образование хлопьев и др.), изменяющихся в процессах окисления – восстановления. Отмечено, что при электрофлотации, в отличие от традиционных физико-химических процессов, образуется коагулянт и, следовательно, хлопья дисперсного материала, при этом одновременно осуществляется флотация образовавшегося остатка. Электрофлотокоагуляция с использованием металлического алюминия в качестве коагулянта с макроскопической точки зрения показала отличные результаты, о чем свидетельствует осветление вод после электролиза. Использование простого и удобного в эксплуатации оборудования с автоматизированным контролем тока и потенциала, контролем за выделением хлопьев коагулянта, стабильных и легко удаляющихся фильтрованием подтверждает эффективность этого метода очистки.

Ключевые слова: почвы, загрязнения, деградация, нефть, нефтепродукты, грунтовые воды, методы очистки, электрофлотация, электрокоагуляция, реактор, алюминиевый электрод.

ELECTROFLOT COAGULATION GROUND WATER PURIFICATION FROM OIL POLLUTION

© The Author(s) 2022

ANTONIO David Fernando Malungu, master student,

OLSHANSKAYA Lyubov Nikolaevna, doctor of chemical sciences, professor,

professor of the department «Ecology and technosphere safety»

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(410054, Russia, Saratov, Politekhnikeskaya street, 77)

Abstract. In recent decades, the development of the oil and oil refining industry has caused numerous negative environmental impacts. To remove oil pollution from soils, surface and groundwater, mechanical, physical, physicochemical and electrochemical methods are used. This allows the subsequent use of purified water and oil products for reuse. Electroflotation is a promising method for cleaning ground oil-contaminated water. Due to the available equipment and ease of operation, it is designed to become an alternative and technological way to purify water from pollutants. The article presents the results of studies using the developed reactor and gives an assessment of the physicochemical parameters (pH, temperature, color, flaking, etc.) that change in the oxidation-reduction processes. It is noted that during electroflotation, in contrast to traditional physical and chemical processes, a coagulant is formed and, consequently, flakes of dispersed material, while the resulting residue is simultaneously flotation. Electroflotocoagulation using aluminum metal as a coagulant showed excellent results from a macroscopic point of view, as evidenced by water clarification after electrolysis. The use of simple and easy-to-use equipment with automated control of current and potential, control over the release of coagulant flakes, stable and easily removed by filtration, confirms the effectiveness of this cleaning method.

Keywords: soils, pollution, degradation, oil, oil products, groundwater, electroflotation, electrocoagulation, cleaning methods, reactor, aluminum electrode.

Для цитирования: Антониу Д.Ф.М. Электрофлотокоагуляционная очистка грунтовой воды от нефтезагрязнений / Д.Ф.М. Антониу, Л.Н. Ольшанская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 206-212. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0032.

Введение. В последние десятилетия к уже известным видам деградации добавился исключительно опасный фактор антропогенного воздействия – нефтяное загрязнение. Нефтегазодобывающая промышленность является старейшей в России и существует уже порядка 150 лет.

Основным источником загрязнений нефтью и нефтепродуктами являются нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, системы перекачки и транспортировки, нефтяные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов, речные и морские нефтеналивные танкеры, железнодорожный транспорт, автозаправочные комплексы и станции. Объемы отходов нефтепродуктов и нефтезагрязнений, скопившиеся на отдельных объектах, составляют десятки и сотни тысяч кубометров. Значительное число хранилищ нефтешламов и отходов, построенных с начала 50-х годов, превратилось из средства предотвращения нефтезагрязнений в постоянно действующий источник таких загрязнений.

Анализ научно-технической и патентной литературы по способам удаления нефтезагрязнений из почв [1-4], поверхностных и подземных вод [1,5-11] показал, что для этих целей применяют различные механические, физические, физико-химические и электрохимические методы.

Это позволяет одновременно в последующем использовать очищенную воду и нефтепродукты, пригодные для вторичного потребления. Одним из перспективных способов очистки промывных грунтовых нефтезагрязнённых вод является способ электрофлотации [12-18], который начал применяться еще в XX веке, однако сложность и неизученность взаимосвязи гидродинамических процессов с электрохимическими реакциями, являлись тормозом для его развития.

В настоящее время этот метод находит всё большее применение благодаря доступной аппаратуре и простоте в эксплуатации. Важно и то, что в технологическом цикле используются легкодоступные материалы, что позволяет за достаточно короткий промежуток времени эффективно удалять различные загрязняющие вещества, например, на механическом этапе промывки грунтов от нефтезагрязнений и последующей очистки грунтовых вод от нефти и нефтепродуктов (Н и НП).

Развитие этого направления определяет актуальность представляемого исследования по очистке нефтезагрязнённых грунтовых вод инновационным электрофлотокоагуляционным методом, который в настоящее время используется в небольших масштабах.

Методология. Целью настоящей работы является извлечение методом электрофлотации нефтезагрязнений из почвенных грунтовых вод, образующихся

на техническом этапе ремедиации почв после их промывки. Электрофлотация – физико-химический метод очистки воды от нерастворимых (дисперсных) веществ. Метод основан на проведении электролиза воды на нерастворимых электродах и флотационном эффекте. В процессе электрофлотации нерастворимые загрязняющие вещества поднимаются на поверхность грунтовой воды, переносимые всплывающими микропузырьками водорода и кислорода, образующимися при электролизе воды [14-16]. Этот метод был разработан в 1905 году Ф. Элмором для флотации ценных минералов из руд [17].

Электрофлотация включает процесс прохождения электрического тока через электролитическую ячейку с загрязненной водой, что приводит к двум различным процессам: электрокоагуляции и электрофлотации. Именно эти явления и были использованы в нашей работе при удалении Н и НП из загрязнённых грунтовых вод.

Методы очистки промышленных вод предназначены для удаления примесей, образующихся при производстве представляющих интерес продуктов, и напрямую связаны с типом образующихся загрязнённых вод, оперативным контролем отрасли и характеристиками используемой воды. При очистке нефтезагрязнённой грунтовой воды эти методы зависят от таких факторов, как объем, состав, местоположение месторождения и ограничения, установленные действующим природоохранным законодательством. Чтобы быть жизнеспособными, технологии очистки должны иметь низкие эксплуатационные расходы и высокую эффективность, должны быть компактными из-за ограничений по пространству и весу.

Удаление плавающих (или неплавающих) твердых частиц, относительно больших размеров (взвешенные твердые частицы песков, плавающие масла и жиры), как правило, обеспечивается физическими процессами. Такие процессы связаны с первичной и предварительной обработкой и характеризуются как методы фазового разделения, поскольку они лишь способствуют фазовому переносу загрязняющего вещества и, следовательно, не являются устойчивым методом в среднесрочной/долгосрочной перспективе. Решетки, сита, песочницы, резервуары для удаления масел и жиров, поплавки, декантеры и фильтры – вот некоторые виды оборудования, используемые для этой цели.

Физико-химические процессы представляют собой наиболее многообещающую альтернативу деградации загрязняющих химических веществ. Эти процессы подразделяются на: традиционные физико-химические, в которых коагуляции и флокуляции способствуют добавлению коагулянтов и флокулянтов, и электролитические физико-химические процессы, в которых электролиз способствует процессам фло-

тации, коагуляции и флокуляции.

Электролитическая обработка выполнена с использованием электролитической ячейки (рис. 1) состоящей из системы, включающей применение постоянного или переменного тока, проходящего через электроды для обработки раствора электролита [19]. Важно отметить, что в процессе электрофлотации (ЭФ) образуется коагулянт и, следовательно, хлопья дисперсного материала, при этом одновременно осуществляется флотация образовавшегося остатка. В основном эти явления протекают в четыре стадии: электрохимическая генерация коагулирующего агента; адсорбция, нейтрализация; электрофлокуляция; флотация примесей.

Для проведения электрофлотации необходимо учитывать такие параметры, как разность потенциалов, расстояние между электродами, приложенный ток и нагрузка, влияние температуры и *pH* среды.

Реакции окисления и восстановления происходят, соответственно, на аноде и катоде в условиях создания разности потенциалов на электродах, погруженных в раствор электролита [19]. Чем больше расстояние между электродами, тем больше применяемая разность потенциалов, поскольку тем больше сопротивление, оказываемое раствором. В этих реакциях

расход электронов связан с общим количеством реагирующих веществ. При электрокоагуляции этот факт связан с износом электрода (коррозией). Таким образом, ток, используемый в процессе ЭФ, будет определять количество металла (например, Al), который будет окислен на аноде. Выбор величины тока устанавливается с учетом предотвращения его рассеивания в виде тепловой энергии раствором. Используя закон Фарадея, можно предсказать, что эквивалентная масса, полученная электрохимическим методом, составляет для алюминия – 335,6 мг /А•ч, для железа – 1041 мг / А•ч.

Температура процесса с энергетической точки зрения является важным параметром, так как позволяет повысить электропроводность раствора при одновременном снижении потребления электроэнергии. Однако очень высокие температуры могут вызвать дестабилизацию коллоидных комплексов. Важно отметить возможность нейтрализации *pH* стока при электрофлотации с применением алюминиевых электродов, если он выше или ниже 7. Это связано с такими факторами, как выделение водорода на катоде, гидролиз алюминия, образование кислорода на аноде, выделение CO_2 и образование других нерастворимых гидроксидов.

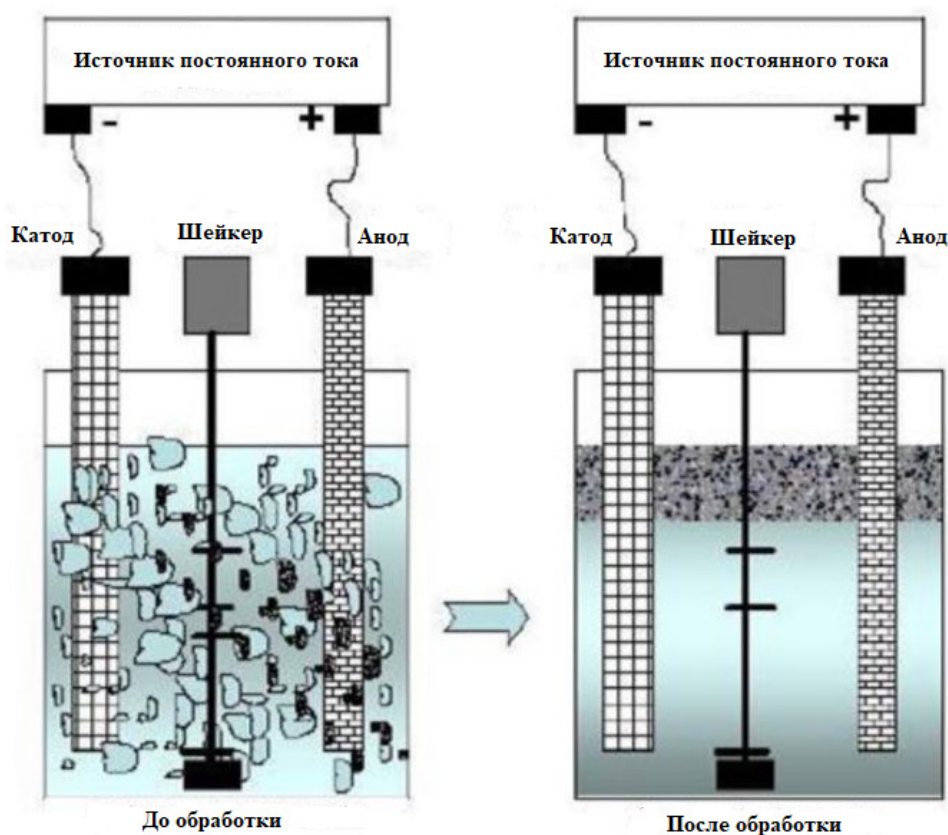


Рисунок 1 – Схема электролизера, предложенная в [19]

Авторы [16], рассматривают электролитический процесс как наиболее чистую технологию очистки СВ благодаря следующим параметрам: уменьшение добавления химических реактивов при обработке;

использование альтернативных традиционным физико-химическим системам способов, дополняя их мощность и эффективность очистки; использование окислительно-восстановительных реакций, которые

повышают потенциал разрушения стойких соединений; возможность работы в сменном режиме непрерывно или партиями; небольшие занимаемые площади, особенно по сравнению с системами биологической очистки.

Результаты. *Оценка физико-химических параметров.* Для практической оценки эффективности электролитической технологии при очистке нефтезагрязнений из грунтовой воды, использовалось стендовое оборудование, позволяющее демонстрировать протекание реакций электролиза, в ячейках-электролизёра. Для этого нами был разработан реактор из ПВХ (поливинилхлорид) и акрилового материала емкостью один литр (рис. 2), содержащий рабочий электрод из металлического алюминия и хлор-

серебряный электрод сравнения. Реактор выполнен с целью оценки физико-химических параметров, таких как: pH , температура, цвет и образование хлопьев, изменяющихся в процессах окисления-восстановления, и подчиняющихся закону Фарадея.

Для получения экспериментальных данных по установлению эффективности процесса электрофлотуляции при очистке воды, загрязненной органическими отходами готовили модельный раствор электролита на основе дистиллированной воды, имитирующий загрязненные воды (ЗВ) состава, мл/дм³: обычный бензин – 2; дизельное топливо – 2; смазочное масло (*top max lubricant sf 40 premium*) ≈ 2; детергента (марка *YPE* ≈ 1; соль $NaCl$ ≈ 0,585 г (или Na_2SO_4 ≈ 14,2 г).

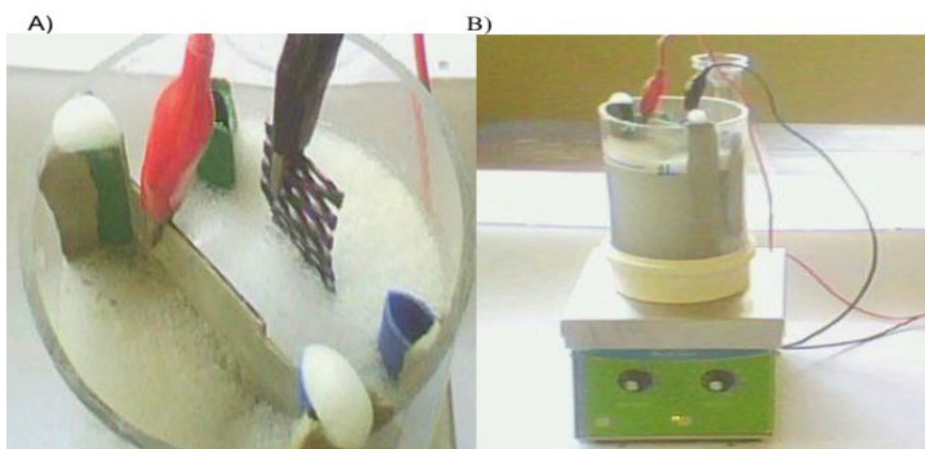


Рисунок 2 – Вид сверху (А) и сбоку (В) реактора с периодической обработкой и магнитным перемешиванием

Полученный раствор подкисляли 0,05 моль/л раствором серной кислоты H_2SO_4 или подщелачивали 1 моль/л гидроксида натрия $NaOH$. Использование Na_2SO_4 и $NaCl$ оправдано тем, что для электролиза требуется высокая электропроводность стоков, и при этом снижаются энергозатраты. Однако из-за влияния хлорида натрия на анализ химической потребности кислорода (ХПК) для его осаждения использовали нитрат серебра ($AgNO_3$), что позволило избежать отклонений в результатах. Кислоту (H_2SO_4) и основание ($NaOH$) использовали для проверки эффективности метода в кислых или щелочных средах.

Длительность электролиза составляла максимум шесть часов. В течение этого периода в установленное время (в начале электролиза и далее ежедневно) отбирали пробы по 2 мл в трехкратной повторности, а также 2 мл раствора, содержащего бихромат калия ($K_2Cr_2O_7$), и 3,5 мл раствора катализатора с сульфатом серебра. Растворяли в серной кислоте ($AgSO_4/H_2SO_4$) и нагревали при 150°C в течение двух часов с последующей декантацией.

Обсуждение. Удаление примесей из грунтовых нефтезагрязненных вод в основном осуществляется путем флотации образующихся отходов. В этих экспериментах электрофлотуляция проде-

монстрировала отличные результаты при удалении загрязнений с использованием алюминия в качестве коагулирующего агента. Но это также указывало на необходимость еще одного этапа обработки: фильтрации. Отделение твердых остатков, образующихся в результате электрофлотуляции, проводили фильтрованием, так как оно проходит быстрее по сравнению с декантацией. На рисунке 3 показан реактор с флотированным материалом после обработки.

В этом исследовании установление химического потребления кислорода (ХПК) было использовано в качестве параметра для анализа разложения органических веществ, присутствующих в анализируемой воде.

Для этого использовали питательный раствор с бихроматом калия и раствор катализатора с сульфатом серебра. Бихромат, присутствующий в питательном растворе, окисляет органические вещества, превращая их в углекислый газ (CO_2) и воду (H_2O). Бихромат был использован из-за его высокой склонности к окислению, стабильности, низкой стоимости с учетом, что это традиционный метод в аналитической химии. Основными помехами и ограничениями этого типа анализа являются присутствие таких веществ, как анион хлорида, который при взаимодействии с

ионом серебра образует хлорид серебра в виде осадка, снижая каталитическую активность серебра.



Рисунок 3 – Вид реактора с флотируемым материалом после обработки

Однако наличие ионов хлора в сточных водах можно считать большим преимуществом, так как процессы хлорообразования могут быть благоприятны как для обеззараживания воды, так и для устранения нежелательных запахов. Это обусловлено

возможностью образования на аноде Cl_2 , который, в свою очередь, может образовывать ионы гипохлорита (OCl^-) в присутствии воды. Однако такое применение требует дополнительного контроля над процессом, учитывая, что в этих условиях могут образовываться и нежелательные хлорорганические соединения.

При электролизе с использованием в качестве электролита $NaCl$ или Na_2SO_4 , несмотря на хорошую электропроводность среды, это вызвало повышение потенциала электролитной системы.

В этом случае, вероятно, произошло образование пассивной пленки (оксидного слоя, препятствующего легкой коррозии Al-электрода), ставящего под угрозу процесс электрофлоткоагуляции из-за потери эффективности вследствие увеличения удельного сопротивления электрода. В настоящем исследовании эффективность применения алюминиевых электродов для генерации электрокоагуляции и электрофлоткоуляции была проверена при использовании метода определения ХПК. С помощью этой оценки было проверено снижение ХПК при фотохимической обработке промышленной воды, содержащей органические соединения.

Для заданного диапазона pH , около 6, как указано в научно-технической литературе [19], не более эффективного определенного интервала времени – наибольшее полученное снижение составило приблизительно 47 % через три часа после начала электролиза (рис. 4).

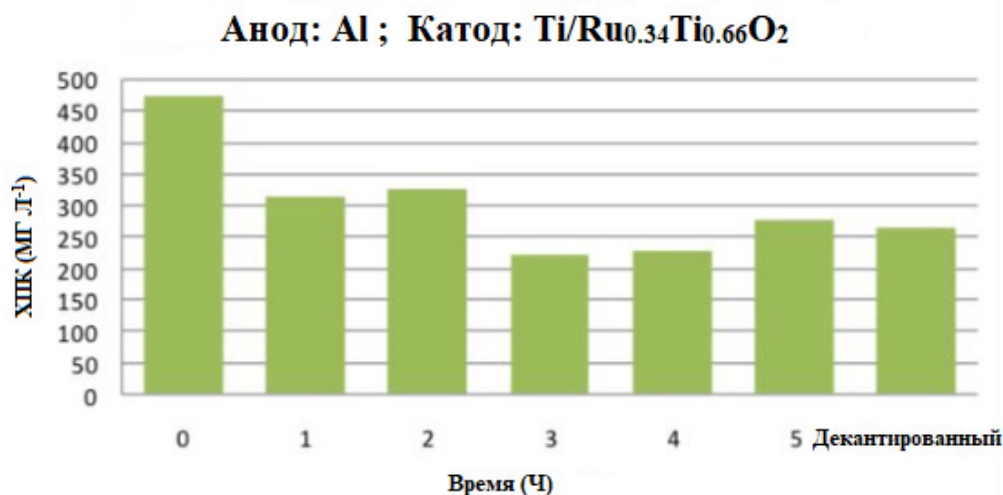


Рисунок 4 – Снижение ХПК (мг/л) органических соединений

На рисунке 5 показана сточная вода в начале процесса и после обработки в электролитическом реакторе в течение 5 часов. Наблюдается деградация загрязнений в растворе во время проведения эксперимента, доказывая, эффективность процесса и перспективы использования электрофлоткоуляции в процессах очистки воды, загрязненной органическими отходами. Что касается параметра цвета, СВ имели значительное осветление, в основном для стоков с добавлением гидроксида $NaOH$, который способствует

достаточному осветлению сточных вод.

Добавление гидроксида натрия само по себе, согласно авторам [20], которые провели исследования с промышленной водой из бассейна Кампос – Рио-де-Жанейро, используя подщелачивание (и последующее осветление) в качестве предварительной обработки пробы при фотохимической обработке промышленной воды, добившись снижения концентрации органических загрязнений на 40%, определяемый хроматографией.



Рисунок 5 – Внешний вид воды до (0 - 2) и после (3-5) электролитической обработки грунтовой воды

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что электролитическая обработка грунтовых, нефтезагрязненных вод имеет преимущества по сравнению с другими методами. Следует отметить, при этом используется простое и удобное в эксплуатации оборудование с автоматизированным контролем тока и потенциала, имеется контроль за выделением коагулянта, а образующиеся хлопья более стабильны и легко удаляются фильтрованием.

Электрофлокуляция с использованием металлического алюминия в качестве коагулянта с микроскопической точки зрения показала отличные результаты, о чем свидетельствует осветление сточных вод после электролиза, что подтверждает эффективность этого метода очистки, не уступающего по результатам с данными полученными в [21] при изучении закономерностей процесса флотации нефтесодержащих сточных вод с использованием смешанного реагента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Родионов А.И. Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности: учебник для студентов технических и технологических специальностей. - М.: Высшая школа, 2008. – 801 с.
2. Ягафарова Г.Г., Насырова Л.А., Шахова Ф.А. Балакирева., С.В., Баракшина В.Б., Сафаров А.Х. Инженерная экология в нефтегазовом комплексе: учебное пособие – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – 334 с.
3. Сафаров А.Х. Очистка почвогрунтов, загрязненных тяжелыми нефтепродуктами, методом реагентного капсулирования / А.Х. Сафаров, Г.Г. Ягафарова, А.И. Мустаева, Л.Р. Акчурина, Ф.Ш. Вильданов // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26 – № 5. – С. 32-36. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-5-32-36.
4. Ягафарова Г.Г., Акчурина Л.Р., Сафаров А.Х. Перспективные направления рекультивации грунтов, загрязненных тяжелой нефтью // Актуальные проблемы и направления развития энергоресурсоэффективных технологий органического и неорганического синтеза: сборник материалов международной научно-практической конференции. Уфа, 19–20 мая 2021 г. – Уфа, 2021. – С. 99-102.
5. Сердюкова, Е.А. Механические методы в очистке сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами/ Е.А.Сер-

дюкова// Современные исследования в области технических и естественных наук: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Белгород 30 мая 2017 г. – Белгород: АПНИ, 2017. – С. 231-234.

6. Еськин А.А. Амехин А.В., Степенчук А.А. Тенденции интенсификации физико-химических способов очистки нефтесодержащих вод //Технические науки – от теории к практике – 2013. – № 22. – С. 98-104.

7. Панжиев У.Р. Новые иониты из отходов для очистки сточных вод нефтегазовой промышленности // Булатовские чтения: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2017 г.: сб. ст.: [в 5 т.]. – Краснодар: Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 202-204.

8. Панасенко А.В., Кондратюк Е.В., Комарова Л.Ф. Альтернативные решения проблем очистки производственных и ливневых сточных вод от нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ // Ползуновский вестник – 2010. – № 3. – С. 287-289.

9. Патент 2341464 РФ, МПК C02F 9/06, C02F 1/465. Способ электрохимической очистки нефтесодержащих сточных вод и устройство для его осуществления / Назаров В.Д., Назаров М.В. заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», № 2006112745/15, заяв. 17.04.2006; опубл. 20.12.2008 Бюл. №35. – 6 с.

10. Патент 2392231 РФ, МПК C02F 1/40. Способ очистки нефтесодержащих сточных жидкостей/ Захаров Г.А.; Щетинин В.М.; Мукосеев Б.И.; Цыганкова К.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ДВПИ им. В.В. Куйбышева;– № 2008147402/15; заяв. 01.12.2008; опубл. 20.06.2010. Бюл.№ 17-12 с.

11. Oliveira R. C. G., Oliveira M. K. K. Удаление примесей из жидких стоков морской нефтедобычи // Технический бюллетень Петробраса, Рио-де-Жанейро. – 2000. – Vol. 43, № 2, апрель/июнь. – С. 129-136: Removal of toxic impurities from liquid effluents from offshore oil production.

12. Гречушкин А.Н., Шунова К.С. Влияние доз флокулянта на степень очистки нефтесодержащих сточных вод // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2018: сборник статей международной научно-практической конференции, 24-27 сентября 2018 г.: [сборник статей научно-практической конференции с международным участием] / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности, Российский фонд фундаментальных исследований. - Севастополь : Севастоп. гос. ун-т, 2018. - С. 300-302.

13. Колесников В.А., Ильин В.И. Электрофлотация в очистке сточных вод от нефтепродуктов, красителей, ПАВ,

лигандов и биологических загрязнений // Теоретические основы химической технологии 2019. – Т.53. – № 2. – С.205-228.

14. Electroflotation. www.waterrus.ru. (дата обращения: 18 сентября 2020 г.).

15. Géssica de O. Santiago Santos, Marília M. de Salles Pupo, Vanessa M. Vasconcelos, Katlin I. Barrios Eguiluz, Giancarlo R. Salazar Banda. Electroflotation // Electrochemical Water and Wastewater Treatment- Elsevier, 2018. – P. 77-118. – ISBN 978-0-12-813160-2. – doi:10.1016/b978-0-12-813160-2.00004-3.

16. George Z. Kyzas, Kostas A. Matis. Electroflotation process: A review(англ.) // Journal of Molecular Liquids. – 2016 – Vol. 220. – N. 8. – P. 657-664. – doi:10.1016/j.molliq.2016.04.128.

17. Chen X., Chen G. Electroflotation // Electrochemistry for the Environment / Christos Comninellis, Guohua Chen. – New York, NY: Springer New York, 2010. – P. 263-277. – ISBN 978-0-387-36922-8, 978-0-387-68318-8. – doi:10.1007/978-0-387-68318-8-11.

18. Шкерин С.А., Овчинников Г.В., Солдатов А.И. Усовершенствование конструкции аппарата электрофлотационной очистки, предназначенного для удаления нефтяных эмульсий // Сервис технических систем – агропромышленному комплексу России: сб. материалов междунар. научно-практич. конф. Министерство сельского хозяйства РФ, департамент научно-технологической политики и образования; Уральск: Южно-Уральский ГАУ. – 2017. – С. 212-218.

19. Silva Neto, A. C. Разработка электрофлотаторов для обработки нефтедобывающей воды: дис. ... канд. технич. наук - Федеральный университет Алагоаса. – UFAL, 2006. – 48 с: Development of electroflotation machines for the treatment of oil-producing water.

20. Silva С.Р., Тонхоло Дж., Zanta С.L.P.S. Применение передовых окислительных процессов при очистке попутной воды от нефти // Бразильский Конгресс Ниокр в нефти и газе. Анаис...Сальвадор: ИВР. – 2005. – № 3. – С. 59-64: Application of advanced oxidation processes in the treatment of associated water from oil.

21. Москвичева Е.В., Игнаткина Д.О., Янукиян Э.Г., Юрин П.Ф., Дудина М.А., Шукина К.А. Изучение закономерностей процесса флотации нефтесодержащих сточных вод с использованием смешанного реагента // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 1 (7). – С. 79-83.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 331.452

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0033

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИКОВ НАПРАВЛЕННОГО ЗВУКА С ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СИГНАЛИЗАЦИИ ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

© Авторы 2022

SPIN:7351-2476

AutorID: 312370

ORCID: 0000-0003-4460-5960

ScopusID: 57197837537

ДМИТРИЕВ Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор 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: oad2005@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: rudnevvv@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. Использование сигнализации заднего хода, обязательной для большинства большегрузных транспортных средств, создает определенные проблемы. Для обеспечения безопасности работающих рядом с транспортными средствами создается высокий уровень шума. Однако этот шум может распространяться далеко за пределы опасной зоны и быть слышен многим людям, которым не нужно реагировать на эти предупредительные сигналы, что вызывает значительное раздражение. Люди, проживающие вблизи мест, где работает большое количество грузовых автомобилей, особенно подвержены неудобствам и беспокойству из-за шума, создаваемого сигнализацией заднего хода. Работники, находящиеся рядом с грузовыми автомобилями также испытывают дискомфорт, поскольку они часто подвергаются воздействию шума длительное время в течение рабочей смены. Данное воздействие усиливается, когда транспортные средства перемещаются в полуоткрытых или полностью закрытых помещениях (складах и т. д.), средах, где многочисленные отражения звука от стен, полов и потолков значительно повышают уровень шума и создаются паразитные отражения, мешающие восприятию опасности (приводящие к ошибочной локализации источника звука и неверному восприятию расстояния). Таким образом, возникает дилемма: как обезопасить пешеходов и рабочих, находящихся рядом с транспортными средствами, минимизировав при этом акустическое загрязнение окружающей среды? Серийные сигнализации генерируют относительно всенаправленный звук. В них на данный момент не используется какая-либо передовая технология, позволяющая воздействовать на пространственное распределение звука. Исследование посвящено определению возможности использования динамиков направленного звука для разработки сигнализации заднего хода, способной издавать звук в четко определенной области. Особенностью указанных динамиков является создание очень сфокусированного звукового поля, которое может быть направлено в строго определенные области. За пределами этих областей издаваемый звук почти не слышен. В ходе исследования определялись характеристики динамиков направленного звука, которые сравнивались с серийными сигнализациями заднего хода: тональной и широкополосной.

Ключевые слова: безопасность и условия труда, грузовой автомобиль, сигнал заднего хода, динамики направленного звука.

**INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF PFRAMETRIC SPEAKERS FROM
THE POINT OF VIEW OF THEIR APPLICATION IN THE TRUCKS REVERSE SIGNALS**

© The Authors 2022

DMITRIEV Mikhail Sergeevich, doctor of engineering sciences, professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

RUDNEV Valery Valentinovich, candidate of engineering sciences, associate professor, head of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines
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-mails: oad2005@mail.ru, rudnevrv@cspu.ru, marina24-03@mail.ru)

Abstract. The use of a reverse alarm, which is mandatory for most heavy vehicles, creates certain problems. To ensure the safety of workers near vehicles, a high level of noise is generated. However, this noise can travel far beyond the danger zone and be heard by many people who do not need to respond to these warning signals, causing significant annoyance. People who live close to areas where a large number of trucks operate are particularly prone to inconvenience and anxiety due to the noise generated by the reverse alarm. Workers near trucks also experience discomfort as they are often exposed to noise for extended periods of time during a work shift. This impact is exacerbated when vehicles are driven in semi-open or fully enclosed spaces (warehouses, etc.), environments where multiple sound reflections from walls, floors, and ceilings significantly increase noise levels and create spurious reflections that interfere with the perception of danger (resulting in erroneous localization of the sound source and incorrect perception of distance). Thus, a dilemma arises: how to protect pedestrians and workers near vehicles, while minimizing acoustic pollution of the environment? Serial alarms generate a relatively omnidirectional sound. They currently do not use any advanced technology that allows you to influence the spatial distribution of sound. The study is to determine the possibility of using parametric speakers to develop a reversing alarm capable of sounding in a well-defined area. A feature of these speakers is the creation of a very focused sound field, which can be directed to strictly defined areas. Outside of these areas, the emitted sound is almost inaudible. The study determined the characteristics of parametric speakers and compared them with serial reversing alarms: tone and wideband.

Keywords: safety and working conditions, truck, reverse signal, parametric speakers.

Для цитирования: Дмитриев М.С. Исследование характеристик динамик направленного звука с точки зрения их применения в сигнализации заднего хода грузовых автомобилей / М.С. Дмитриев, В.В. Руднев, М.Л. Хасанова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 213-219. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0033.

Введение. Несчастные случаи, в том числе, со смертельным исходом, связанные с наездом транспортных средств, движущихся задним ходом, на работников, регистрируются каждый год в различных сферах деятельности (в строительстве, на транспорте, в горнодобывающей промышленности, в коммунальном хозяйстве, в агропромышленном производстве) [1-4].

Использование звуковых сигналов заднего хода является обязательным на большинстве грузовых автомобилей и остается широко используемым средством оповещения лиц, работающих вблизи транспортных средств, об опасности [5].

С другой стороны, сигналы заднего хода из-за высокого уровня шума, который они создают, зачастую являются основным источником дискомфорта для людей, проживающих вблизи зон работы транспортных средств, выполняющих маневры задним ходом [6].

Более того, дискомфорт, вызываемый сигнализацией, сказывается не только на жителях близлежащих районов, но и на самих рабочих, которые зачастую отключают сигнализацию, считая ее слишком громкой и агрессивной. Этот негативный эффект, оказываемый на рабочих, усиливается, когда они работают в полуоткрытых или полностью закрытых помещениях.

В дополнение к сказанному существует также тот факт, что для данного типа среды многие акустические отражения могут значительно ухуд-

шить возможность локализации транспортного средства, движущегося задним ходом [7-11].

К сожалению, в настоящее время не существует достаточно эффективного решения выявленных проблем.

Одним из возможных путей является использование направленных звуковых сигналов, т.е. сигналов, которые будут концентрироваться в основном в задней части автомобиля, особенно в опасной зоне.

Разработка сигнализации данного типа призвана решить три основных вопроса:

1. Необходимо, чтобы сигнал был слышен в строго очерченной зоне позади автомобиля (опасной зоне).
2. Следует ограничить негативные эффекты, связанные с реверберацией (акустические отражения от соседних поверхностей), например, в ангарах или при загрузке прицепов.
3. Обязательным является снижение акустического загрязнения окружающей среды, устранение дискомфорта для рабочих и местных жителей.

Концепция направленной сигнализации привлекательна в теории, но ее довольно трудно реализовать на практике. Действительно, технически сложно разработать надежные и недорогие устройства для создания направленного звукового сигнала, достаточно мощного, чтобы его можно было использовать в транспортных средствах.

Компания Brigade Electronics (создатель широкополосной сигнализации) предлагает сигнализации, допускающие определенную направленность звука,

и выделяет этот аспект в качестве преимущества. Однако результаты, заявленные производителями, не подтверждаются какими-либо научными или опытными данными. Более того, в различных исследованиях отмечено отсутствие преимуществ широкополосной сигнализации, поскольку ее звук распространяется и вне опасной зоны [12-19].

В этом исследовании предполагается изучить технологию, которая позволяет получать направленный звук, распространяющийся на значительные расстояния: динамики направленного звука.

Эта технология была разработана в 1960-х годах для гидролокации. В 1970-х годах ее исследовали с точки зрения распространения акустических волн в воздухе, что привело к созданию первых динамиков направленного звука в 1980-х годах.

С тех пор исследования в основном были посвящены активному контролю шума, создания «частных» звуковых зон [20].

Существует довольно мало случаев применения рассматриваемой технологии в области звуковой сигнализации. Редким примером является исследование генерации звукового сигнала перед автобусом для снижения риска наезда на пешеходов на перекрестках при повороте автобуса [21].

Основная цель работы заключается в проверке возможности использования динамиков направленного звука для создания сигнализации заднего хода.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи исследования:

1. Исследовать характеристики отдельных преобразователей в лаборатории и сравнить динамики направленного звука с существующими тональными и широкополосными сигнализациями.

2. Разработать и протестировать в лаборатории прототип направленной сигнализации заднего хода.

3. Провести испытания серийных сигнализаций и прототипа на транспортном средстве в реальных условиях.

Методология. В ходе исследования использовались тональная сигнализация модели *SAFE-T-ALERT STA 20302* (рис. 1а) и широкополосная модели *Brigade BBS-TEK 87* (рис. 1б).

Применялись две серийные модели динамиков направленного звука: *SoundLazer Parametric Audio Amp kit* (рис. 2а) и *Acouspade* (рис. 2б). Они предназначены для трансляции звуковых сигналов от портативных систем, таких как смартфон или MP3-плеер.

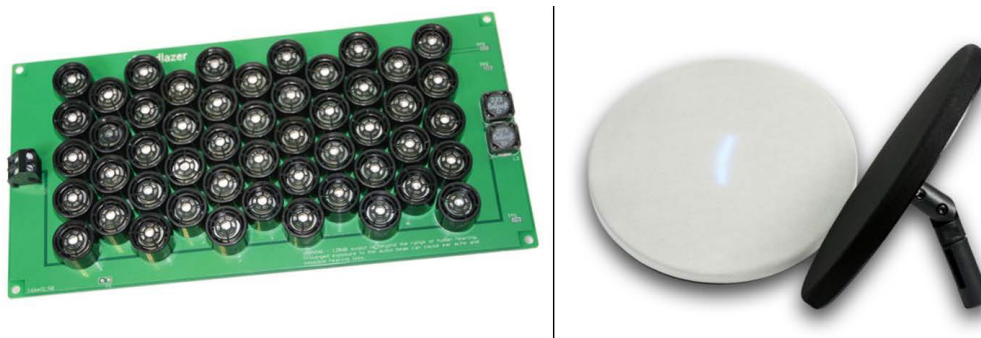
В качестве транспортного средства был использован автопогрузчик. Этих машины широко применяются в зонах, где ведется строительство, а также в закрытых и ревербирующих помещениях (ангары, склады и др.). Кроме того, его небольшие габариты делают погрузчик наиболее подходящим для исследования, частично проводимого в лаборатории.



а)

б)

Рисунок 1 – Внешний вид сигнализаций заднего хода:

а) тональная *SAFE-T-ALERT STA 20302*; б) широкополосная модели *Brigade BBS-TEK 87*

а)

б)

Рисунок 2 – Внешний вид динамиков направленного звука: а) *SoundLazer*; б) *Acouspade*

Для каждого типа сигнализации были проведены две серии опытов (статические и динамические измерения).

В процессе статических измерений двигатель погрузчика выключался, он стоял неподвижно, а сигнализация включалась вручную. Затем для всех микрофонов (коридора, лаборатории и автопогрузчика) выполняли регистрацию временных сигналов в течение 20 секунд. Кроме того, такое же измерение было выполнено без сигнализации, чтобы определить уровень фонового шума в окружающей среде. Наконец, были проведены измерения времени реверберации с использованием в качестве точечного источника шума двух деревянных блоков, ударившихся друг о друга.

В ходе динамических измерений сигнализация сначала активировалась вручную перед отъездом погрузчика. Затем водитель погрузчика проезжал три круга по коридору с постоянной скоростью. Погрузчик начинал движение задним ходом до конца коридора, а затем возвращался к переднему ходу, причем операция повторялась непрерывно дважды. Следует отметить, что сигнализация была постоянно включена, независимо от того, двигался ли

автопогрузчик задним ходом или передним. Скорость поддерживалась примерно в диапазоне 10...12 км/ч. Сигналы для всех микрофонов записывались на протяжении всего маневра.

Результаты и обсуждение. Результаты измерений уровней звукового давления в зависимости от расстояния для поглощающих и отражающих звук условий приведены соответственно на рисунках 3 и 4. На каждом графике уровни звукового давления нормированы относительно максимального измеренного значения, т. е. на расстоянии 0,25 м.

В поглощающих звук условиях (поглощающий пол) и при расстоянии более 0,5 м звуковое давление широкополосной сигнализации уменьшается на 6 дБ при удвоении расстояния. У тональной сигнализации снижение уровня звукового давления в зависимости от расстояния также в целом соответствует теоретическому, за исключением измерений, выполненных на больших расстояниях (более 4 м).

В отражающих звук условиях результаты, полученные для двух типов сигналов, значительно различаются.

У тональной сигнализации наблюдаются значительные колебания уровня звукового давления.

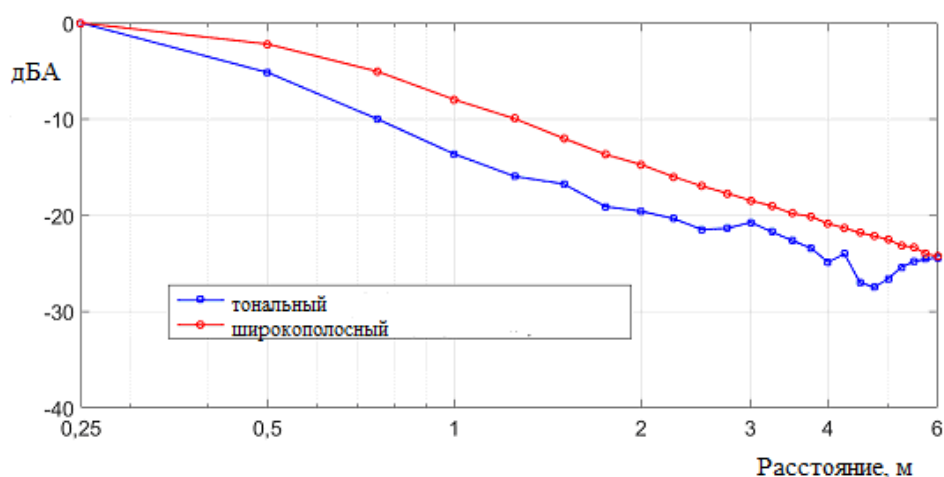


Рисунок 3 – Уровень звукового давления серийных сигнализаций в зависимости от расстояния в поглощающих условиях

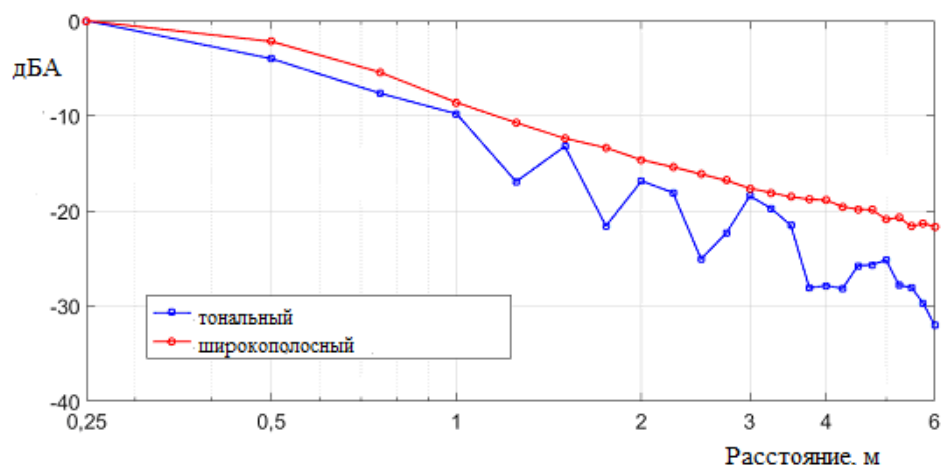


Рисунок 4 – Уровень звукового давления серийных сигнализаций в зависимости от расстояния в отражающих условиях

Значительные снижения уровня звукового давления наблюдаются на расстояниях 1,25, 1,75, 2,25 и 3,75 м от источника.

Результаты, полученные для широкополосного сигнала, практически идентичны в обоих условиях испытаний, что указывает на то, что поле звукового давления, создаваемое сигнализацией данного типа, мало зависит от поглощающих или отражающих условий.

Изменение уровня звукового давления, создаваемого двумя типами динамиков направленного звука, для поглощающих условий в зависимости от входного сигнала (тонального или широкополосного) приведены на рисунке 5.

Уровни измеренного звукового давления в зависимости от расстояния для отражающих условий представлены на рисунке 6. На графиках уровни звукового давления также нормированы относительно максимально измеренного значения, т.е. на расстоя-

нии 0,25 м.

Полученные результаты позволяют выделить следующие основные отличия динамиков направленного звука от серийных сигнализаций:

1. За исключением *Acouspade*, при широкополосном возбуждении, графики имеют две области. В первой области снижение уровня звукового давления в зависимости от расстояния невелико, а во второй – снижение резко выражено.

2. Тональное возбуждение обычно приводит к наибольшему снижению уровня звукового давления, причем измерения на расстоянии 6 м, показывают снижение данного уровня более чем на 30 дБ.

Таким образом, динамик *Acouspade* с широкополосным возбуждением явно выделяется среди других исследованных типов сигнализации. При его использовании уровень звукового давления снижается относительно линейно примерно на 6 дБ при удвоении расстояния.

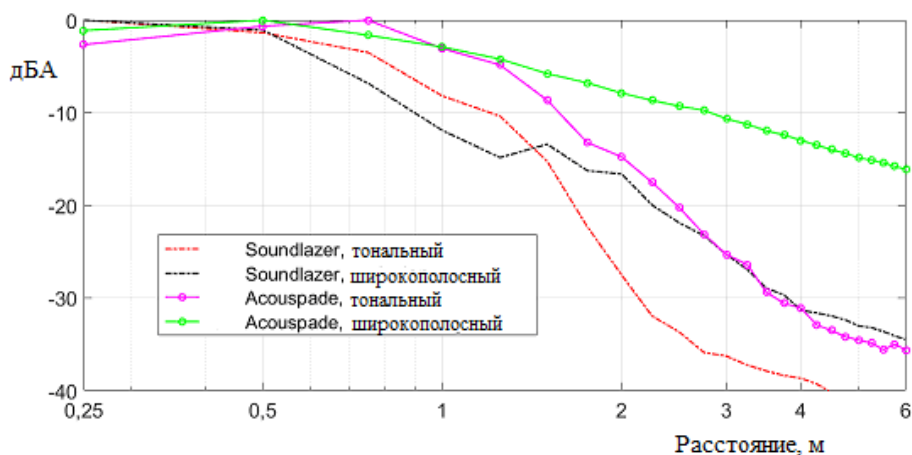


Рисунок 5 – Уровень звукового давления динамиков направленного звука в зависимости от расстояния в поглощающих условиях

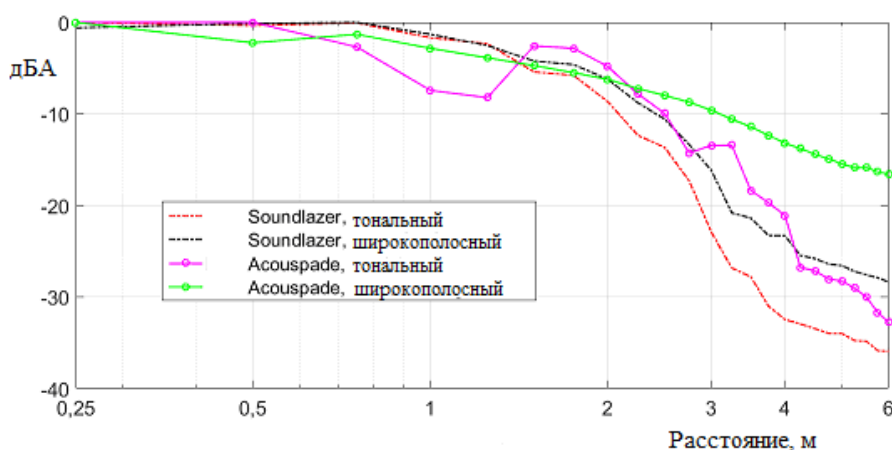


Рисунок 6 – Уровень звукового давления динамиков направленного звука в зависимости от расстояния в отражающих условиях

Результаты измерения уровня звука, создаваемого серийными сигнализациями, полученные при фиксированном расстоянии между динамиком и шумомером, для переменного углового положения представлены на рисунке 7. Направленность в

данном случае представляет собой разницу между значением, измеренным под рассматриваемым углом, и значением для угла 0°. Таким образом, разница означает снижение уровня по отношению к этому углу (максимум обычно достигается на оси, на которой

расположена сигнализация).

В данном случае максимум был получен при большем угле. Представленные результаты, показывают, что для тонального сигнала при углах, превышающих $\pm 90^\circ$ (относительно положения оси, т. е. 0°), уровень звукового давления уменьшается в среднем на 5,5 дБ в горизонтальном и вертикальном направлениях. Средняя разница для всех точек измерения составляет -4 дБ.

Результаты, полученные для широкополосной сигнализации, показывают гораздо большее снижение уровня звука для углов более $\pm 90^\circ$. Средние значения составляют -11,2 дБ и -11,5 дБ соответственно для горизонтальной и вертикальной плоскостей. Средняя разница уровней для всех точек измерения составляет -8,6 дБ.

Данные результаты позволяют сделать вывод, что тональная сигнализация является практически всенаправленным источником звука, в то время как широкополосная имеет гораздо более выраженную направленность.

Результаты, полученные для динамиков направленного звука (рис. 8), показывают, что на оси расположения динамика (положение 0°) уровень звукового давления всегда достигает 80 дБ независимо от типа сигнала и модели динамика. Вне главной оси результаты значительно расходятся.

Acouspade показывает весьма схожие угловые распределения уровня звукового давления как при широкополосном, так и при тональном возбуждении. Это относится как к горизонтальной, так и к вертикальной плоскости. Уровни звукового давления снижаются более чем на 40 дБ при превышении угла $\pm 90^\circ$ по отношению к главной оси (0°).

Для *Soundlazer* распределение звукового давления значительно отличается и в большей степени зависит как от плоскости (горизонтальной или вертикальной), так и от типа сигнала. Снижение уровня весьма существенно, когда угловое положение превышает $\pm 30^\circ$ по отношению к главной оси (0°). Кроме того, направленность наиболее выражена при использовании тонального сигнала.



Рисунок 7 – Направленность звука, создаваемого серийными сигнализациями, в горизонтальной и вертикальной плоскостях

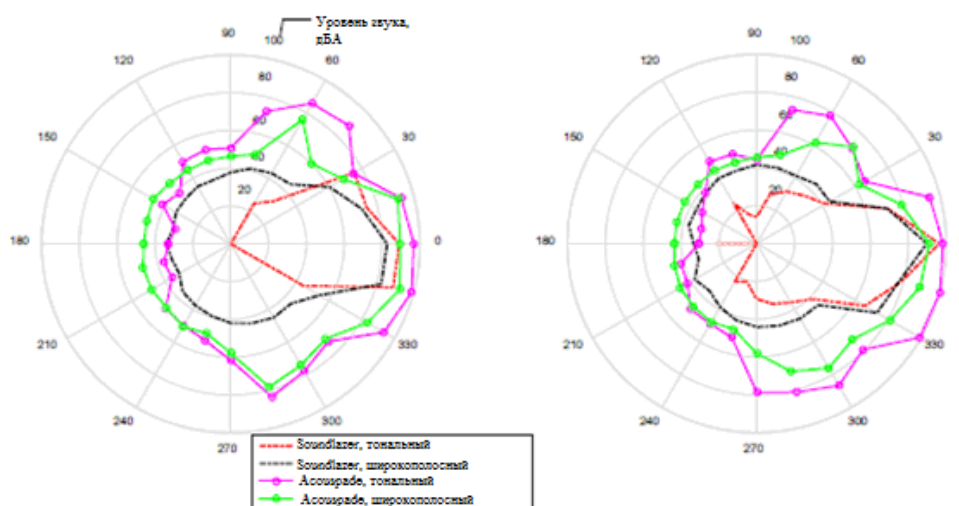


Рисунок 8 – Уровень звукового давления, создаваемого динамиками направленного звука, в зависимости от угла в горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) плоскостях

Выводы. Результаты исследования выявили преимущества широкополосного сигнала по сравнению с тональной сигнализацией заднего хода, особенно в отношении распределения создаваемого ими звука в пространстве. Исследования показали, что широкополосная сигнализация также в целом менее чувствительна к влиянию типа помещения или дифракции.

Основное преимущество динамиков направленного звука заключается в четко выраженной направленности сигнала, что подтверждается результатами, полученными в процессе данного исследования. Звуковой сигнал ограничивается определенной областью, и снижение уровня шума за пределами этой области весьма существенно (по сравнению с серийными сигнализациями). Из этого естественным образом вытекают и другие преимущества, такие как значительное ограничение воздействия шума на операторов машин и рабочих, находящихся в зоне работы транспортных средств, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В дополнение следует отметить, что данный положительный эффект может быть достигнут независимо от типа используемого сигнала (тональный или широкополосный).

Таким образом, применение динамиков направленного звука является перспективным путем развития сигнализации заднего хода транспортных средств.

Основной рекомендацией для продолжения исследований по использованию динамиков направленного звука в сигнализации заднего хода является разработка источника звука, специально предназначенного для этой цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Улучшение условий и охраны труда операторов зерноуборочных комбайнов за счет совершенствования механизмов регулирования рабочих органов [Текст]. Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2004. – 230 с.
2. 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.
3. Горшков Ю.Г., Богданов А.В., Дмитриев М.С., Попова С.Ю. Определение уровня безопасности операторов мобильных средств сельскохозяйственного назначения [Текст] / Ю. Г. Горшков, А.В. Богданов, М. С. Дмитриев, С. Ю. Попова // Безопасность жизнедеятельности. – М., 2006 – №5. – С. 2-6.
4. 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.
5. Ульянова В.Г. Системы и механизмы двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.Г. Ульянова. – Челябинск : 2015 – 62 с.
6. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Богданов А.В., Попова С.Ю., Дмитриев М.С. Пути повышения уровня безопасности операторов мобильных машин [Текст] / Ю.Г. Горшков, И.Н. Старунова, А.В. Богданов, С.Ю. Попова, М.С. Дмитриев

// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2007 - № 4 – С. 77 – 80.

7. Donley J., Ritz, C. et Kleijn, W. B. (2016). Reproducing personal sound zones using a hybrid synthesis of dynamic and parametric loudspeakers. Communication présentée à 2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, Jeju, Corée du Sud (p. 1-5).
8. Alali K. A., Casali, J. G. (2011). The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. *Noise and Health*, 13(51), 99. doi: 10.4103/1463-1741.77202.
9. Alali K., Casali, J. G. (2012). Auditory backup alarms: distance-at-first-detection via in-situ experimentation on alarm design and hearing protection effects. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41(supplement 1), 3599–3607.
10. Casali J. G., Robinson, G. S., Dabney, E. C., Gauger, D. (2004). Effect of electronic ANR and conventional hearing protectors on vehicle backup alarm detection in noise. *Human Factors*, 46(1), 1-10.
11. Catchpole K., Mckeown, D. (2007). A framework for the design of ambulance sirens. *Ergonomics*, 50(8), 1287-1301. doi:10.1080/00140130701318780.
12. Laroche C., Ross, M.-J., Lefebvre, L., Larocque, R. et Sonométric Inc. (1995). Détermination des caractéristiques optimales des alarmes de recul (Rapport no R-117). Montréal, QC:IRSST.
13. Giguère C., Laroche C., Osman A., Zheng Y. (2008). Optimal installation of audible warning systems in the noisy workplace. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) (Mashantucket, CT. p. 197-204).
14. Homer J. P. (2008). Audible warning devices used in the mining industry. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Dearborn, MI (p. 678-688).
15. Lancaster J. A., Alali K., Casali J. G. (2007). Interaction of vehicle speed and auditory detection of backup alarms AKA: Can the construction worker get out of the way? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(20), 1421-1424. doi: 10.1177/154193120705102010.
16. Laroche, C., Ross, M.-J., Lefebvre, L., Larocque, R. (1995). Détermination des caractéristiques optimales des alarmes de recul. (Rapport no R-117). Montréal, QC: IRSST.
17. Lovejoy, S. M. (2008). Determination of backup alarm masked threshold in construction noise (Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA).
18. May, K. R., Walker, B. N. (2017). The effects of distractor sounds presented through bone conduction headphones on the localization of critical environmental sounds. *Applied Ergonomics*, 61, 144-158. doi:10.1016/j.apergo.2017.01.009.
19. McKinley, R. L. (2000). Communication and localization with hearing protectors. *Damage Risk from Impulse Noise*, Aberdeen, MD.
20. Alunno M. et Botero A. Y. (2017). Directional landscapes: Using parametric loudspeakers for sound reproduction in art. *Journal of New Music Research*, 46(2), 201-211.
21. Burka A., Qin A. et Lee D. D. (2014). An application of parametric speaker technology to buspedestrian collision warning. *Communication présentée au 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Qingdao, Chine.

Статья поступила в редакцию 25.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.841

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0034

ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРТНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

© Авторы 2022

SPIN: 15626835

AuthorID: 855747

ORCID: 0000-0001-7499-2821

Scopus ID: 57209220221

МАНАЕВА Алина Рамзилевна, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и материаловедения

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Московская область, г. о. Химки, мкр. Новогорск, e-mail: chem88@yandex.ru)

SPIN: 1654-0669

AuthorID: 57770

ORCID: 0000-0002-3384-2007

Scopus ID: 57194012635

ШАРИФУЛЛИНА Лилия Ринатовна, кандидат химических наук, доцент,

заведующий кафедрой химии и материаловедения

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Московская область, г. о. Химки, мкр. Новогорск)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением инертных добавок типа адсорбентов для снижения пожарной опасности горючих жидкостей. Температура вспышки и воспламенения относятся к основным показателям пожарной опасности веществ, так как характеризуют пожаро- и взрывоопасность паровоздушных смесей над поверхностью жидкостей. В работе экспериментальным путем исследовано изменение показателей температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей (дизельного топлива и индустриального масла) при добавлении инертных добавок – перлита, активированного угля, силикагеля, нефтесорба и вермикулита. Наибольшую эффективность показали нефтесорб и вермикулит. При добавлении нефтесорба в дизельное топливо температура вспышки в открытом тигле повысилась на 7,8°C и приблизилась к температуре воспламенения дизельного топлива без применения адсорбентов. Инертные добавки не влияют на теплотворную способность и эксплуатационные свойства топлива, что было доказано экспериментальным путем. Поэтому предлагаем добавлять показавшие эффективность адсорбенты (нефтесорб и вермикулит) в емкости для хранения ГЖ. Полученные результаты могут быть интересны для создания принципиально новых способов обеспечения пожарной и производственной безопасности при транспортировке горючих жидкостей.

Ключевые слова: легковоспламеняющиеся жидкости, адсорбенты, температура вспышки, температура воспламенения, чрезвычайные ситуации.

USE OF INERT ADDITIVES TO REDUCE THE FIRE HAZARD OF COMBUSTIBLE LIQUIDS

© The Authors 2022

MANAEVA Alina Ramzilevna, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Chemistry and Materials Science

SHARIFULLINA Liliya Rinatovna, candidate of chemical sciences, associate professor,

head of the Department of Chemistry and Materials Science

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia

(141435, Russia, Moscow region, Khimki, MD. Novogorsk, e-mail: chem88@yandex.ru)

Abstract. The article discusses issues related to the use of inert additives such as adsorbents to reduce the fire hazard of combustible liquids. Flash point and ignition are among the main indicators of the fire hazard of substances, as they characterize the fire and explosion hazard of vapor-air mixtures above the surface of liquids. The paper experimentally investigated the change in the flash point and ignition of flammable liquids (diesel fuel and industrial oil) with the addition of inert additives – perlite, activated carbon, silica gel, oilcorp and vermiculite. The greatest efficiency was shown by oilcorp and vermiculite. When adding an oil seal to diesel fuel, the flash point in the open crucible increased by 7.8 °C and approached the ignition temperature of diesel fuel without the use of adsorbents. Inert additives do not affect the calorific value and operational properties of the fuel, which has been proven experimentally.

Keywords: flammable liquids, adsorbents, flash point, ignition temperature, open crucible, closed crucible, emergencies.

Для цитирования: Манаева А.Р. Применение инертных добавок для снижения пожарной опасности горючих жидкостей / А.Р. Манаева, Л.Р. Шарифуллина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 220-224. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0034.

Введение. При работе аварийно-спасательной техники, которая применяется в системе МЧС России, часто происходит обращение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ). Большая часть техники работает на бензине, дизельном топливе и других горюче-смазочных материалах, поэтому важной задачей является определение характеристик пожароопасности и предотвращение развития возгораний данных веществ. Бесперебойная работа оборудования в МЧС важна для полноценного функционирования страны ввиду стратегической важности, спасения человеческих жизней, защиты производственного потенциала и сохранения материальных ценностей. В процессе эксплуатации техники не должно возникать аварийных ситуаций ввиду того, что любые простои в работе оборудования, их недостаточная надежность могут повлечь за собой сотни и тысячи человеческих жертв из-за несвоевременного реагирования на возникшую чрезвычайную ситуацию [1].

Приведём примеры пожаров, возникших на объектах с обращением ЛВЖ и ГЖ.

10 сентября 2019 года в Кудьминской промзоне в Богородском районе Нижегородской области произошел пожар на складе с ГСМ. На борьбу с огнем было направлено 96 человек и 26 единиц техники [2].

Пожар на складе с ГСМ в микрорайоне Кольцово в Екатеринбурге 19 июля 2020 года. В результате пожара пострадал один человек. Пожар возник в здании, состоящем из складской и производственной части. Возгорание произошло в помещении, где хранились емкости с маслом и ГСМ. В момент происшествия на складе находился один человек. Он был доставлен в больницу с ожогами. Огонь распространился на 100 кв. метров.

28 июня 2020 года в Набережных Челнах на территории заправки загорелся бензовоз. Горела кабина бензовоза, а также разлившееся из него дизельное топливо. Площадь пожара составила 50 кв. метров.

20 августа 2020 года в поселке Саскылах Анабарского района Якутии произошло возгорание частного склада ГСМ. По данным ведомства, первоначально произошло возгорание бензовоза, во время перекачки ГСМ, позже пожар перекинулся на расположенную рядом емкость нефтесклада. Власти приняли решение о превентивной эвакуации 93 жителей села. В тушении огня задействовано 42 человека и 8 единиц техники.

Подобные примеры свидетельствуют о необходимости усиления мер по надзору в сфере обеспечения пожарной безопасности объектов с обращением ЛВЖ и ГЖ, а также разработке профилактических мероприятий для снижения техногенного риска ближайших населенных пунктов [3]. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций являются одними из приоритетных направлений в сфере обеспечения защиты населения от ЧС [4], поэтому принятие превентивных мер по

снижению пожароопасности обращающихся ЛВЖ весьма актуально.

Цель исследования: разработка предложений по применению инертных добавок для снижения пожароопасности ГСМ, применяемых при эксплуатации аварийно-спасательной техники.

Задачи:

1. Определить основные показатели, характеризующие пожароопасность горючих жидкостей.

2. Экспериментально определить условия повышения температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей.

3. Разработать мероприятия по применению инертных добавок для снижения пожароопасности горюче-смазочных материалов.

Методология. Горюче-смазочные материалы (ГСМ) – различные нефтепродукты, классифицируемые в применении к автотранспорту на:

- 1) технические жидкости;
- 2) топливо;
- 3) смазочные материалы.

Вся эксплуатируемая техника в системе МЧС с двигателями внутреннего сгорания использует различные виды топлива как источник энергии. В автомобилях общего и целевого применения – это различные виды дизельного топлива и бензины, на воздушных судах – авиационный бензин и керосин, на различных морских и речных судах – разнообразные виды дизельного топлива и мазута. При разливе нефтепродуктов возможно образование облака пожаровзрывоопасной смеси с воздухом, поэтому существует необходимость выработки дополнительных мероприятий по защите объектов от действия тепловых потоков высокой мощности [5,6], разработки мер по повышению безопасности при перевозке пожароопасных грузов [7].

Рассмотрим показатели, характеризующие пожароопасность горючих жидкостей. Горючие жидкости (ГЖ) относятся ко 2 классу опасности. Они имеют температуру вспышки паров выше 61°C (в закрытом тигле) и 66°C (в открытом тигле). Температура вспышки относится к основным показателям пожарной опасности веществ, так как характеризует пожаро- и взрывоопасность паровоздушных смесей над поверхностью жидкостей [8].

Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) относятся к 1 классу опасности. Они имеют температуру вспышки не выше 61°C (в закрытом тигле) или не выше 66°C (в открытом тигле).

Такие показатели пожароопасности, как температура вспышки и температура воспламенения, являются основными, так как именно эти показатели характеризуют потенциальную опасность ЛВЖ и ГЖ для техносферы [9].

Экспериментальная часть работы была осуществлена в лаборатории термических и ионизирующих излучений ФГБВОУ ВО «Академии гражданской защиты МЧС России» на приборах для определения температуры вспышки и воспламенения

в открытом тигле ТВО-ЛАБ-01 и определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ-ЛАБ-01. Температура жидкостей измерялась высокотемпературным термометром *RST07831(41)* с диапазоном измерений от -50°C до $+300^{\circ}\text{C}$, с частотой измерения 1 раз в секунду. Термометр не требует калибровки, прошел поверку, погрешность измерения, согласно паспорту прибора, составляет $0,1^{\circ}\text{C}$ [10].

Результаты. Эксперименты проводились с применением дизельного топлива и промышленного масла (И-20А). Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов без применения добавок

Вид топлива	Дизельное топливо		И-20А	
	Закрытый тигель	Открытый тигель	Закрытый тигель	Открытый тигель
Температура вспышки, $^{\circ}\text{C}$	+64,5	+78,1	+161,2	+204,3
Температура воспламенения, $^{\circ}\text{C}$	+72,3	-	+185,6	-

Одним из методов снижения риска возникновения ЧС на объектах хранения и эксплуатации ЛВЖ и ГЖ является повышение температуры вспышки и воспламенения [11]. Например, актуально применение

адсорбентов для повышения температуры вспышки и воспламенения ЛВЖ и ГЖ. Данная группа методов относится к инженерно-техническим мероприятиям.

Адсорбция на поверхности адсорбента-носителя [12] способствует снижению концентрации ЛВЖ [13] и сужению области воспламенения, что приводит к снижению пожароопасности жидкости. Эта группа мероприятий позволяет уменьшить разницу между концентрационными пределами воспламенения (ВКПР и НКПР) и, соответственно, сузить область воспламенения. Применение инертных добавок в исследуемые жидкости должно привести к увеличению температуры вспышки и температуры воспламенения, следовательно, снизить пожароопасность горючих жидкостей [14].

В качестве инертных добавок было использовано несколько адсорбентов: перлит (рис. 1А), активированный уголь (рис. 1Б), силикагель (рис. 1В), нефтесорб (рис. 1Г), вермикулит (рис. 1Д). Гранулометрический состав используемых добавок представлен на фото и имеет разную степень измельченности.

В таблице 2 представлены экспериментально полученные значения температур вспышки и воспламенения горючих жидкостей при добавлении адсорбентов.

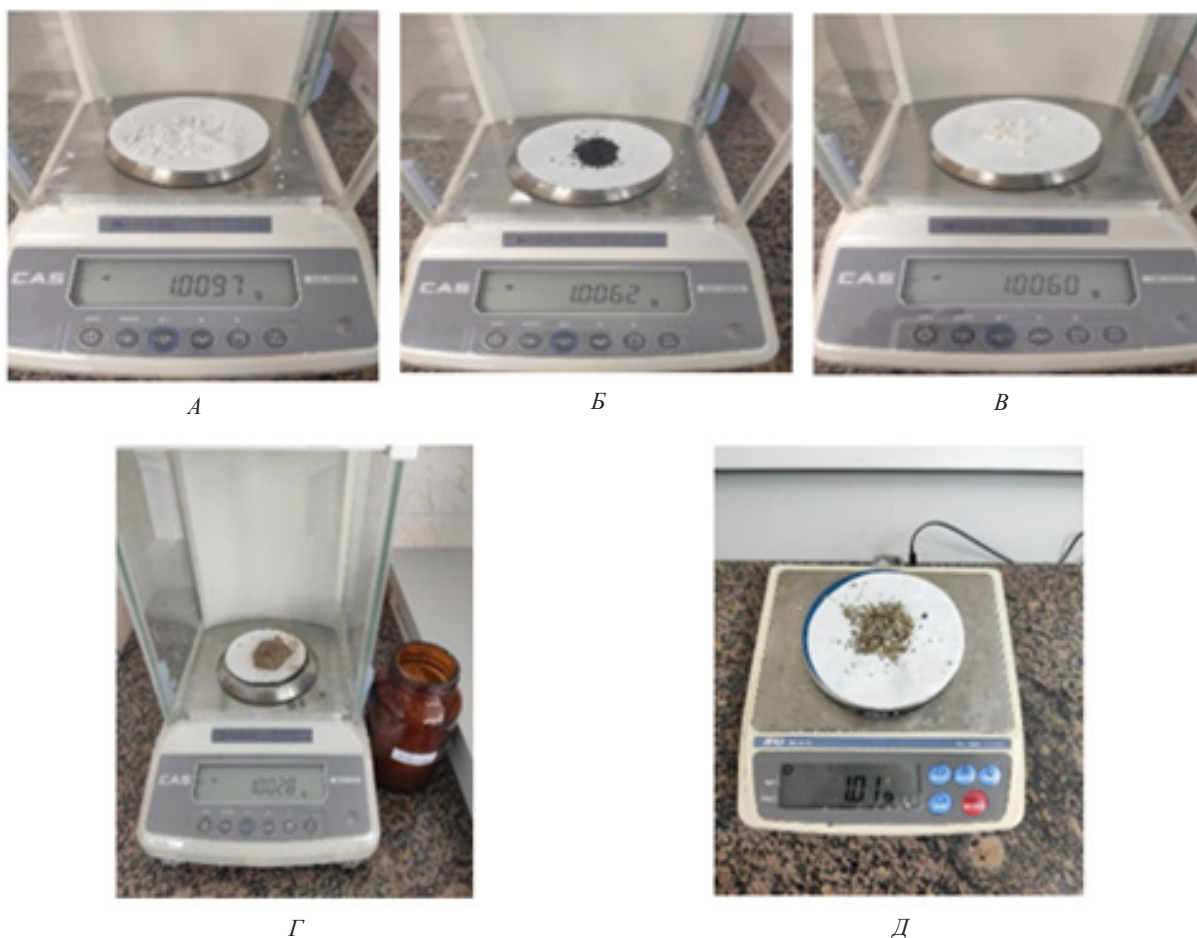


Рисунок 1 – Адсорбенты, применяемые в эксперименте:
 А – перлит; Б – активированный уголь; В – силикагель; Г – нефтесорб; Д – вермикулит

Таблица 2 – Экспериментальные значения температур вспышки и воспламенения горючих жидкостей при добавлении адсорбентов

Исследуемые жидкости/ Сорбенты	Дизельное топливо			Индустриальное масло		
	Закрытый тигель		Открытый тигель	Закрытый тигель		Открытый тигель
	$T_{всп}^*$, °C	$T_{восп}^*$, °C	$T_{всп}^*$, °C	$T_{всп}^*$, °C	$T_{восп}^*$, °C	$T_{всп}^*$, °C
Перлит	+64,4 (-0,1)	+72,2 (-0,1)	+78,2 (+0,2)	+161,1 (-0,1)	+186,3 (+0,7)	+203,8 (-0,6)
Активированный уголь	+64,5 (0)	+72,3 (0)	+78,1 (+0,1)	+161,4 (+0,2)	+185,9 (+0,3)	+204,4 (+0,1)
Силикагель	+71,1 (+6,6)	+76,3 (+4)	+78,2 (+0,2)	+161,2 (0)	+186,1 (+0,5)	+204,9 (+0,6)
Нефлесорб	+72,3 (+7,8)	+72,3 (0)	+82,7 (+4,7)	+171,1 (+9,9)	+191,2 (+6,6)	+210,1 (+5,8)
Вермикулит	+71,5 (+7)	+76,3 (+4)	+84,6 (+6,6)	+169,5 (+8,3)	+190,4 (+5,8)	+209 (+4,7)

Обсуждение. Анализируя полученные экспериментальные данные, отметим, что перлит оказался неэффективен, так как незначительно изменял температуры вспышки и воспламенения как в открытом, так и в закрытом тиглях.

Применение активированного угля также не привело к существенному изменению показателей пожаровзрывоопасности горючих жидкостей. Температура вспышки и температура воспламенения в открытом тигле не изменились, а в закрытом тигле увеличилась всего на 0,1°C. При добавлении активированного угля в индустриальное масло в открытом тигле температура вспышки увеличилась на 0,2°C, а температура воспламенения на 0,3°C, в закрытом тигле температура вспышки повысилась на 0,1°C.

При добавлении силикагеля к дизельному топливу температура вспышки повысилась на 6,6°C, а температура воспламенения на 4°C, но в закрытом тигле повысилась только на 0,2°C. При добавлении силикагеля в индустриальное масло значительных изменений не произошло. В открытом тигле температура вспышки не изменилась, а температура воспламенения увеличилась на 0,5°C, так же и в закрытом тигле – увеличилась на 0,6°C. Следовательно, силикагель можно использовать для снижения пожароопасности дизельного топлива, хранящегося в закрытых емкостях.

Значительное изменение температуры вспышки и температуры воспламенения по результатам экспериментов произошло при добавлении нефлесорба. Например, при добавлении нефлесорба в дизельное топливо в исследовании с открытым тиглем, температура вспышки повысилась на 7,8°C и приблизилась к температуре воспламенения. В эксперименте с ДТ в закрытом тигле температура вспышки повысилась на 4,7°C. При исследовании индустриального масла в открытом тигле было замечено значительное повышение температуры вспышки и температуры воспламенения: на 9,9°C и на 6,6°C, соответственно. В закрытом тигле так же повысилась температура вспышки на 5,8°C.

При добавлении вермикулита в ДТ температура

вспышки повысилась на 7°C, а температура воспламенения на 4°C в открытом тигле и так же повысилась на 6,6°C в закрытом тигле. При добавлении вермикулита в индустриальное масло в открытом тигле было замечено повышение температуры вспышки на 8,3°C и увеличение температуры воспламенения на 5,8°C, так же повысилась температура воспламенения в закрытом тигле на 4,7°C. Вермикулит так же можно использовать, как добавку для повышения температуры вспышки и воспламенения.

Нефлесорб и вермикулит имели низкое значение насыпной плотности, что позволяло им оставаться на поверхности горючих жидкостей во время проведения эксперимента. После удаления сорбента исследуемая жидкость вновь подвергалась измерению температур вспышки и воспламенения. Эксперименты показали, что после удаления сорбента температуры вспышки и воспламенения жидкости возвращались к первоначальным значениям. Полагаем, что это связано с тем, что соотношение масс сорбента и исследуемой жидкости очень мало, сорбент находился на поверхности жидкости, при этом жидкость перемешиванию не подвергалась. Таким образом, добавка сорбента не оказывала влияния на теплотворную способность и эксплуатационные свойства топлива.

Исходя из полученных экспериментальных данных, предлагаем использовать нефлесорб и вермикулит для снижения пожароопасности дизельного топлива и индустриального масла.

Однако возникает проблема использования адсорбентов ввиду того, что они способны оседать на дно резервуара и при этом быть неэффективными. Например, в работе [15] проведена оценка влияния углеродных нанотрубок на температуру вспышки веществ, показано, что при условии внесения малого количества углеродных нанотрубок, температура вспышки керосина повышается на значительную величину. В исследовании [16] по влиянию углеродных наноразмерных компонентов на температуру вспышки керосина марки ТС-1 получено, что температура вспышки образцов повышалась в

среднем на 3°C в условиях воздействия переменного электромагнитного поля.

Возможно для того, чтобы применять изученные нами адсорбенты для снижения пожароопасности ГЖ, а также свести к минимуму агломерацию частиц адсорбента, седиментацию и выпадение в осадок, необходимо применять переменное электрическое поле. Для этого в работе [17] предложено адсорбенты подвергнуть электрофизическому воздействию – переменному электрическому полю с напряжением от 50 до 120 В и частотой 50 Гц. В результате электрофизического воздействия замедляется процесс слипания частиц в адсорбенте в таких ЛВЖ как ацетон и этанол.

Таким образом, можно будет минимизировать риски в пожароопасных технологических процессах, в которых обращаются ЛВЖ и ГЖ.

Выводы. Предложено применять адсорбенты в качестве присадок в целях снижения пожарной опасности ГЖ. Наибольшую эффективность среди исследуемых образцов показали нефтесорб и вермикулит. Например, при добавлении нефтесорба в ДТ в исследовании с открытым тиглем температура вспышки повысилась на 7,8°C и приблизилась к температуре воспламенения без применения адсорбентов.

Инертные добавки не влияют на теплотворную способность и эксплуатационные свойства топлива, что было доказано экспериментальным путем. Поэтому предлагаем добавлять показавшие эффективность адсорбенты в емкости для хранения ГЖ. Для исследуемых горючих жидкостей (ДТ и И-20А) на большей части российских широт даже в самое жаркое время года температура вспышки и воспламенения не достигается, но при наличии потенциальной угрозы в виде источника зажигания применение адсорбентов могло бы минимизировать риск развития чрезвычайной ситуации.

Полученные результаты могут быть интересны для создания принципиально новых способов обеспечения пожарной и производственной безопасности при транспортировке горючих жидкостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гусейнов Э.Г., Рагманский И.К., Власов Д.С., Корнилов Д.Г. Пожары и аварийные ситуации в резервуарах и резервуарных парках // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 мая 2018 года. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 193-195.
2. Сетевое издание «МК в Нижнем Новгороде» nn.mk.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nn.mk.ru/incident/2019/09/11/pozhar-na-sklade-gsm-v-nizhegorodskoy-oblasti-tushili-neskolko-chasov.html> (дата обращения: 12.07.2022).
3. Мартынова Д.Ю., Мамедов А.В. Совершенствование организации пожарной безопасности на складах горюче-смазочных материалов // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и охраны труда. Сборник трудов секции №9 XXXII Международной научно-практической конференции. Химки, 2022. – С. 156-160.
4. Pozharkova I.N. Efficiency improving of emergency monitoring and forecasting based on the information system // Siberian Journal of Science and Technology. – 2020. – Т. 21. – № 3. – С.

323-332.

5. Залозная Н.Г. Сценарии развития пожароопасных ситуаций на нефтебазах // Техносферная безопасность, проблемы и перспективы. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Химки, 2022. – С. 67-70.
6. Kargin A.V., Enaleev R.Sh., Gimranov F.M., Gasilov V.S. Ignition of cellulosic materials: measurement of characteristics of ignition // Бултеровские сообщения. – 2015. – Т. 42. – № 6. – С. 17-24.
7. Sharikova V.V. Specificity of the complexity of transport of dangerous goods // The History of Land Transport. – 2017. – № 3 (1). – С. 59-69.
8. Батов Д.В., Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е. Температуры вспышки бинарных (1-деканол - н-декан) и тройных (1-деканол - н-декан - бутилацетат) смесей // Современные проблемы гражданской защиты. – 2018. – № 4 (29). – С. 5-11.
9. Węsierski T. Analysis of the combustion characteristics of the main groups of organic compounds // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. – 2010. – Т. 19. – № 3. – С. 83-97.
10. ГОСТ 12.1.044-2018 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 27.06.2022).
11. Акиннин Н.И., Мельников Н.О. Экспериментальные и расчетные значения температуры вспышки смесей растворителей, применяемых в промышленности // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 12. – С. 12-18.
12. Bykov E.S., Kopytin K.A., Onuchak L.A. Supramolecular planar liquid crystal systems on carbon surface as universal isomer-selective adsorbents // Liquid Crystals and their Application. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 89-93.
13. Веденяпина М.Д., Ракишев А.К. Адсорбция биологически активных соединений на активированном угле сибунит // Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов. IX Международная конференция Российского химического общества имени Д. И. Менделеева, посвященная 150-летию Российского химического общества имени Д. И. Менделеева: тезисы докладов. – 2018. – С. 20-21.
14. Goloskokov S.I., Uvarova V.A., Sazonov M.S., Goloskokov E.I. Fire security and environmental safety of wetting agents for coal dust suppression // Горная промышленность. – 2014. – № 3 (115). – С. 72.
15. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Емельянова А.Н. Исследование влияния углеродных нанотрубок на температуру вспышки керосина в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 3 (27). – С. 53-57.
16. Емельянова А.Н., Бушнев Г.В. Влияние углеродных наноразмерных компонентов на температуру вспышки светлых нефтепродуктов // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2018. – С. 87-89.
17. Иванов А.В., Мифтахутдинова А.А., Ивахнюк Г.К., Башаричев А.В. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации наноструктур // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 12. – С. 7-18.

Статья поступила в редакцию 08.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.835, 656.21

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0035

**ПРОБЛЕМА ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ АВТОСТОЯНОК
И ЕЁ ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ**

© Авторы 2022

SPIN: 5721-1570

AuthorID: 181476

ORCID:0000-0002-2769-0086

ResearcherID: E-2182-2018

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149)

SPIN:1076-8133

AuthorID: 664653

ORCID: 0000-0003-1561-2483

ResearcherID: K-2087-2018

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией «Проблем безопасности транспортных систем»
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН
(199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я Линия Васильевского Острова, д.13),
профессор кафедры «Организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ»
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149)

SPIN:3835-5258

AuthorID: 505657

ORCID: 0000-0001-9401-7206;

ResearcherID: Q-4451-2017

ЗЫБИНА Ольга Александровна, доктор технических наук, доцент,
заместитель начальника по научной работе
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149)

SPIN: 7346-2221

AuthorID: 974825

ORCID: 0000-0003-2190-399X

ПОТАШЕВ Дмитрий Анатольевич, старший преподаватель-методист
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149)

Аннотация. Рассмотрены важные тенденции современного общества – урбанизация и борьба с экологически вредными выбросами, в частности, от автомобилей на жидком топливе. Урбанизация приводит к необходимости строительства автостоянок (как правило, наземных закрытого типа и подземных), а массовое появление экологически безопасных автомобилей на газообразном топливе, что чревато повышением взрывопожарной опасности подземных автостоянок. В этой связи рассмотрены пути решения проблемы обеспечения их взрывопожаробезопасности. Для этого проведено моделирование развития опасных факторов пожара при возгорании автомобилей в подземной автостоянке и опасных факторов взрыва там газобаллонных автомобилей. Такое моделирование, осуществлённое с использованием соответствующих компьютерных программ, позволило сформулировать предложения по обеспечению безопасности людей и конструктивных элементов подземных автостоянок.

Ключевые слова: подземные автостоянки, взрывобезопасность, пожаробезопасность.

**THE PROBLEM OF EXPLOSION AND FIRE HAZARD OF UNDERGROUND PARKING LOTS
AND ITS POSSIBLE SOLUTION**

© Authors 2022

TANKLEVSKY Leonid Timofeevich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher
Saint Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia
(196105, Russia, Saint Petersburg, Moskovsky Prospekt, 149)

TARANTSEV Alexander Alekseevich, doctor of technical sciences, professor,
head of the laboratory "Problems of Safety of Transport Systems"
N.S. Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
(199178, Russia, St. Petersburg, 12th Line of Vasilievsky Island, 13),

Professor of the Department of "Organization of Fire Extinguishing and Emergency Rescue operations"

St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia

(196105, Russia, Saint Petersburg, Moskovsky Prospekt, 149)

ZYBINA Olga Aleksandrovna, doctor of technical sciences, associate professor, deputy head of Scientific Work

St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia

(196105, Russia, Saint Petersburg, Moskovsky Prospekt, 149)

POTASHEV Dmitry Anatolyevich, senior teacher-methodologist

St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia

(196105, Russia, Saint Petersburg, Moskovsky Prospekt, 149)

Abstract. The important trends of modern society are considered – urbanization and the fight against environmentally harmful emissions, in particular, from liquid fuel cars. Urbanization leads to the need to build parking lots (as a rule, ground-based closed type and underground), and the mass appearance of environmentally friendly cars on gaseous fuel, which is fraught with an increase in the explosion and fire hazard of underground parking lots. In this regard, the ways of solving the problem of ensuring their explosion and fire safety are considered. For this purpose, modeling of the development of fire hazards during the ignition of cars in an underground parking lot and explosion hazards of gas-cylinder cars there was carried out. Such modeling, carried out using appropriate computer programs, made it possible to formulate proposals to ensure the safety of people and structural elements of underground parking lots.

Keywords: underground parking, explosion safety, fire safety.

Для цитирования: Танклевский Л.Т. Проблема взрывопожарной опасности подземных автостоянок и её возможное решение / Л.Т. Танклевский, А.А. Таранцев, О.А. Зыбина, Д.А. Поташев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 225-232. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0035.

Введение. В современном обществе наблюдается две важных тенденции – это урбанизация и борьба с экологически вредными выбросами в атмосферу. Урбанизация ведёт к образованию мегаполисов и агломераций с насыщением их большим количеством автомобилей. Например, по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» обеспеченность легковыми

автомобилями (л/а) на 1000 жителей (показатель N_T) городов РФ приведена в таблице 1, а динамика этого показателя в целом по РФ (СССР) – на рисунке 1. Для справки на рисунке 2 приведена обеспеченность легковыми автомобилями различных стран. Следует отметить, что в первой тройке Сан-Марино ($N_T=1263$), Монако ($N_T=899$) и США ($N_T=799$).

Таблица 1 – Статистика по легковым автомобилям в крупных городах РФ

№	Город	Парк л/а, тыс. шт.	N_T	№	Город	Парк л/а, тыс. шт.	N_T
1	Краснодар	355,0	347	11	Омск	334,7	290
2	Самара	382,9	331	12	Москва	3632,9	287
3	Санкт-Петербург	1709,7	317	13	Нижний Новгород	363,3	286
4	Воронеж	331,1	315	14	Ростов-на-Дону	325,0	286
5	Тольятти	216,1	309	15	Уфа	322,7	283
6	Екатеринбург	465,5	305	16	Новосибирск	456,5	281
7	Саратов	254,4	304	17	Челябинск	331,7	277
8	Казань	378,5	301	18	Волгоград	267,3	265
9	Красноярск	328,1	300	19	Пермь	252,4	239
10	Тюмень	241,0	299	20	Махачкала	113,8	155

Примечания:

1. По данным <https://www.autostat.ru/press-releases/46332/>

2. Зелёным выделены города с показателем N_T не ниже среднего по РФ.

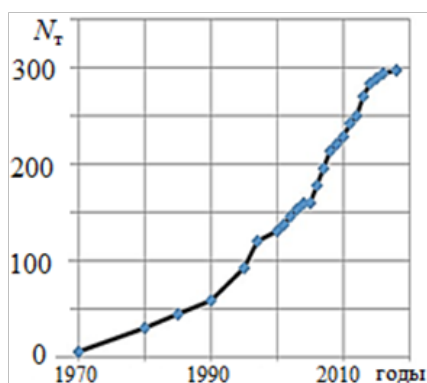


Рисунок 1 – Динамика числа легковых автомобилей на 1000 жителей РФ

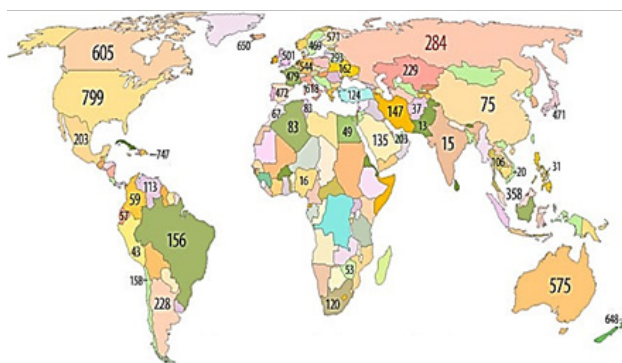


Рисунок 2 – Обеспеченность стран мира легковыми автомобилями (показатель N_T на начало XXI века)

Первая тенденция (урбанизация) приводит к необходимости оборудования в городах автостоянок [1], в т.ч. наземных закрытого типа и подземных [2]. Вторая тенденция (борьба с вредными выбросами в атмосферу) приводит к появлению большого числа газобаллонных автомобилей (ГБА), автомобилей на водородном и комбинированном топливе и др. [3]. Обе эти тенденции порождают проблему взрывопожарной опасности вышеуказанных автостоянок [4, 5] и необходимость её решения.

Методология. Таким образом, представляется целесообразным проанализировать пожаровзрывоопасность подземных автостоянок и предложить меры по её обеспечению, что и является целью данной статьи.

Для этого, исходя из конструктивных особенностей подземных автостоянок и некоторых наземных автостоянок закрытого типа, необходимо применить методы компьютерного моделирования. Для оценки динамики опасных факторов пожара (ОФП) [6] – компьютерную программу, реализующую полевую

модель пожара [7], для оценки динамики опасных факторов взрыва (ОФВ) – компьютерную программу ANSYS [8].

По результатам компьютерного моделирования вышеуказанных опасных ситуаций на подземных автостоянках становится возможным предложить мероприятия по снижению пожаровзрывоопасности подземных автостоянок. Следует подчеркнуть, что этот подход применим к наземным автостоянкам закрытого типа и гаражным зонам.

Результаты. Существующие автостоянки условно можно различать по виду (наземные, подземные и др.), по расположению (отдельно стоящие и встроенные в здания), по этажности (количеству уровней) и по наличию в них людей (обитаемости) – рисунок 3.

Для наглядности на рисунке 4 приведены примеры современных автостоянок. Следует также учитывать, что многие автостоянки могут содержать помещения – мастерские с постоянным пребыванием людей и повышенной пожарной нагрузкой.

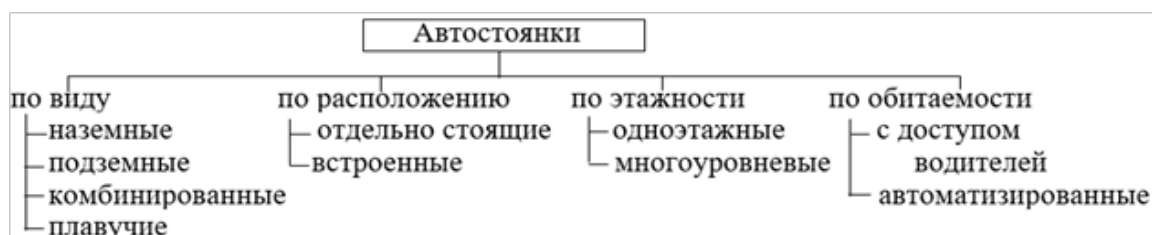


Рисунок 3 – Условная классификация современных автостоянок



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Современные автостоянки

(а – наземные многоуровневые закрытого типа, б – наземные одноуровневые встроенные полужакрытого типа, в – отдельно стоящие подземные многоуровневые, г – встроенные подземные многоуровневые)

Проблема пожароопасности подземных (закрытых) автостоянок рассмотрена с участием авторов в работах [3-5, 9-12], а также на профильных семинарах. Показано, что такие ОФП как температура и задымление могут представлять угрозу для людей (водители и пассажиры, персонал автостоянки), так и для конструкций – перекрытий и колонн.

Согласно [13], температура T и скорость u продуктов горения у перекрытия автостоянки (рис. 5а) могут быть оценены по эмпирическим выражениям соответственно:

$$T = T_0 + 16,9 \frac{(Sq)^{2/3}}{H^{5/3}} \min\left(1; 0,318 \left(\frac{H}{r}\right)^{2/3}\right), \quad (1)$$

$$u = 0,96 \left(\frac{Sq}{H}\right)^{1/3} \min\left(1; 0,203 \left(\frac{H}{r}\right)^{5/6}\right), \quad (2)$$

где S – площадь пожара, м²; q – удельная мощность пожара, кВт/м²; H – высота этажа автостоянки, м; r – проекционное расстояние от оси конвективной колонки, м; T_0 – начальная температура.

По выражениям (1) и (2) были оценены температура T и скорость u продуктов горения под очагом пожара (рис. 5б) в зависимости от его мощности $Q = Sq$, что свидетельствует об опасном тепловом нагружении перекрытия автостоянки и риске его обрушения в случае горения автомобилей

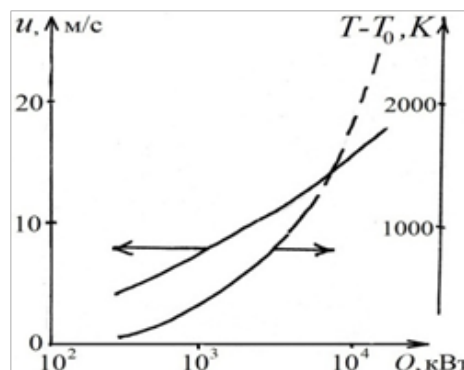
(пожар класса А) или пролива топлива (пожар класса В). Например, согласно Приложению В к [14], для автомобилей $q = 729,1$ кВт/м², для топлива $q \approx 2000 \div 2500$ кВт/м². Это означает, что при горении отдельно стоящего автомобиля на этаже автостоянки высотой $H = 2,5$ м, когда $S \approx 3$ м² и $T_0 = 25^\circ\text{C}$, температура и скорость продуктов горения у перекрытия составят соответственно $643,4^\circ\text{C}$ и $9,2$ м/с, а при горении пролива бензина (пожар класса В) на площади $S \approx 2$ м² – соответственно 1100°C и $12,1$ м/с.

Конечно, это экстремальный случай пожара, поскольку автостоянки имеют подкласс конструктивной пожарной опасности Ф5.2 [6] и согласно [14] они должны быть защищены автоматическими установками пожаротушения (АУП) или сдерживания пожара [15] при ограниченном количестве огнетушащего вещества, но АУП могут либо не сработать, либо, сработав, не выполнить своих функций [16].

Разумеется, подземные автостоянки помимо АУП оборудуются и системами дымоудаления [17], и внутренним противопожарным водопроводом [18], и системами оповещения и управления эвакуацией [19-21] людей, находящихся в подземной автостоянке. Однако, как показывает опыт (рис. 6) пожары там представляет большую опасность, а их тушение происходит по повышенному номеру [22].

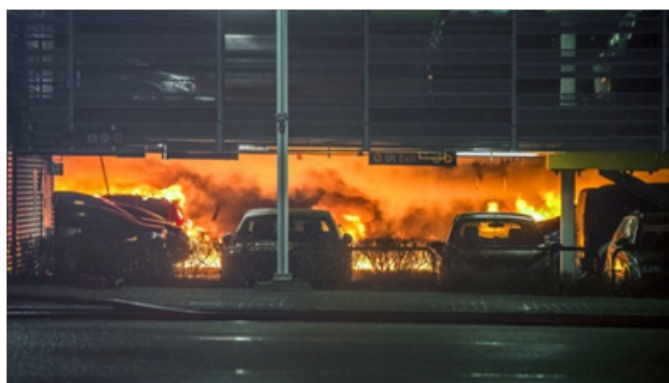


а)

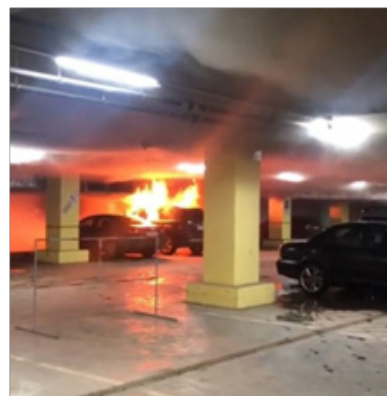


б)

Рисунок 5 – Расчётная схема (а) и зависимости температуры и скорости продуктов горения (б) под очагом пожара от его мощности Q



а)



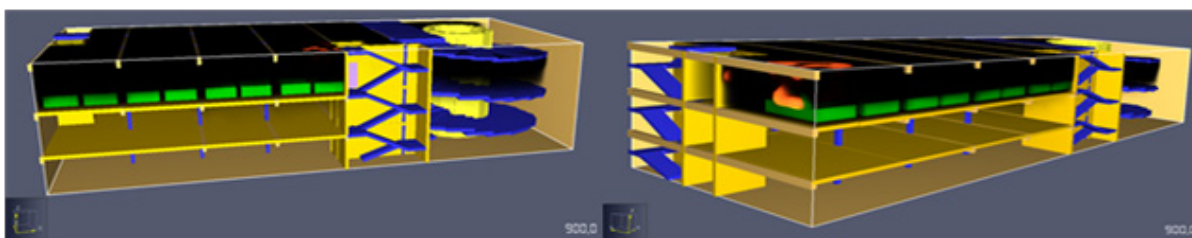
б)

Рисунок 6 – Пожары в автостоянках
(а – в норвежском паркинге, б – в подземной автостоянке псковского «Акваполиса»)

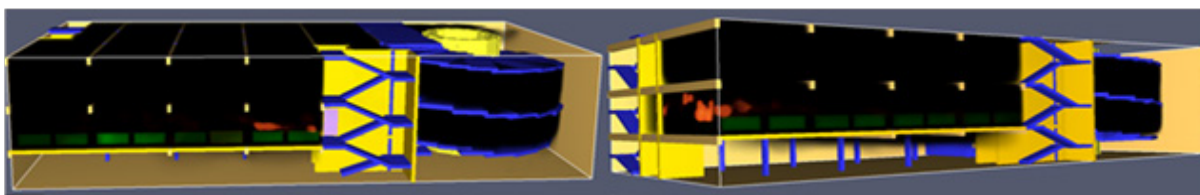
Конечно, вопросам возникновения и развития пожаров на различных стадиях, а также особенностям работы автоматических систем сигнализации и пожаротушения посвящено большое количество исследований отечественных и зарубежных авторов [23-31], но наиболее точно динамика ОФП может быть оценена по результатам компьютерного моделирования с использованием полевой модели пожара [7, 27], что было применительно к подземным многоуровневым автостоянкам показано в работах [9-11].

Результаты моделирования распространения ОФП

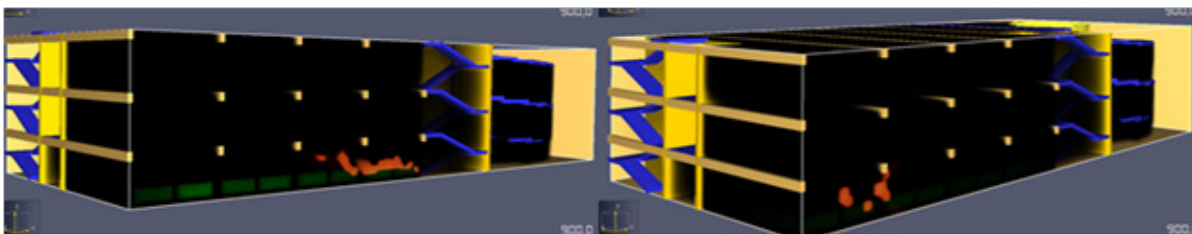
по объёму трёхуровневой подземной автостоянки на 900-й секунде пожара представлены на рисунках 7-9 соответственно при пожаре на верхнем, среднем и нижнем этажах и при двух вариантах мест возникновения пожара. Как следует из результатов компьютерного моделирования, наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на нижерасположенных этажах, т.к. ОФП, проникая в лестничные клетки, блокируют эвакуационные пути. На это следует обращать особое внимание как при разработке плана тушения пожара на такой объект, так и в процессе его тушения [22].



а) б)
Рисунок 7 – Распространение ОФП на 1-м (верхнем) этаже (а, б – варианты очага пожара)



а) б)
Рисунок 8 – Распространение ОФП на 2-м (среднем) этаже (а, б – варианты очага пожара)



а) б)
Рисунок 9 – Распространение ОФП на 3-м (нижнем) этаже (а, б – варианты очага пожара)

Ввиду появления большого количества ГБА и их вероятного наличия в подземных автостоянках необходимо рассмотреть и вопросы взрывоопасности. Поскольку подземные автостоянки являются сооружениями закрытого типа, при хранении и обслуживании ГБА и др. автомобилей на газовом топливе существует риск его утечки с образованием взрывоопасных концентраций [5]. В то же время, взрывы в замкнутых объёмах автостоянок, не рассчитанных на воздействие ОФВ [32, 33] (ударная волна, тепловое излучение, осколки) могут привести к масштабным разрушениям конструкций, к уничтожению хранящихся автомобилей, гибели людей и опасности для третьих лиц. Это особенно критично для зданий со встроенными автостоянками (рис. 4 б,в).

Взрывы в закрытых автостоянках могут быть как спровоцированы пожарами, так и пожары классов А, В и С [7] могут быть вызваны взрывами. Взрывопожароопасность ГБА проиллюстрирована фотографиями на рисунке 10.

Для оценки уровней ОФВ требуется провести моделирование воздействия взрыва на конструкции подземных автостоянок, автомобили и людей. Ввиду того, что динамика ОФВ описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных сохранения массы, импульса, энергии и уравнением состояния [34], получить аналитическое решение невозможно, необходимо использовать численное моделирование.

Для оценки динамики ОФП в подземной автостоянке была применена компьютерная прог-

рамма *ANSYS Autodyn* [8], с помощью которой получены результаты, приведенные на рисунке 11. Из их анализа установлено, что при взрыве возникает сложный ударно-волновой процесс с отражением

от стен, перекрытий и находящихся на стоянке автомобилей, выходом ударной волны наружу через проёмы (ворота) и последующим возникновением зоны разрежения.

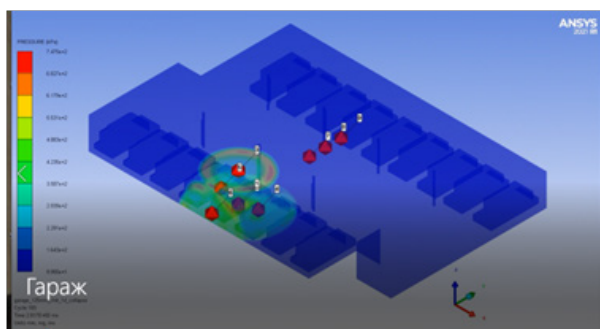


а)

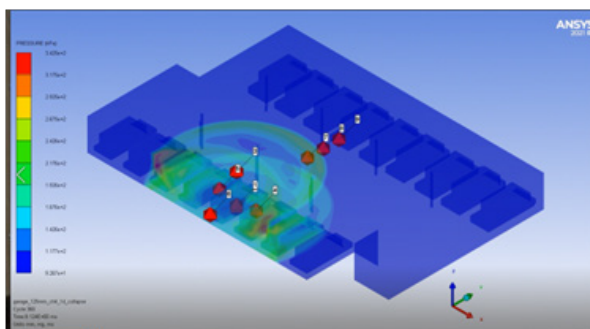


б)

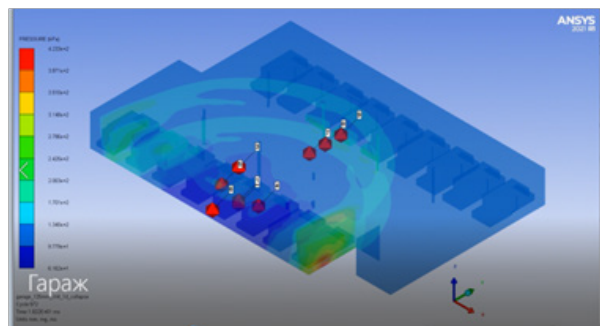
Рисунок 10 – Пожар ГБА в гараже (а) и взрыв баллона в багажнике (б)



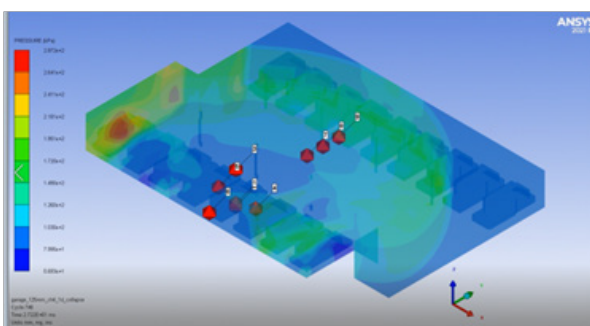
а)



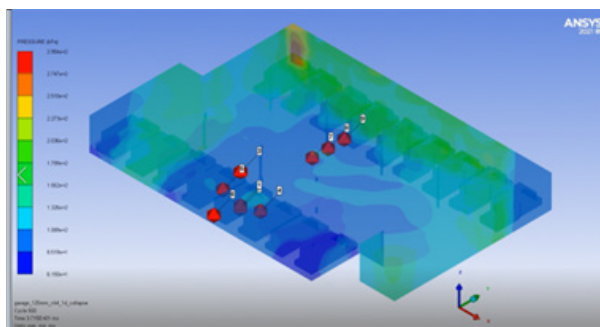
б)



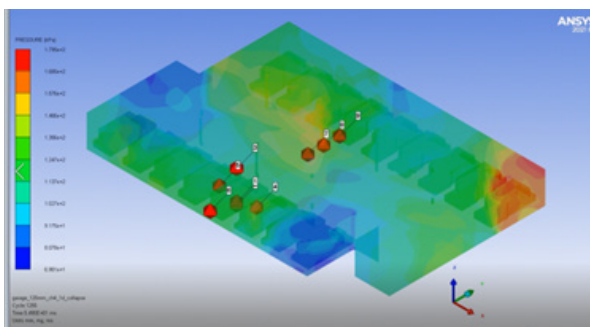
в)



г)



д)



е)

Рисунок 11 – Динамика ударной волны при взрыве ГБА в подземной автостоянке

Обсуждение. Таким образом, подземные автостоянки при известных преимуществах обладают повышенной пожаровзрывоопасностью. Процесс горения автомобиля на жидком топливе сопровождается быстрым ростом ОФП с высокой вероятностью перехода пожара на соседние автомобили. Также существует риск взрывов неполных топливных баков и покрышек колёс. Особую опасность в подземной автостоянке представляет взрыв ГБА и др. автомобилей на газовом топливе. При этом возникает импульсная нагрузка на перекрытия автостоянки с угрозой их обрушения, а также метательный эффект ударной волны – опрокидывание, отбрасывание автомобилей и людей). Взрыв ГБА может спровоцировать возгорание соседних автомобилей, а ОФП последующего пожара могут возрасти с большей скоростью ввиду повреждения колонн и перекрытий и снижения их пределов огнестойкости по показателям R , E и S [6].

Ввиду высокой взрывопожарной опасности подземных автостоянок и наземных автостоянок закрытого типа при нахождении в них ГБА и автомобилей на газовом топливе необходимо провести мероприятия, которые можно разделить на организационные и технические.

К организационным мероприятиям следует отнести, прежде всего, ограничение количества находящихся на подземной/закрытой автостоянке ГБА и др. типов автомобилей на газовом топливе. Для автостоянок в жилищных комплексах это может быть достигнуто персональным учётом таких автомобилей у жильцов. Сложнее контролировать количество ГБА на стоянках в торгово-развлекательных и офисных центрах из-за малого внешнего отличия таких автомобилей от автомобилей на жидком топливе, ввиду чего контроль въезда автомобилей необходимо ужесточать.

К техническим мероприятиям помимо АУП следует отнести: а) системы контроля загазованности вентиляции; б) применение легкобрасываемых конструкций, где это возможно; в) установкой прозрачных ленточных завес [5, 12] (рис. 12), поглощающих энергию взрыва и не препятствующих перемещению автомобилей.

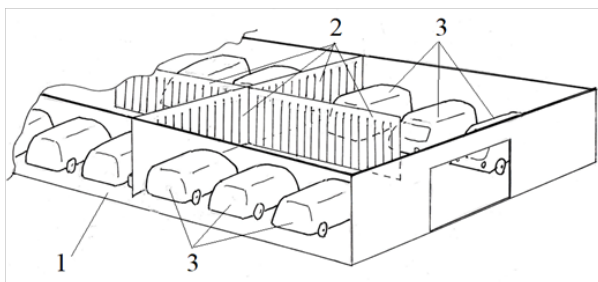


Рисунок 12 – Взрывозащищённая подземная/закрытая автостоянка (1 – площадка, 2 – прозрачные защитные ленточные завесы, 3 – автомобили, в т.ч. ГБА)

Выводы. Таким образом, на основании рассмотрения конструктивных схем подземных и

наземных автостоянок закрытого типа [1, 2] и особенностей автомобилей на газовом топливе показана опасность возгораний и взрывов в таких автостоянках. С использованием компьютерных программ проведено моделирование развития ОФП и ОФВ при возгораниях и взрывах автомобилей на жидком топливе и ГБА. Выявлен и обоснован риск обрушений конструкций вышеуказанных автостоянок с соответствующими последствиями для находящихся там автомобилей и людей. Предложены организационные и технические мероприятия по снижению взрывопожароопасности подземных автостоянок и наземных автостоянок закрытого типа.

Представляется необходимым продолжить исследование в части комплексной оценки взрывопожароопасности подземных автостоянок и наземных автостоянок закрытого типа, в т.ч. с учётом сдерживания ОФП [18, 30], а также выработать предложения по максимальному снижению их взрывопожарной опасности и обеспечению эвакуации/спасения людей.

Особое внимание следует уделять разработке планов тушения пожаров и их отработке пожарными при проведении специальных занятий, деловых игр и пожарно-тактических учений.

Примечание: фотографии и рисунки 1, 2 из открытого доступа в интернете

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей.
- СП 154.13130.2013 Встроенные подземные автостоянки.
- Поташев Д.А., Сытдыков М.Р., Таранцев А.А. О пожароопасности некоторых типов автомобилей // Вестник СПбУ ГПС МЧС России. 2021. – № 1. – С.1-8.
- Таранцев А.А., Дорожкин А.С., Минкин Д.Ю. Проблема пожарной опасности подземных автостоянок // «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2015. – № 1 (33). – С.13-18.
- Поташев Д.А. О проблеме взрывопожароопасности подземных автостоянок // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2021. – № 4. – С.132-139.
- Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями).
- Контарь Н.А., Карькин И.Н. PyroSim-2016. Примеры построения расчетных моделей для решения различных задач пожарной безопасности зданий и сооружений. Екатеринбург. 2016. – 220 с.
- Учебное пособие по теории. Autodyn Explicit software for nonlinear dynamics / Theory manual / ANSYS. Incevision – 4.3 – 2021.
- Поташев Д.А., Таранцев А.А., Шидловский Г.Л. Особенности распространения опасных факторов пожара в подземных стоянках автомобилей // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 1 (53). – С.43-52.
- Поташев Д.А., Таранцев А.А., Шидловский Г.Л. Особенности развития пожаров автомобилей в подземных автостоянках и их тушение // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. – № 1 (57). – С.108-115.
- Поташев Д.А. О проблеме взрывопожароопасности подземных автостоянок // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2021. – № 4. – С. 132-139.
- Поташев Д.А., Таранцев А.А., Куватов В.И. Пожаровзрывобезопасность автомобильных палуб (стоянок) на парамах // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 1. – том 1. – С.12-17.
- Alpert R.L. Ceiling Jet Flows. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Ed., NFPA, 2002, pp. 2-18 .

14 СП485.1311500.2020 СППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

15. Бондар А.И., Мешалкин Е.А., Танклевский Л.Т., Цариченко С.Г., Таранцев А.А. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // «Пожаровзрывобезопасность». – 2019. – № 6. – Т. 28. – С. 71-79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

16. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.

17. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности.

18. СП 10.13130.2020 СППЗ. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования.

19. СП 3.13130.2020. СППЗ. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в здании, сооружении. Требования пожарной безопасности.

20. Самошин Д.А., Холщевников В.В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 5. – С. 37-51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.

21. Фомин А.В., Чердниченко С.Н. Эвакуация людей из подземных автостоянок с учетом специфики данных объектов // Электронный журнал «Вестник СПбУ ГПС МЧС России». – 2013 – № 2. – С. 58-63.

22. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ".

23. Орлов О.И., Вогман Л.П., Горшков В.И. Особенности развития и тушения пожаров в подземных автостоянках // Сб. трудов конф. «Наука на службе МЧС России», Сибирская пожарно-спасательная академия, г.Железногорск, 22-23.09.2015 г. – С.104-110.

24. An Introduction to Fire Dynamics / D. Drysdale. – John Wiley and Sons, Chichester, 1985. – ISBN 5-274-00771-6.

25. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities. Proc. 3rd European symposium on fire safety sciences (ESFSS2018), Nancy, France, 12-14 September 2018, Paper 20258.

26. O'Connor C.D., Calkin D.E., Thompson M.P. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26, № 7. – P. 587-597. DOI: 10.1071/wf16135.

27. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Vannella M. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide / NIST Special Publication 1018-6. – Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology, 2018.

28. Senkiv S.V., Savoshinsky O.P., Arakcheev A.V., Tanklevskiy L.T. Development of methods for instrumental diagnostics of control devices for fire alarm systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – № 272, Article Number 032013. – 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013.

29. Таранцев А.А., Танклевский Л.Т., Снегирев А.Ю., Цой А.С., Копылов С.Н., Мешман Л.М. Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 72-79.

30. Бондар А.И., Мешалкин Е.А., Танклевский Л.Т., Цариченко С.Г., Таранцев А.А. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – № 6 – Т. 28. – С. 71-79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

31. Зыбина О.А., Таранцев А.А., Танклевский А.Л., Бабинов И.А. Об уточненной оценке координат очага пожара в помещении // Пожаровзрывобезопасность. – 2020 – № 3 – Т. 29. – С. 33-43. doi.org/10.18322/PVB.2020.29.03.33-43.

32. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

33. РБ Г-05-039-96 Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. – М. 2000.

34. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1978. – 687 с.

Статья поступила в редакцию 02.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.8.084

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0036

**РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ**

© Авторы 2022

SPIN: 6190-6740

AuthorID: 320362

ORCID: 0000-0001-9695-8800

ScopusID: 57200547443

ЕФРЕМОВ Сергей Владимирович, кандидат технических наук,

доцент кафедры Эргономики, экологии и трудового права

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет**(190121, г. Санкт-Петербург, Лоцманская улица, д. 3, лит. А, e-mail: sefremov@rambler.ru)*

SPIN: 4384-6596

AuthorID: 703704

ORCID: 0000-0003-0173-1836

ResearcherID: R-4230-2017

ScopusID: 57202055674

УЛЬЯНОВ Алексей Игоревич, кандидат технических наук,

старший преподаватель Высшей школы техносферной безопасности Инженерно-строительного института

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: uljanovalexsei@bk.ru)*

ORCID: 0000-0001-6003-0648

УЛЬЯНОВА Анна Георгиевна, аспирант

Высшая школа техносферной безопасности Инженерно-строительного института

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: zemlia-1@mail.ru)*

Аннотация. При разработке, внедрении и совершенствовании системы управления охраной труда на строительных предприятиях применяются различные методики оценки профессиональных рисков. Существующих методов оценки рисков достаточно много и они разнообразны. Строительная сфера является наиболее опасной отраслью экономики. По оценкам Международной организации труда на строительных площадках во всем мире ежегодно происходит до 60 000 несчастных случаев со смертельным исходом. Это означает, что один несчастный случай со смертельным исходом происходит в этом секторе каждые 10 минут, и около 17% всех несчастных случаев на рабочем месте со смертельным исходом (один из шести случаев) происходит на строительных площадках. В настоящее время широко обсуждается методология оценки профессиональных рисков, а вопросы методов оценки эффективности управления профессиональными рисками практически остаются в тени. Работодателю и специалисту по охране труда на предприятии необходимо самому выбрать метод оценки профессиональных рисков из предложенных законодательством РФ. В статье предпринята попытка разработки подхода к оценке эффективности управления профессиональными рисками с использованием системного подхода и комплексной оценки социальных и экономических показателей.

Ключевые слова: профессиональный риск, эффективность, управление, оценка, оценка эффективности, показатели эффективности, критерии эффективности, эффективность управления.

**DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO ASSESSING THE EFFICIENCY
OF OCCUPATIONAL RISK MANAGEMENT**

© The Author(s) 2022

EFREMOV Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor*Saint Petersburg State Marine Technical University**(190121, Russia, Saint Petersburg, Lotsmanskaya street 3, e-mail: sefremov@rambler.ru)***ULYANOV Aleksey Igorevich**, candidate of technical sciences,

senior lecturer Higher school of Technosphere Safety, Civil Engineering Institute

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya st. 29, e-mail: uljanovalexsei@bk.ru)***ULYANOVA Anna Georgievna**, post-graduate student

Higher School of Technosphere Safety of the Institute of Civil Engineering

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya st. 29, e-mail: zemlia-1@mail.ru)*

Abstract. When developing, implementing and improving the labor protection management system at construction enterprises, various methods for assessing occupational risks are used. There are a lot of existing risk assessment meth-

ods and they are diverse. The construction industry is the most dangerous sector of the economy. The International Labor Organization estimates that up to 60,000 fatal accidents occur on construction sites around the world every year. This means that one fatal accident occurs in this sector every 10 minutes, and about 17% of all fatal workplace accidents (one in six) occur on construction sites. Currently, the methodology for assessing occupational risks is widely discussed, and the issues of methods for assessing the effectiveness of occupational risk management practically remain in the shadows. The employer and the labor protection specialist at the enterprise must choose the method for assessing occupational risks from those proposed by the legislation of the Russian Federation. The article attempts to develop an approach to assessing the effectiveness of occupational risk management using a systematic approach and a comprehensive assessment of social and economic indicators.

Keywords: occupational risk, efficiency, management, assessment, performance evaluation, performance indicators, performance criteria, management efficiency.

Для цитирования: Ефремов С.В. Разработка подхода к оценке эффективности управления профессиональными рисками / С.В. Ефремов, А.И. Ульянов, А.Г. Ульянова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С.233-237. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0036.

Введение. В действующих нормативных документах установлены требования к оценке эффективности процесса управления профессиональными рисками, а методические аспекты решения этой задачи не рассматриваются [1].

При этом методы управления профессиональными рисками рассматриваются как инструмент максимального сохранения жизни и здоровья работника [2].

В рамках научных исследований оценка эффективности рассматривалась в трудах: Федореца А.Г. [3], Кульбовской Н.К. [4], Румянцевой Н.В. [5, 6], Рудакова М.Л. [7], Минько В.М. [8], Макушина В.Г. [9], Мерви Муртонен [10]. Основным направлением повышения эффективности охраны труда является снижение издержек на производство основной продукции предприятия за счет улучшения условий труда [11, 12]. В работах, указанных выше авторов, основным показателем является годовой экономический эффект, который вычисляется путем сравнения экономических показателей до проведения предложенных мероприятий и после их проведения. Необходимость подсчета показателей до и после внедрения мероприятий является существенным недостатком, так как в некоторых случаях достаточно сложно спрогнозировать получаемый эффект [13-15].

Методология. Исследование направлено на повышение эффективности процесса управления профессиональными рисками, что позволит в системах управления охраной труда минимизировать ошибки в принятии решений и установить причинно-следственные связи между изменением уровня риска и проводимыми мероприятиями охраны труда. Основной целью является получение методики оценки эффективности управления профессиональными рисками. В исследовании решались задачи: выбора системы показателей эффективности, обоснование критериев и формирование алгоритма методики оценки эффективности управления профессиональными рисками.

Основными методическими принципами для оценки эффективности управления являются методы

теории управления и методы оптимизации.

Переход в охране труда на процессный подход к управлению предполагает использование в исследовании показателей, характеризующих эффективность протекания процессов управления, что позволит индивидуально подходить к различным мерам, которые направлены на снижение уровней профессиональных рисков.

Основой выбора необходимых мероприятий охраны труда является обоснование критериев, которые адекватно отражают суть протекания процесса управления профессиональными рисками. Для процессов управления наиболее подходящими являются критерии, отражающие степень достижения установленных целей.

Эффект от управления профессиональными рисками возможен при условии выбора необходимых и достаточных мероприятий направленных на достижение установленных результатов, поэтому алгоритм методики должен позволять выбирать сбалансированный план мероприятий по охране труда, что требует использование методов оптимизации.

Использование в охране труда понятия профессионального риска позволяет перейти к проактивному подходу в управлении охраной труда и, в частности, к оценке эффективности [16].

Впервые понятие «эффективность» было предложено Харрингтоном Эммерсоном. Он определил эффективность как: «максимально выгодное соотношение между совокупными затратами и экономическими результатами» [17]. Данное определение соотносится с исходным значением слова «эффективный» – дающий результат, действенный, производительный [18].

В.И. Ленин связывал понятие эффективности с производительностью труда: «Ясно, что целью всякой хозяйственной деятельности является достижение наибольших результатов при наименьших усилиях, т.е. максимальная производительность [19, с.48].

К составляющим эффективности управления можно отнести: эффективность труда работников аппарата управления; эффективность процесса управления, эффективность системы управления

и эффективность механизма управления [20]. Следовательно, понятие «эффективность» можно применять к процессам, явлениям, системам.

Подразумевается, что при протекании любого процесса, им можно управлять, а любая система требует управления [21]. При рассмотрении процесса, можно определить управление как: воздействие на участников процесса с целью улучшения его характеристик и достижения заданных результатов.

При рассмотрении систем управление подразумевает под собой выделение подсистем: субъект управления, объект управления и организация взаимодействия между ними.

Внедрение в систему охраны труда риск-ориентированного подхода подразумевает непрерывное управление профессиональными рисками [22]. Управление профессиональными рисками является, в соответствии с трудовым кодексом, комплексом взаимосвязанных мероприятий по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков [23].

В охране труда формируется система управления, которая включает в себя все необходимые процессы для сохранения жизни и здоровья работников, следовательно, управление профессиональными рисками является одним из этих процессов.

Следовательно, понятие эффективности управления профессиональными рисками можно определить, как: результат, выраженный в виде снижения уровня профессионального риска, при проведении определенного комплекса мероприятий.

Управление – это процесс достижения поставленной цели. В случае управления процессом это доведение его до конечного результата. Следовательно, под эффективностью управления процессом понимается степень достижения целевого значения результата, что требует его четкой формулировки.

Результаты. Оценка эффективности управления процессом заключается в сравнении степени достижения целевого значения с выбранными критериями [24].

Полученный результат протекания процесса можно выразить рядом показателей. Для этого используются три набора показателей: показатели процесса (Π_1), показатели получаемого результата (Π_2) и степень удовлетворенности потребителя (Π_3).

В качестве показателя процесса будем использовать временную характеристику его протекания. В случае процесса управления профессиональными рисками, к ним можно отнести: время протекания, количество этапов, количество действий на каждом из этапов. В качестве показателя Π_1 будем использовать время протекания процесса (T).

$$\Pi_1 = T \quad (1)$$

В качестве основного параметра получаемого результата при управлении профессиональными рисками целесообразно использовать показатели травматизма и профзаболеваемости, введем для них обозначение R , тогда второй показатель можно

охарактеризовать зависимостью

$$\Pi_2 = R \quad (2)$$

В системе управления охраной труда лицом, принимающим решение, является генеральный директор предприятия, а эффективность решения зависит от величины затраченных ресурсов (Z/Z_{max}) на достижение определенного уровня профессиональных рисков (R). Воспользуемся методом линейной свертки, чтобы объединить два параметра в единую целевую функцию.

Следовательно, эффективным управление профессиональным риском будет являться в случае оптимального сочетания между затратами времени, ресурсов и полученным уровнем профессионального риска.

Поскольку эффект зависит от нескольких показателей, в чем-то противоположных друг другу, то необходимо выбрать оптимальное сочетание этих параметров. Исходя из этого, оптимизационная функция будет иметь следующий вид:

$$\Pi_3 = R^{\alpha_1} \times \frac{Z^{\alpha_2}}{Z_{max}} \quad (3)$$

где α_1 и α_2 весовые коэффициенты, которые определяют приоритет одного из показателей и имеют предел изменения [0..1].

Таким образом модель процесса управления ПР можно выразить системой уравнений (4)

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= R \\ \Pi_2 &= T \end{aligned} \quad (4)$$

$$\Pi_3 = R^{\alpha_1} \times \frac{Z^{\alpha_2}}{Z_{max}}$$

где Π_1 – показатель профессионального риска; Π_2 – показатель времени протекания процесса; Π_3 – показатель эффективности управления.

Основной целью управления профессиональными рисками является достижение его допустимого значения. Так как риск является относительным показателем, то и целевое значение для него задается по его фактическому значению на момент планирования мероприятий по охране труда ($R_c = R_{факт}$). Исходя из принципов законодательства «О страховании от несчастных случаев и профессиональных заболеваний» в виде критерия выбирается средний для рассматриваемой отрасли риск получения травмы или профессионального заболевания.

Так как процедура оценки профессиональных рисков является ежегодной, то целевым значением протекания процесса управления профессиональным риском будем считать 1 год.

Целевым значением удовлетворенности полученным результатом при управлении профессиональными рисками, задается по фактическому значению ПР и параметр относительных затрат задается на основе экспертной оценки бухгалтерии предприятия.

Выбранные целевые значения показателей (R_c , T_c , Z_c/Z_{max}), характеризующих процесс управления

профессиональным риском, позволяют перейти к определению степени их достижения. Следовательно, степень достижения должна быть безразмерной величиной, поэтому логично представить степень в виде отношения значений показателя к его целевому значению (2).

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{\Pi_1}{R_C} \\ S_2 &= \frac{\Pi_2}{T_C} \\ S_3 &= \frac{\Pi_3}{R_C^{\alpha_1} \times \frac{Z_C^{\alpha_2}}{Z_{max}}} \end{aligned} \quad (2)$$

где S_1 – показатель степени достижения показателя профессионального риска к его целевому значению R_C ; S_2 – показатель степени достижения показателя времени протекания процесса к его целевому значению T_C ; S_3 – показатель степени достижения показателя эффективности управления к его целевому значению.

В данном случае, используя представленные три показателя, характеризующие процесс управления профессиональным риском, можно оценить эффективность, используя степени их достижения. Для чего необходимо обосновать критерии.

В случае если степени целевых значений равны 1, то это является максимально эффективным результатом управления профессиональным риском. Следовательно, если S_1 и S_2 принимают значения больше 1, а S_3 принимает значение меньше 1, то процесс управления профессиональными рисками является неэффективным.

$$\begin{aligned} S_1 &\leq K_1 \\ S_2 &\leq K_2 \\ S_3 &\leq K_3 \end{aligned} \quad (3)$$

где K_1 – критерий оценки показателя профессионального риска; K_2 – критерий оценки показателя времени; K_3 – критерий оценки показателя эффективности управления.

В таблице 1 представлена система показателей и критериев оценки эффективности управления профессиональными рисками.

Порядок реализации методики оценки эффективности управления ПР в строительстве по фактору тяжести труда представлен алгоритмом (рис. 1).

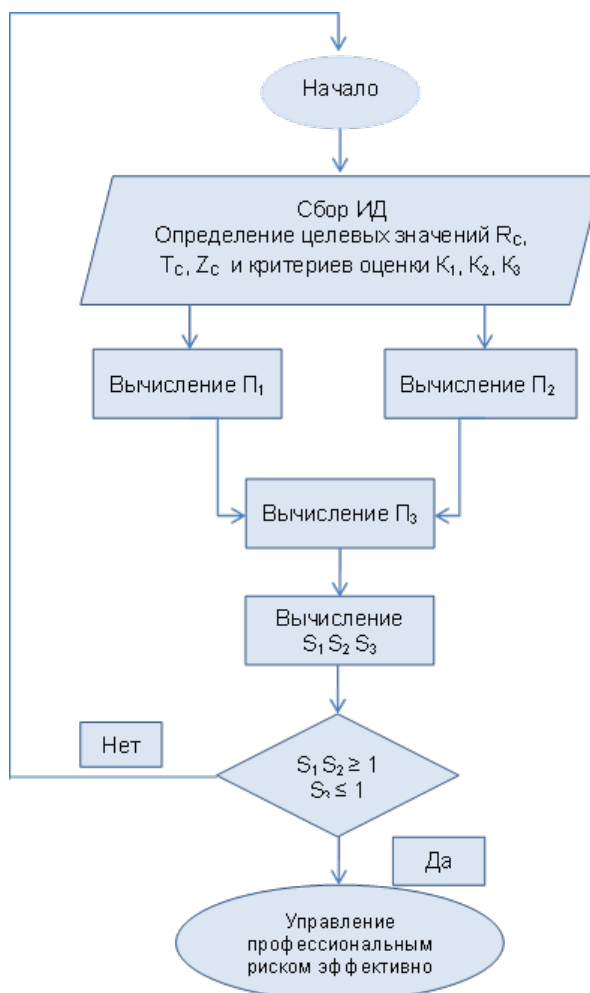


Рисунок 1 – Алгоритм методики оценки эффективности управления профессиональными рисками

Таблица 1 – Критерии оценки эффективности

Показатель оценки эффективности	Критерий оценки эффективности	Значения критерия оценки эффективности		
		высокая эффективность	эффективно	не эффективно
Π_1	S_1	0 ... ∞		
	K_1	<1	1	>1
Π_2	S_2	0 ... ∞		
	K_2	<1	1	>1
Π_3	S_3	0 ... ∞		
	K_3	>1	1	<1

Обсуждение. В настоящее время идет тенденция на оценку экономической эффективности в системе управления охраной труда. Вопрос оценки эффективности управления профессиональными рисками недостаточно проработан, так как является новым требованием законодательства РФ. Опираясь на существующие методики оценки экономической

эффективности, был предложен алгоритм оценки эффективности управления профессиональными рисками, который сочетает в себе экономические показатели и показатели профессионального риска. Данное сочетание позволяет найти баланс между интересами работодателя и требованиями законодательства по охране труда.

Выводы. Описанный подход к оценке эффективности управления профессиональным риском, позволяет найти сбалансированное решение основной задачи охраны труда по сохранению жизни и здоровья работников, которое удовлетворяет потребностям каждой из сторон трудовых отношений. Предложенный метод позволяет реализовать проактивный подход к управлению ОТ, что позволяет предупреждать негативное воздействие неудовлетворительных условий труда на работника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 776н "Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда".
2. Меркулова Е.В., Макушкин В.П. Оценка производственного риска и методы управления им на предприятии машиностроительного комплекса // Auditorium. – 2019. – №3 (23).
3. Федорев А.Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2008. – №2.
4. Кульбовская Н., Лысенков К. Потенциал государственного влияния на развитие системы охраны труда в современной России // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2007. – №4.
5. Дмитриева Е.А. Использование метода математического моделирования для оценки профессионального риска работника / Е.А. Дмитриева, Н.В. Румянцева, Е.В. Забильская // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 237-239. – EDN THBPGI.
6. Лобанова М.Н. Использование процедуры оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда / М.Н. Лобанова, Н.В. Румянцева // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 13-19 ноября 2017 года / Высшая школа техносферной безопасности. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – С. 10. – EDN YRLQLM.
7. Рудаков М.Л. Оценка и управление рисками в современных системах управления охраной труда в организации // СПб.: Свое издательство. – 2014.
8. Минько В.М. Методология разработки оптимальной годовой программы снижения профессиональных рисков / В.М. Минько, И.Ж. Титаренко, Е.А. Бондарь // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – №2. – С. 17-21.
9. Макушин Виктор Георгиевич // Нормирование и оплата труда в промышленности. – 2010. – № 2. – С. 52-53. – EDN RPDFDL.
10. Мерви Муртонен. Оценка рисков на рабочем месте – практическое пособие: серия «Охрана труда: Международный опыт». Вып. 1. – М.: Субрегиональное бюро МОТ для стран Европы и Центральной Азии, 2007. – 64 с.
11. Satalaksana, I. Z. Linking basic human values, risk perception, risk behavior and accident rates: The road to occupational safety / I. Z. Satalaksana, S. Z. Z. Zakiyah, A. Widyanti // International Journal of Technology. – 2019. – Vol. 10. – No 5. – P. 918-929. – DOI 10.14716/ijtech.v10i5.2165. – EDN SHFKEO.
12. Uhrenholdt Madsen C, Vester Thorsen S, Hasle P, Leonhardt Laursen L, Dyreborg J. Differences in occupational health and safety efforts between adopters and non-adopters of certified occupational health and safety management systems. Saf Sci 2022;152.
13. Comberti L, Demichela M. Customised risk assessment in manufacturing: A step towards the future of occupational safety management. Saf Sci 2022;154.
14. Liao C., Chiang T. Occupational injuries among non-standard workers in the taiwan construction industry. J Saf Res 2022;82:301-13.
15. Jung H, Choi B, Kang S, Kang Y. Temporal analysis of the frequency of accidents associated with construction equipment. Saf Sci 2022;153.
16. Xu J, Lu W, Wu L, Lou J, Li X. Balancing privacy and occupational safety and health in construction: A blockchain-enabled P-OSH deployment framework. Saf Sci 2022;154.
17. Эмерсон Г. Двенадцать принципов производительности: пер. с английского / Г. Эмерсон – М.: Экономика, 1992
18. Рыжкова Т.В. «Теоретические аспекты экономической оценки эффективной деятельности предприятий // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2013. №4 (96)
19. Ленин В.И. О научной организации труда. 2-ое изд., доп – М.: Политиздат.1983. – 319 с.
20. Елин, А. М. Социально-экономическая оценка эффективности управления охраной труда / А. М. Елин // Уровень жизни населения регионов России. – 2016. – № 2(200). – С. 104-111. – EDN WHCRND.
21. Kreshpaj B, Bottai M, Matilla-Santander N, Axén M, Orellana C, Burström B, Hemmingsson T, Jonsson J, Håkansson C, Wegman DH, Bodin T. Business performance and occupational injuries trajectories in the construction sector in sweden. Saf Sci 2022;152.
22. Cheng TCA, Caponecchia C, O'Neill S. Workplace safety and future and emerging ways of work: A systematic literature review. Saf Sci 2022;155.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации, статья 209
24. Юркова Т.И. Термин «Эффективность процесса» и его экономическая интерпретация // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №1.

Статья поступила в редакцию 15.09.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.844.4

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0037

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ СПЕЦИАЛЬНЫМИ ГАЗОВЫМИ ОГNETУШАЩИМИ СОСТАВАМИ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 9842-0583

AuthorID: 1114668

ORCID: 0000-0002-1304-8746

СТОЛЯРОВ Даниил Владимирович, студент

*Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(109004, Россия, Москва, улица Земляной Вал, 73, e-mail: sdv-270401@mail.ru)*

SPIN: 2899-7195

AuthorID: 680504

ORCID: 0000-0002-1372-8039

КОРОЛЕВА Тамара Ивановна, кандидат экономических наук, профессор

*Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(440026, Россия, Пенза, улица Володарского, 6, e-mail: korolevatamara@mail.ru)*

SPIN: 6277-5116

AuthorID: 983683

ORCID: 0000-0002-6420-0074

МИХАЙЛОВ Кирилл Андреевич, преподаватель

*Академия Государственной Противопожарной Службы МЧС России
(129366, Россия, Москва ул. Бориса Галушкина, 4, e-mail: mihkir.94@mail.ru)*

Аннотация. При ликвидации пожаров проливов и разливов жидких горючих веществ средствами объемного тушения, эффективность процесса тушения определяется величиной огнетушащей концентрации. С возрастанием величины огнетушащей концентрации, эффективность процесса тушения существенно снижается, что обусловлено сравнительно высокими значениями нормальной скорости распространения пламени по поверхности горючей жидкости, высокой плотностью теплового потока, возможностью распространения горения на расположенные в зоне теплового воздействия вещества, материалы, технологическое оборудование. Величина огнетушащей концентрации имеет зависимость от удельной скорости тушения очага пожара, количественно выражаемой показателем эффективности тушения. Наиболее высоких значений показателя эффективности тушения удается достичь при введении в очаг пожара газовых огнетушащих веществ. При этом существует проблема тушения открытых (наружных) пожаров, а также закрытых (внутренних) пожаров жидких горючих веществ, при невозможности обеспечения герметизации защищаемого объема. Для решения данной проблемы в работе предлагается осуществлять изменение собственных физико-химических свойств газовых огнетушащих веществ, относящихся к группе нейтральных газов, посредством наложения на поток газов внешнего статического электрического поля. В работе получены результаты экспериментальных исследований по тушению модельных очагов пожаров ранга 1В газовыми огнетушащими веществами, обладающими специальными физико-химическими свойствами, а также показано убывание минимальной огнетушащей концентрации нейтральных газов при возрастании напряженности внешнего статического электрического поля, зарегистрированное в ходе тушения н-гептана методом чашечной горелки.

Ключевые слова: газовое пожаротушение, газовое огнетушащее вещество, статическое электрическое поле, электродная система, показатель эффективности тушения, жидкие горючие вещества, модельный очаг пожара.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING FIRES OF LIQUID COMBUSTIBLE SUBSTANCES WITH SPECIAL GAS EXTINGUISHING COMPOSITIONS

© The Author(s) 2022

STOLYAROV Daniil Vladimirovich, student

KOROLEVA Tamara Ivanovna, candidate of economic sciences, professor

*K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management
(440026, Russia, Penza, Volodarsky Street, 6, e-mails: korolevatamara@mail.ru, sdv-270401@mail.ru)*

MIKHAILOV Kirill Andreevich, teacher

*State Fire Academy of EMERCOM of Russia
(129366, Russia, Moscow, Boris Galushkin str., 4, e-mail: mihkir.94@mail.ru)*

Abstract. When eliminating fires of spills and spills of liquid combustible substances by means of volumetric extinguishing, the effectiveness of the extinguishing process is determined by the value of the extinguishing concentration. With an increase in the value of the extinguishing concentration, the efficiency of the extinguishing process decreases

significantly, due to the relatively high values of the normal flame propagation velocity over the surface of the combustible liquid, high heat flux density, the possibility of spreading gorenje on the substances, materials, technological equipment located in the zone of thermal exposure. The value of the extinguishing concentration depends on the specific rate of extinguishing the fire, quantified by the extinguishing efficiency indicator. The highest values of the extinguishing efficiency indicator can be achieved when gas extinguishing agents are introduced into the fire. At the same time, there is a problem of extinguishing open (external) fires, as well as closed (internal) fires of liquid combustible substances, if it is impossible to ensure sealing of the protected volume. To solve this problem, the paper proposes to change the intrinsic physico-chemical properties of gas extinguishing agents belonging to the group of neutral gases by applying an external static electric field to the gas flow. The paper presents the results of experimental studies on extinguishing model fires of rank 1B with gas extinguishing agents with special physico-chemical properties, and also shows a decrease in the minimum extinguishing concentration of neutral gases with an increase in the intensity of the external static electric field, registered during the extinguishing of n-heptane by the cup burner method.

Keywords: gas fire extinguishing, gas extinguishing agent, static electric field, electrode system, extinguishing efficiency indicator, liquid combustible substances, model fire source.

Для цитирования: Столяров Д.В. Экспериментальная оценка эффективности тушения пожаров жидких горючих веществ специальными газовыми огнетушащими составами / Д.В. Столяров, Т.И. Королева, К.А. Михайлов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С.238-245. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0037.

Введение. Одним из наиболее эффективных методов тушения пожаров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей является метод газового пожаротушения, что обусловлено возможностью реализации объемного разбавляющего действия газовых огнетушащих веществ (ГОТВ), сравнительно высоким охлаждающим действием ГОТВ при их введении в очаг пожара в режиме дросселирования, а также отсутствием материального ущерба, связанного с повреждением материальных ценностей огнетушащими веществами [1-4].

При этом существует проблема тушения пожаров жидких горючих веществ в условиях негерметичных защищаемых объемов, а также в условиях открытых (наружных) пожаров, что связано с собственными физико-химическими свойствами ГОТВ, относящихся к группе нейтральных газов (НГ) [5-8].

В настоящей работе выбор НГ в качестве ГОТВ определяется из условий их высокой распространенности в природе, низкой себестоимости, а также в связи с отсутствием озоноразрушающего действия, в сравнении с ГОТВ, относящимися к группе химически активных ингибиторов [9, 10].

Для решения существующей проблемы предлагается осуществлять изменение собственных физико-химических свойств НГ посредством наложения внешнего электростатического поля на поток ГОТВ, что вызовет протекание процессов поляризации электронного смещения (в состав модельной смеси НГ, рассматриваемых в работе, входят неполярные газы) и ионизации электронным ударом [11-13].

При введении электронной и ионной компонент НГ в очаг пожара будет наблюдаться срыв факела пламени с поверхности жидкого горючего вещества, что обусловлено возрастанием скорости течения процесса диссоциативной рекомбинации [14] и связано с нарушением условия квазинейтральности факела пламени, так как в данном случае концентрации электронной и ионной компонент в

структуре зон пламени будут убывать вследствие девозбуждения и более быстрого диффузионного движения электронной компоненты, возникающего при воздействии самосогласованного электрического поля электрически заряженных компонент НГ на первичную реакционную зону факела пламени [15].

Методология. Целью работы является экспериментальное определение показателя эффективности и параметров тушения пожаров легковоспламеняющихся жидкостей модельным газовым огнетушащим составом (ГОТС), содержащим азот (N_2) и оксид углерода (IV) (CO_2) с учетом динамики развития горения модельного очага пожара ранга 1B, при подаче ГОТС, поляризованного и ионизированного во внешнем поперечном статическом электрическом поле в очаг пожара в режиме дросселирования, а также определение минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС при тушении н-гептана методом чашечной горелки. Экспериментальное исследование выполнялось в соответствии с методикой, изложенной в нормативно-техническом документе [16].

Изображение и схема экспериментальной установки, применяемой для экспериментального определения показателя эффективности и параметров тушения пожаров легковоспламеняющихся жидкостей модельным ГОТС представлены на рисунке 1.

В качестве горючих веществ в экспериментальном исследовании применены легковоспламеняющиеся жидкости. Геометрические размеры и конфигурация емкости для легковоспламеняющейся жидкости удовлетворяют требованиям нормативно-технического документа [16] и соответствует рангу модельного очага пожара (МОП) 1B.

Для определения минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС при тушении н-гептана методом чашечной горелки применена экспериментальная установка, схема которой изображена на рисунке 2.

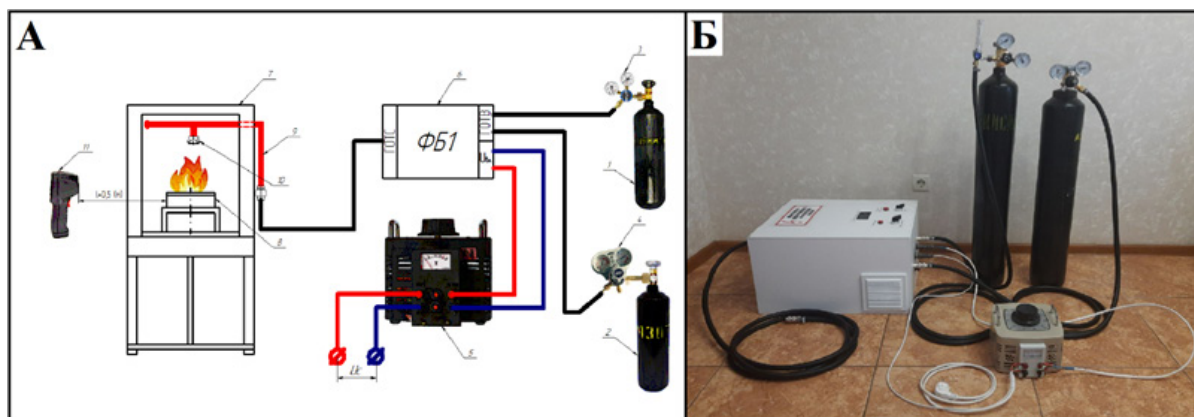


Рисунок 1 – Изображение и схема установки, применяемой для экспериментального определения параметров тушения пожаров легковоспламеняющихся жидкостей модельным ГОТС.

А – схема экспериментальной установки; Б – изображение экспериментальной установки.

1 – углекислотный баллон; 2 – азотный баллон; 3 – редуктор углекислотный; 4 – редуктор азотный; 5 – лабораторный автотрансформатор; 6 – функциональный блок силовых электрических аппаратов; 7 – лабораторный стенд для выполнения огневых испытаний установок пожаротушения; 8 – модельный очаг пожара; 9 – трубопровод; 10 – насадок выпуска газового огнетушащего вещества; 11 – тепловизор

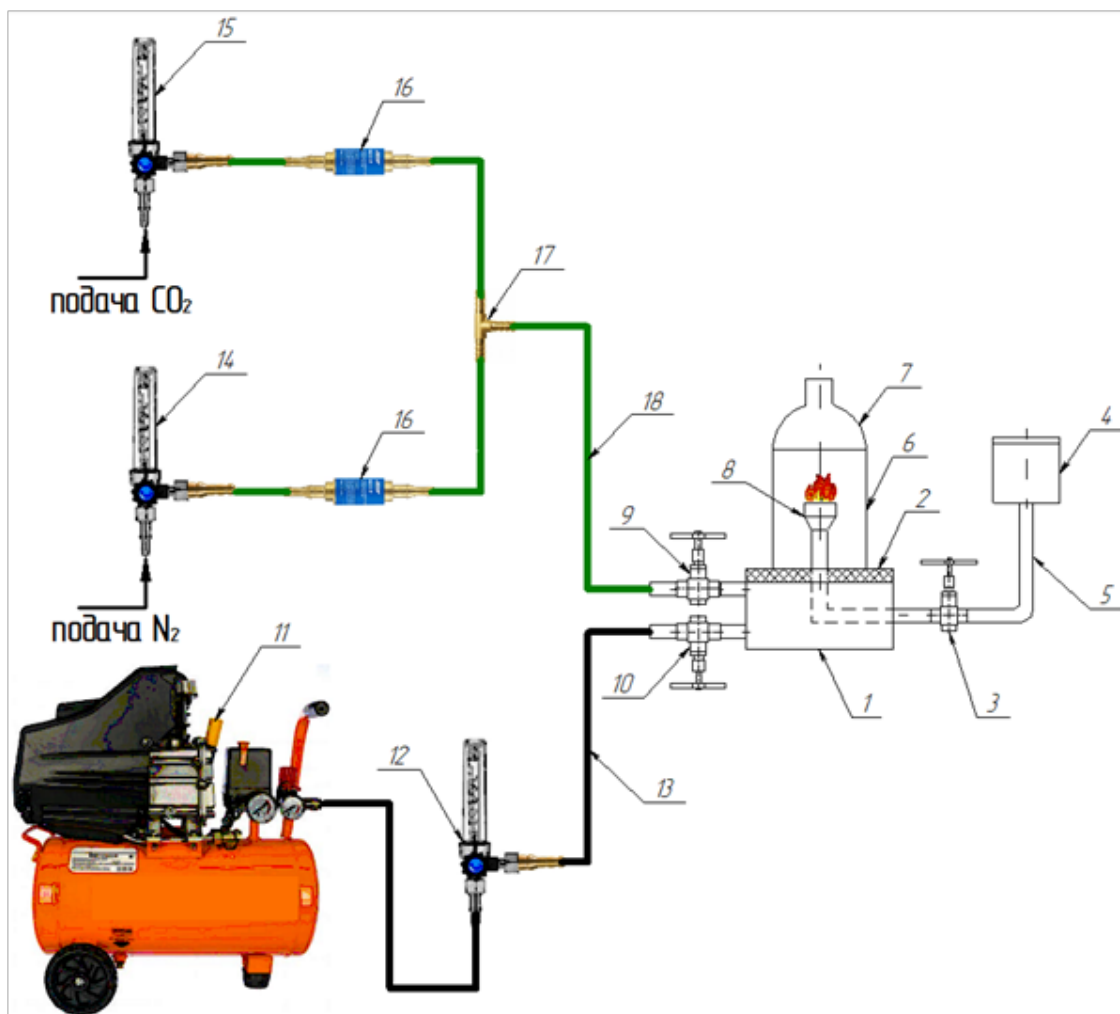


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для определения минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС при тушении н-гептана методом чашечной горелки.

1 – основание; 2 – слой стеклянного боя; 3 – клапан запорный для н-гептана; 4 – расширительный резервуар для н-гептана; 5 – трубопровод н-гептана; 6 – труба стеклянная; 7 – колпак стеклянный; 8 – жидкостное горелочное устройство; 9 – клапан запорный для ГОТС; 10 – клапан запорный для сжатого воздуха; 11 – компрессор воздушный; 12 – ротаметр воздушный; 13 – трубопровод сжатого воздуха; 14 – ротаметр азотный; 15 – ротаметр углекислотный; 16 – клапан обратный; 17 – разветвитель трёхходовой; 18 – трубопровод ГОТС

Определение величины минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС и стандартного ГОТВ при тушении н-гептана методом чашечной горелки выполнялось по формуле [17]:

$$\varphi_{min} = \frac{q_{CO2} + q_{N2}}{q_a + (q_{CO2} + q_{N2})} \times 100\%, \quad (1)$$

где: φ_{min} – минимальная огнетушащая концентрация ГОТС (ГОТВ), % об.;

q_a – расход сжатого воздуха, при котором наблюдается устойчивое горение легковоспламеняющейся жидкости, л/с;

q_{CO2} – минимальный расход оксида углерода (IV), при котором достигается огнетушащий эффект, л/с;

q_{N2} – минимальный расход азота, при котором достигается огнетушащий эффект, л/с.

Определение значений показателя эффективности тушения модельного очага пожара ранга 1В модельным ГОТС и стандартным ГОТВ выполнялось по формуле [17]:

$$P_{э.т.} = \frac{S_{п.г.}}{q_{отв} \tau_T}, \quad (2)$$

где $P_{э.т.}$ – показатель эффективности тушения модельного очага пожара, м²/(л×с);

$S_{п.г.}$ – площадь поверхности горения, м²;

$q_{отв}$ – расход огнетушащего вещества, м³/с;

τ_T – время полного тушения модельного очага пожара, с.

Результаты. На рисунке 3 представлен процесс тушения модельных очагов пожара ранга 1В модельным ГОТС и стандартным ГОТВ.

Контрольная серия экспериментальных исследований включает 3 повторных огневых испытания при тушении МОП ранга 1В модельным ГОТС и 3 повторных огневых испытания при тушении МОП ранга 1В стандартным ГОТВ для каждого эксперимента, имеющего порядковый номер N_3 (рис. 3).

Так в эксперименте, имеющем порядковый номер $N_3 = 1$, в качестве горючей жидкости применялся бензин автомобильный неэтилированный АИ-92; при $N_3 = 2$, в качестве горючей жидкости применялся нефтяной растворитель С4-155/200 (Уайт-спирит); при $N_3 = 3$, в качестве горючей жидкости применялся керосин авиационный ТС-1; при $N_3 = 4$, в качестве горючей жидкости применялся пропанон-2 (ацетон).

В таблице 1 представлены значения параметров и величин, определяющих эффективность тушения МОП ранга 1В модельным ГОТС в сравнении со стандартным ГОТВ.

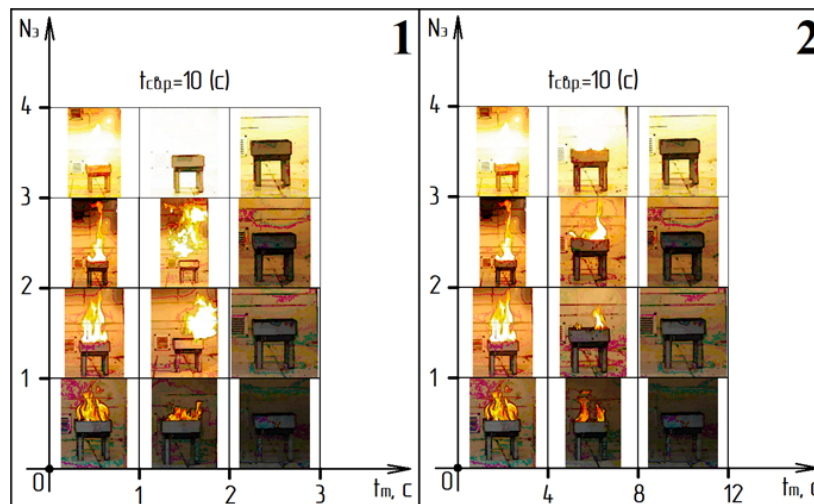


Рисунок 3 – Процесс тушения модельных очагов пожара ранга 1В
1 – процесс тушения МОП модельным ГОТС; 2 – процесс тушения МОП стандартным ГОТВ

Таблица 1 – значения параметров и величин, определяющих эффективность тушения МОП ранга 1В модельным ГОТС в сравнении со стандартным ГОТВ

Параметр, единицы измерения	Вид огнетушащего вещества							
	Модельный ГОТС – CO ₂ + N ₂				Стандартное ГОТВ – CO ₂ + N ₂			
	Бензин АИ-92	Уайт-спирит	Керосин ТС-1	Ацетон	Бензин АИ-92	Уайт-спирит	Керосин ТС-1	Ацетон
$T_{п.г.}, K$	1062,38	1075,2	1154,6	929,07	1062,38	1075,2	1154,6	929,07
$v_n, м/с$	745	785	794	790	745	785	794	790
$G_n, кг/с$	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129
$G_{п.г.}, кг/с$	0,1483	0,142	0,142	0,1097	0,1483	0,142	0,142	0,1097
$Q_n, Вт$	$3,8 \times 10^{14}$	$4,5 \times 10^{14}$	$3,1 \times 10^{14}$	$2,4 \times 10^{14}$	$3,8 \times 10^{14}$	$4,5 \times 10^{14}$	$3,1 \times 10^{14}$	$2,4 \times 10^{14}$
T_2/T_1	0,30182	0,3177	0,28794	0,33503	0,32429	0,33976	0,29995	0,3615
$\Delta T_{п.г.}, K$	741,73	733,61	821,45	617,8	717,86	709,89	808,28	593,21
$\tau_p, с$	2,23	2,45	3,05	3,55	10,21	11,09	12	12,46
$Q_{ог.г.}, кДж/м^3$	70725	137425	131675	77682,5	70725	137425	131675	77682,5
$E_{л.}, кВт/м$	55,7-610	55,7-610	55,7-610	55,7-610	0	0	0	0

В таблице 1 приняты следующие наименования параметров: $T_{пл.ср.}$ – среднеобъемная температура факела пламени; v_f – линейная скорость распространения горения по поверхности легковоспламеняющейся жидкости; G_g – теоретический расход воздуха через поперечное сечение проема камеры сгорания экспериментальной установки; $G_{п.г.}$ – теоретический расход газообразных продуктов горения через поперечное сечение проема камеры сгорания экспериментальной установки; Q_T – тепловая мощность пожара; $\Delta T_{п.л.в.ж.}$ – разность абсолютных температур поверхности легковоспламеняющейся жидкости в моменты времени свободного развития горения и по достижении огнетушащего эффекта соответственно; τ_T – время полного тушения модельного очага пожара; $Q_{охл}$ – теоретический охлаждающий эффект при введении огнетушащего вещества в очаг пожара; E_L – напряженность внешнего статического электрического поля.

Для обеспечения выполнения исследования в равных экспериментальных условиях, параметры давления и расхода огнетушащих веществ приняты равными для модельного ГОТС и стандартного ГОТВ соответственно. Давление газовой смеси имеет значение: $p_T = 8 \times 10^5$ (Па); расход газовой смеси имеет значение: $q_{отв} = 1,12 \times 10^{-3}$ (м³/с). Также имеют равные значения следующие параметры модельного очага пожара: площадь поверхности горения – $S_{п.г.} = 0,03$ (м²); объем легковоспламеняющейся жидкости – $V_{л.в.ж.} = 7 \times 10^{-4}$ (м³); объем слоя воды в емкости – $V_{в.} = 3 \times 10^{-4}$ (м³); параметр проемности камеры сгорания – $S_{пр.} \times H^{1/2} = 0,212$ (м^{1/2}).

В таблице 2 представлены значения минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС и стандартного ГОТВ, полученные в ходе экспериментального исследования по тушению n-гептана

методом чашечной горелки.

Таблица 2 – Значения минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС и стандартного ГОТВ, полученные при тушении n-гептана методом чашечной горелки.

N ₃	Минимальная огнетушащая концентрация	Вид огнетушащего вещества	
		Модельный ГОТС – CO ₂ + N ₂	Стандартное ГОТВ – CO ₂ + N ₂
1	$\phi_{min1}, \% об.$	26	36,5
2	$\phi_{min2}, \% об.$	27,2	38,4
3	$\phi_{min3}, \% об.$	25,3	37,2

Обсуждение. На рисунке 4 представлен график эмпирической зависимости полного времени тушения МОП ранга 1В от расхода модельного ГОТС при максимальном значении напряженности внешнего поперечного электростатического поля.

Из рисунка 4 следует: убывание значений величины времени полного тушения легковоспламеняющихся жидкостей с возрастанием расхода модельного ГОТС достигается как за счет возрастания концентраций электронной и ионной компонент в потоке ОТВ, что вызвано ионизацией электронным ударом нейтральных газов, так и за счет снижения ширины области концентрационного предела воспламенения парогазовоздушной смеси горючих жидкостей, при введении инертного разбавителя в зону пламенного горения, что согласуется со стандартным физическим механизмом огнетушащего действия нейтральных газов [18-20].

На рисунке 5 представлен график эмпирической зависимости скорости убывания температуры пламени горючих жидкостей от напряженности внешнего поперечного электростатического поля, наложенного на поток ГОТС при минимальном значении расхода ОТВ, при котором достигается огнетушащий эффект.

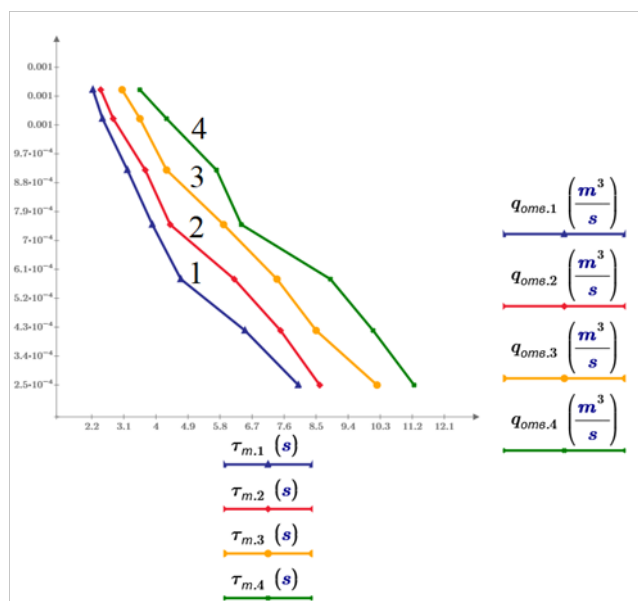


Рисунок 4 – График эмпирической зависимости $\tau(q_{oms})$ при $E_L = E_{L,max}$.
 1 – график зависимости для бензина АИ-92; 2 – график зависимости для Уайт-стирита;
 3 – график зависимости для керосина ТС-1; 4 – график зависимости для ацетона

Из рисунка 5 следует: при постоянном значении расхода ОТВ, скорость убывания температуры факела пламени возрастает вследствие возрастания интенсивности теплоотвода как из зоны пламенного горения, так и из прогретого слоя горючей жидкости, что предположительно связано с более длительным сохранением в области первичной реакционной зоны

пламени минимальной огнетушащей концентрации [21] модельного ГОТС, в сравнении со стандартным ГОТВ. В таблице 3 представлены значения показателя эффективности тушения $\Pi_{э.т.}$ МОП ранга 1В модельным ГОТС и стандартным ГОТВ при равных значениях параметров давления и расхода нейтральных газов.

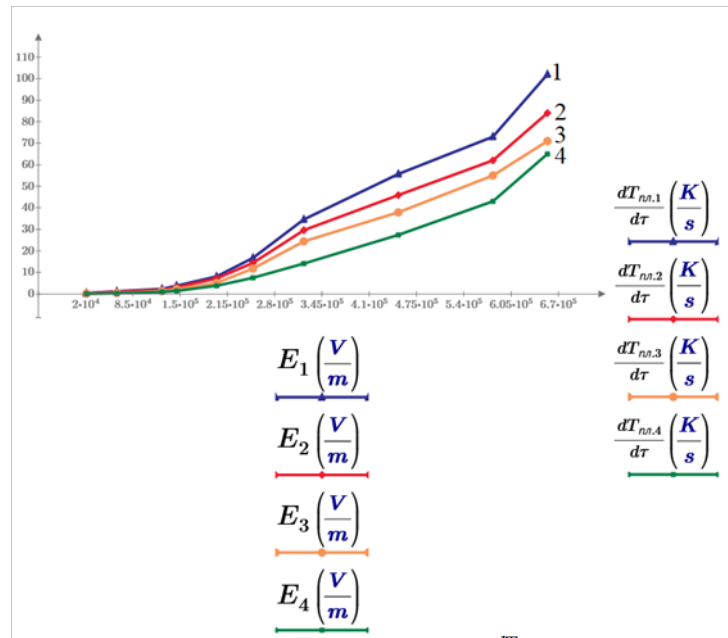


Рисунок 5 – График эмпирической зависимости $\frac{dT_{нн,i}}{d\tau}(E_{\perp})$ при $q_{отв} = q_{отв}^{о.к.}$
1 – график зависимости для бензина АИ-92; 2 – график зависимости для Уайт-спирита;
3 – график зависимости для керосина ТС-1; 4 – график зависимости для ацетона

Таблица 3 – Значения показателя эффективности тушения $\Pi_{э.т.}$ МОП ранга 1В модельным ГОТС и стандартным ГОТВ

Параметр, единицы измерения	Вид огнетушащего вещества							
	Модельный ГОТС – CO ₂ + N ₂				Стандартное ГОТВ – CO ₂ + N ₂			
	Бензин АИ-92	Уайт-спирит	Керосин ТС-1	Ацетон	Бензин АИ-92	Уайт-спирит	Керосин ТС-1	Ацетон
p_r , Па	8×10^5	8×10^5	8×10^5	8×10^5	8×10^5	8×10^5	8×10^5	8×10^5
$q_{отв}$, м ³ /с	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112
E_{\perp} , кВ/м	55,7-610	55,7-610	55,7-610	55,7-610	0	0	0	0
$\Pi_{э.т.}$, м ² / (л×с)	0,4	0,36	0,293	0,252	0,087	0,081	0,0744	0,0717

В таблице 3 приняты следующие наименования параметров: p_r – давление газовой смеси; $q_{отв}$ – расход газовой смеси; E_{\perp} – напряженность внешнего статического электрического поля; $\Pi_{э.т.}$ – показатель эффективности тушения.

Из таблицы 3 следует: в случае подачи в очаг пожара модельного ГОТС, удельная скорость тушения единицы площади пожара горючих жидкостей оказывается выше на величину, приблизительно равную 10, в сравнении со случаем, в котором в очаг пожара осуществлялась подача стандартного ГОТВ.

Выводы. В процессе выполнения экспериментального исследования по оценке показателя эффективности тушения пожаров жидких горючих веществ газовыми огнетушащими веществами, обладающими специальными физико-химическими свойствами, получены следующие основные результаты:

1. Процесс ликвидации гомогенного горения с применением модельного ГОТС характеризовался относительно быстрым убыванием среднеобъемной температуры факела пламени, а также температуры поверхности горючих жидкостей. Среднее время достижения температуры потухания факела пламени $T_{пот.}$ составило: 2,8 (с) при тушении МОП ранга 1В модельным ГОТС и 11,28 (с) при тушении МОП ранга 1В стандартным ГОТВ.

2. В результате выполнения сравнительных экспериментальных исследований получены значения полного времени тушения МОП ранга 1В, при этом значение времени тушения очага пожара стандартным ГОТВ превышает значение времени тушения модельным ГОТС, что является следствием более раннего достижения значения температуры потухания пламени $T_{пот.}$ при тушении очага пожара модельным

ГОТС. Кроме того, в случае введения в очаг пожара модельного ГОТС, значение $\varphi_{ок\ min}$ и $q_{отв}$ оказывается меньшими, в сравнении со стандартным ГОТВ, что обусловлено возрастанием концентрации электронной и ионной компонент модельного ГОТС. По достижении значения $E_{\perp} = E_{\perp\ max}$ и $q_{отв} = 0,00112$ (м³/с), величина полного времени тушения очага пожара оказывается равной $\tau_t = 2,23$ (с) = $\tau_{t\ min}$ (рис. 4).

3. Определены величины минимальной огнетушащей концентрации модельного ГОТС и стандартного ГОТВ при тушении н-гептана методом чашечной горелки. В соответствии с результатами выполненного экспериментального исследования, величина минимальной огнетушащей концентрации φ_{min} модельного ГОТС при тушении н-гептана оказывается меньшей, в сравнении с величиной минимальной огнетушащей концентрации стандартного ГОТВ. Разность полученных значений минимальных огнетушащих концентраций составляет величину порядка 10% об.

Результаты выполненного исследования могут быть применены при разработке и выполнении огневых испытаний автоматических установок газового пожаротушения.

Настоящая работа предопределяет необходимость выполнения исследования зависимости изменения толщины прогретого поверхностного слоя горючих жидкостей от концентрации ионной и электронной компонент нейтральных газов, а также давления, расхода и режима выпуска ОТВ, что позволит получить значения интенсивности теплового потока, затрачиваемого в единицу времени на образование горючей концентрации пара над поверхностью жидкости и выполнить сравнение полученной величины с приведенной интенсивностью теплоотвода из зоны пламенного горения, которая обеспечивается при подаче специальных газовых огнетушащих веществ в очаг пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волкова С.Н., Маркова Л.Ю. Газовое пожаротушение как один из видов систем противопожарной защиты // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazovoe-pozharotushenie-kak-odin-iz-vidov-sistem-protivopozharnoy-zaschity> (дата обращения: 27.11.2022).
2. Корольченко А.Я., Шилина Е.Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность. 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazovoe-pozharotushenie> (дата обращения: 27.11.2022).
3. Дауэнгауэр С.А. Сравнение систем пожаротушения // Алгоритм безопасности. – 2009. – № 3. – С. 20-23.
4. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 2. – С. 65-70.
5. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 12. – С. 59-68.
6. Киздермишов А.А., Киздермишова С.Х. Проблемы применения автоматических систем (установок) газового пожаротушения // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и

технические науки. – 2019. – №1 (236). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-primeneniya-avtomaticheskikh-sistem-ustanovok-gazovogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 27.11.2022).

7. Ku, J.H. A study on personal safety improvement of gaseous fire extinguishing system. J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 14, No. 3, pp. 193-199. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2014). Urban railroad facility construction rules. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019). Enforcement rule of the railway construction and railway facility maintenance act.

8. Алешков М.В., Кузьменко К.П., Инчиков В.П. Перспектива применения установок газового пожаротушения на основе диоксида углерода для тушения пожаров на объектах электроэнергетики // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektiva-primeneniya-ustanovok-gazovogo-pozharotusheniya-na-osnove-dioksida-ugleroda-dlya-tusheniya-pozharov-na-obektakh> (дата обращения: 27.11.2022).

9. Костылев И.И., Ладин Н.В., Кукин С.А. Проблема отказа от хладагентов, неблагоприятных для окружающей среды // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2011. – №1 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-otkaza-ot-hladagentov-ne-blagopriyatnyh-dlya-okruzhayushey-sredy> (дата обращения: 27.11.2022).

10. Цветков О.Б., Бараненко А.В., Лаптев Ю.А., Сапожников С.З., Ховалыг Д.М., Пятаков Г.Л. Озонобезопасные хладагенты // Холодильная техника и кондиционирование. – 2014. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ozonobezopasnye-hladagenty> (дата обращения: 27.11.2022).

11. Шершунов З.Л., Пивоваров Д.В., Исаев П.П. Определение собственного дипольного момента и поляризуемости молекул // Вестник Таганрогского института имени А. П. Чехова. – 2010. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sobstvennogo-dipolnogo-momenta-i-polyarizuemosti-molekul> (дата обращения: 27.11.2022).

12. Mossotti O. F. Sull'influenza che l'azione di un mezzo dielettrico ha sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie di più corpi elettrici disseminati in esso // Memorie di matematica e di fisica della Società italiana delle scienze. – 1850, 2 pt. 2. – С. 49-74.

13. Сухов А.К. Моделирование импульсного разряда в азоте // Вестник КГУ. – 2013. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-impulsnogo-razryada-v-azote> (дата обращения: 27.11.2022).

14. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. – В кн. Моделирование и методы расчета физико-химических процессов в низкотемпературной плазме/Под ред. Л.С. Полака – М. : Наука, 1974. – С. 68.

15. Столяров Д.В., Алешков М.В., Топольский Н.Г. [и др.]. Аналитическая оценка эффективности тушения пожаров твердых горючих веществ и материалов статическим электрическим полем // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2. – С. 126-138. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-9.

16. ГОСТ Р 50969-96 «Установки газового пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний».

17. Бондарь В.А., Горшков В.И. Тушение пламени охлаждением поверхности горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. 2009. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tushenie-plameni-ohlazhdeniem-poverhnosti-goryuchih-zhidkostey> (дата обращения: 27.11.2022).

18. Абдургимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizmah-ognetushaschego-deystviya-sredstv-pozharotusheniya> (дата обращения: 27.11.2022).

19. Филиппик М.В., Старков Н.Н. К вопросу о тушении

легковоспламеняющихся и горючих жидкостей твердой двуокисью углерода // *Материалы научных чтений «Белые ночи» Академии МАНЭБ*. – СПб.: МАНЭБ, 2000. – С. 80-83.

20. Меркулов А.В., Меркулов В.А. Оптимизация выбора установок газового пожаротушения // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2005. – №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-vybora-ustanovok-gazovogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 27.11.2022).

21. Силаков В.П., Чеботарев А.В. Стабильные режимы неравновесного импульсно-периодического разряда в потоке молекулярного азота при высоком давлении. *ПМТФ*, 1992. – N 2. – С. 19-26.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0038

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ПОТЕРИ МАССЫ СОСНОВЫХ ИГОЛОК ПРИ ПОЖАРЕ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 7092-6913

AuthorID: 967939

ORCID: 0000-0003-0141-1998

ScopusID: 57208213064

ФРОЛОВА Нина Анатольевна, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Амурский государственный университет

(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

ORCID: - 0000-0002-6491-9644

ШАПОШНИКОВА Ирина Анатольевна, студент

Амурский государственный университет

(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: payola@mail.ru)

Аннотация. Учитывая большое количество процессов и факторов, которые происходят при лесных пожарах, охватывающих несколько порядков величин в пространственном и временном масштабах, подходы к моделированию распространения лесных пожаров являются актуальной задачей. Для детального анализа пожара необходим полный скрининг процесса горения. В статье приведен эксперимент горения конфигураций сосновых иголок. Измерение скорости тепловыделения и скорости потери массы с течением времени для пожара в лабораторных условиях проводились между плоской и наклонной конфигурациями сосновых иголок под углом 20°. Результаты исследований, позволили установить, что горение быстро достигает квазистационарного состояния горизонтального расположения на поверхности сосновых иголок со скоростью тепловыделения почти 100 кДж/ч и скоростью потери массы, поддерживаемой на уровне 6 г/сек в течение всего горения. Для конфигурации сосновых иголок с наклоном 20° процесс горения демонстрирует крайне неустойчивые характеристики, так как скорости выделения тепла и массы не достигают постоянных значений. Для конфигураций с наклоном скорость тепловыделения и скорость потери массы находится на максимальном уровне, демонстрируя пик значения, соответствующий 300 кДж/ч и 15 г/с соответственно, между 100 и 150 секунд после воспламенения. В процессе проведения исследований установлено, что поверхность фронта пламени увеличивается с течением времени при горении сосновых иголок под углом наклона 20°. Полученные в ходе эксперимента данные позволили установить, скорость распространения огня и процесс горения на ровном участке лесных массивов и на склонах, будет отличаться. Данный факт необходимо учитывать при разработке тактики тушения пожаров в лесных массивах с целью повышения эффективности процесса тушения.

Ключевые слова: горение, сосновые иголки, скорость потери массы, скорость тепловыделения, моделирование, профилактика пожара.

INVESTIGATION OF THE RATE OF HEAT RELEASE AND THE RATE OF MASS LOSS OF PINE NEEDLES IN A FIRE

© The Author(s) 2022

FROLOVA Nina Anatolyevna, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the Department of "Life Safety"

SHAPOSHNIKOVA Irina Anatolyevna, student

Amur State University

(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mails: ninelfr@mail.ru, payola@mail.ru)

Abstract. Given the large number of processes and factors that occur during forest fires, covering several orders of magnitude in spatial and temporal scales, approaches to modeling the spread of forest fires are an urgent task. For a detailed analysis of the fire, a complete screening of process is required. Experiment of pine needle configurations is presented in the article. The measurement of the rate of heat release and the rate of mass loss over time for a fire in laboratory conditions was carried out between flat and inclined configurations of pine needles at an angle of 20°. The results of the research, allowed us to establish that the combustion quickly reaches a quasi-stationary state of horizontal location on the surface of pine needles with a heat release rate of almost 100 kJ/h and a mass loss rate maintained at 6 g/sec during the entire combustion. For the configuration of pine needles with a slope of 20°, the combustion process demonstrates extremely unstable characteristics, since the rates of heat and mass release do not reach constant values. Fire for tilted configurations, the heat release rate and the mass loss rate are at the maximum level, demonstrating a peak value corresponding to 300 kJ/h and 15 g/s, respectively, between 100 and 150 seconds after ignition. In the course of the research, it was found that the surface of the flame front increases over time when burning pine needles at an angle of inclination of 20°. The data obtained during the experiment allowed us to establish that the rate of fire propagation and

the burning process on a flat area of woodlands and on slopes will be different. Fire this fact should be taken into account when developing fire extinguishing tactics in forests in order to increase the efficiency of the extinguishing process.

Keywords: fire, pine needles, mass loss rate, heat release rate, modeling, fire prevention.

Фролова Н.А. Исследование скорости тепловыделения и скорости потери массы сосновых иголок при пожаре / Н.А. Фролова, И.А. Шапошникова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С.246-249. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0038.

Введение. Прогнозирование потенциального поведения и последствий лесных пожаров является важной задачей противопожарной профилактики [1-3]. Направление и скорость, с которой распространяется лесной пожар, являются результатом многомасштабных взаимодействий между различными физическими процессами [4-6]. В настоящей работе растительность (т.е. слой сосновых иголок) рассматривается как пористая среда, состоящая из твердой и газовой фазы [7-10]. Верховые и низовые пожары имеют характерные особенности горения и процесса распространения огня. Отличительные особенности основных физических величин (скорости потери биомассы и скорости тепловыделения) являются актуальными задачами, которые являются определенным вкладом в моделирование лесных пожаров [11-14]. Моделирование природных пожаров остается сложной задачей вследствие особенностей растительности и сложного физико-химического состава, лежащего в основе механизмов, происходящих на молекулярном уровне. Анализ литературных источников свидетельствует о широком спектре подходов к моделированию: от рассмотрения разложения одной частицы до макроскопического представления пиролиза растительности в рамках высвобождения энергии из биомассы [15-17]. Набор свойств растительности и кинетических параметров, который наилучшим образом воспроизводит экспериментальные данные, может быть извлечен и использован в качестве модельных параметров, которые являются основой [18-20].

Целью исследований явился анализ изменения скорости тепловыделения и потери массы с течением времени в процессе горения конфигураций из сосновых иголок.

Методология. Слой биомассы был изготовлен из хвои сосны размером 2×1 м, которую можно

наклонять для изучения моделирования пожаров с учетом различного угла наклона объектов горения. Лабораторный эксперимент горения сосновых иголок проводился в двух вариантах: горизонтальное расположение на поверхности сосновых иголок и под углом наклона 20°. Средняя высота пламени за время пожара составляла 47 см для горизонтального расположения на поверхности сосновых иголок и 67 см на поверхности под наклоном 20°. Огонь зажигали в виде линии длиной 1 м. Высота слоя сосновых иголок составлял 5-10 см. По продолжительности пожара (который длится от 300 до 400 с в зависимости от наклона угла), скорость тепловыделения измерялась калориметрически по способности потребления кислорода в результате распространения огня. Этот принцип основан на пропорциональном соотношении между выделением тепла и кислородом, потребляемым для полного сжигания биомассы. На рисунке 1 показан лабораторный эксперимент горения конфигураций сосновых иголок в горизонтальном положении и под углом наклона 20°.

Результаты. Мультифизическое моделирование распространения огня выполняется в масштабе лабораторного исследования и сравнивается с измерениями, чтобы обеспечить всестороннее понимание механизмов, лежащих в основе распространения огня.

К основным физическим явлениям процесса горения лесных массивов относят скорость тепловыделения и скорость потери биомассы. По данным параметрам, возможно, охарактеризовать скорость и интенсивность процесса горения для разработки алгоритмов тушения.

На рисунках 2, 3 показано изменение скорости тепловыделения и потери массы в зависимости от времени плоских конфигураций сосновых иголок и конфигураций с уклоном 20°.



Рисунок 1 – Лабораторный эксперимент горения конфигураций сосновых иголок

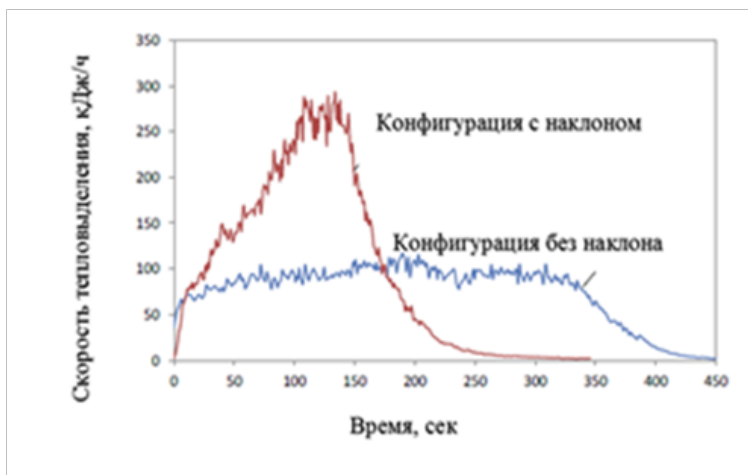


Рисунок 2 – Измерение скорости тепловыделения с течением времени в процессе пожара при горизонтальном расположении на поверхности сосновых иголок и под углом наклона 20°

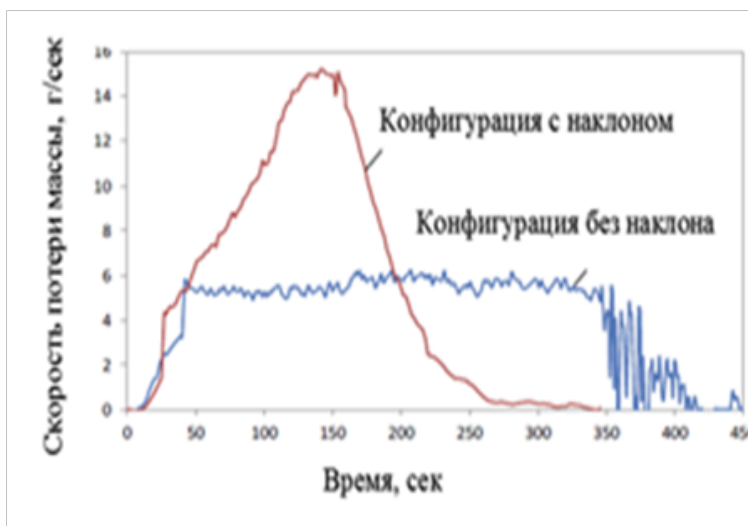


Рисунок 3 – Измерение скорости потери массы с течением времени в процессе пожара при горизонтальном расположении на поверхности сосновых иголок и под углом наклона 20°

Обсуждение. Результаты исследований, показанных на рисунках 2 и 3 указывают на то, что горение быстро достигает квазистационарного состояния горизонтального расположения на поверхности сосновых иголок со скоростью тепловыделения почти 100 кДж/ч и скоростью потери массы, поддерживаемой на уровне 6 г/сек в течение всего горения. Для конфигурации сосновых иголок с наклоном 20° процесс горения демонстрирует крайне неустойчивые характеристики, так как скорости выделения тепла и массы не достигают постоянных значений. Для конфигураций с наклоном скорость тепловыделения и скорость потери массы находится на максимальном уровне, демонстрируя пик значения, соответствующий 300 кДж/ч и 15 г/с соответственно, между 100 и 150 секунд после воспламенения. В процессе проведения исследований установлено, что поверхность фронта пламени увеличивается с течением времени при горении сосновых иголок под углом наклона 20°. Так как верхняя часть пламени увеличивается

вследствие дополнительного наклона сосновых иголок, топливо из биомассы сгорает быстрее и выделяется больше тепла. Данный процесс связан также с большим теплообменом в верхней части огня, что приводит к быстрому распространению пламени, чем при горизонтальной конфигурации сосновых иголок.

Выводы. Таким образом, скорость тепловыделения связана со скоростью потери массы сосновых иголок в процессе пожара. Эффективный коэффициент горения, полученный экспериментальным путем равен 0,88 для горизонтального расположения сосновых иголок и 0,92 для конфигурации с наклоном под углом 20°. Поскольку передняя поверхность пламени увеличивается, топливо из биомассы сгорает быстрее и выделяется больше тепла. Полученные в ходе эксперимента данные позволили установить, скорость распространения огня и процесс горения на ровном участке лесных массивов и на склонах, будет отличаться. Данный факт необходимо учитывать

при разработке тактики тушения пожаров в лесных массивах с целью повышения эффективности процесса тушения. Возможный подход к частичному преодолению ограничений, обнаруженных при моделировании лесных пожаров, и к улучшению знаний о многомасштабных взаимодействиях между пиролизом и динамикой реакции горения в лесах заключается в разработке численного моделирования пламени. Это моделирование будет способствовать развитию представлений о чувствительности химических реакций в различных условиях окружающей среды, интенсивности линии возгораний, а также процесса теплообмена между биомассой лесных массивов. Моделирование процессов развития горения необходимо для количественной оценки выбросов в режиме реального времени и оценки долгосрочного воздействия лесных пожаров на загрязнение окружающей среды. Процессы моделирования поведения пожаров также имеют первостепенное значение для оценки допущений, лежащих в основе полуэмпирического моделирования отношений между тепловым потоком, получаемым несгоревшей растительностью, и энергией, необходимой для её воспламенения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Doroshenko, A.V. Modelling of Fire Escalation and Escape Routes as Exemplified by a Higher Educational Institution / A.V. Doroshenko, E.S. Demin // *Industrial and Civil Engineering*. – 2022. – No 6. – P. 38-45. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.06.38-45.
- Barovik, D.V. Tools for the analysis and visualisation of distributions and vector fields in surface forest fires modelling / D.V. Barovik, V.B. Taranchuk // *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics*. – 2022. – No 2. – P. 82-93. – DOI 10.33581/2520-6508-2022-2-82-93.
- Побединский В.В. Оценка повреждений лесонасаждений при пожарах с применением нечеткого моделирования / В.В. Побединский, С.П. Санников, В.А. Солига // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2017. – № 2. – С. 18-24.
- Перминов В.А. Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов и Заслонов конечных размеров / В.А. Перминов, В.И. Марзаева // *Физика горения и взрыва*. – 2020. – Т. 56. – № 3. – С. 94-105. – DOI 10.15372/FGV20200310.
- Бордюг А.С. Применение элементов судовой автоматики при моделировании пожаров в машинном отделении / А.С. Бордюг // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. – 2020. – Т. 16. – № 4. – С. 87-92. – DOI 10.17122/1999-5458-2020-16-4-87-92.
- Мальков Д.М. Программа для математического моделирования прогноза распространения лесного пожара / Д.М. Мальков // *ИТ Арктика*. – 2020. – № 2. – С. 3-18.
- Перминов В.А. Математическое моделирование возникновения и распространения верховых лесных пожаров в осредненной постановке / В.А. Перминов // *Журнал технической физики*. – 2015. – Т. 85. – № 2. – С. 24-30.
- Гоман П.Н. Повышение безопасности лесного фонда Республики Беларусь на основе компьютерного моделирования динамики лесных пожаров / П.Н. Гоман, Е.С. Соболевская // *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*. – 2016. – № 2(40). – С. 75-86.
- Карпов С.Ю. Инструментально-аналитический метод валидации расчетной методики моделирования пожара, предложения и рекомендации / С.Ю. Карпов, А.Я. Понимаскин, С.С. Шишанова // *Пожарная безопасность*. – 2022. – № 2(107). – С. 63-71. – DOI 10.37657
- Буслов И.А. Проектирование по для моделирования природных пожаров с использованием гибридных моделей / И.А. Буслов Г.А. Доррер, П.С. Шаталов // *Хвойные бореальной зоны*. – 2016. – Т. 34. – № 3-4. – С. 138-140.
- Моделирование условий выбора при тушении пожаров / А.Н. Мищенко, А.Н. Денисов, М.М. Данилов, Д.В. Генералов // *НаукоСфера*. – 2020. – № 9. – С. 26-34.
- Валиуллина Р.А. Трёхмерное моделирование в задачах расчёта и визуализации распространения опасных факторов пожара при оценке пожарных рисков / Р.А. Валиуллина, Л.Р. Аминева, А.А. Шарафутдинов // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. – 2021. – № 4. – С. 4-21. – DOI 10.17122/ogbus-2021-4-4-21.
- Гладской И.Б. К моделированию распространения природных пожаров с использованием ГИС-технологий / И.Б. Гладской, А.В. Павлова, С.Е. Рубцов // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. – 2019. – Т. 16. – № 4. – С. 13-21. – DOI 10.31429/vestnik-16-4-13-21.
- Марзаева В.И. Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов и заслонов / В.И. Марзаева // *Журнал технической физики*. – 2019. – Т. 89. – № 8. – С. 1141-1149. – DOI 10.21883/JTF.2019.08.47883.392-18.
- Саркисов С.В. Использование метода математического моделирования Монте-Карло для определения изменений в стальных конструкциях подземных объектов после пожара / С.В. Саркисов, М.Д. Рузманов // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. – 2022. – № 1(19). – С. 70-78.
- Апробация методов компьютерного моделирования при анализе боевых действий по тушению пожаров / О.С. Малютин, С.А. Васильев, Ч.В. Чульдун [и др.] // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. – 2020. – № 3(18). – С. 75-87. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.012.
- Клусковский К.С. Моделирование склада с учетом условий развития пожара в помещении / К.С. Клусковский, Д.В. Лиховая // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2018. – Т. 6. – № 6(42). – С. 176-177.
- Елисеев А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирование / А.В. Елисеев, А.В. Васильева // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2020. – Т. 3. – С. 73-119. – DOI 10.21513/2410-8758-2020-3-73-119.
- Покоева М.В. Моделирование развития лесного пожара по данным дистанционного зондирования земли / М.В. Покоева // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2020. – Т. 8. – № 3(50). – С. 332-337.
- Моделирование авиационного способа тушения лесных пожаров / Н.П. Копылов, А.Е. Кузнецов, Г.В. Кузнецов [и др.] // *Пожарная безопасность*. – 2019. – № 4(97). – С. 32-41.

Статья поступила в редакцию 14.11.2022

Статья принята к публикации 13.12.2022