

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

ПЛЮС



2023

№2(62) т.12





XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор
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 12 № 2 (62) 2023

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 20.06.2023.

Выход в свет 26.06.2023.

Формат 60X84 1/8

Печать ризография.

Усл. печ. л. 26,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 198.

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

ЦИФРОВОЙ МОДУЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ ЗАДАЧ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	
Мартышкин Алексей Иванович, Александров Владимир Сергеевич, Беляков Арсений Михайлович.....	10
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕНАЖЁРНЫХ СИСТЕМ	
Четвергова Мария Владимировна, Гудкова Екатерина Александровна, Крохин Игорь Алексеевич, Савочкин Александр Евгеньевич.....	20
ПРИМЕНЕНИЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ К ЗАДАЧАМ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОТОВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
Танклевский Леонид Тимофеевич, Зыбина Ольга Александровна, Таранцев Александр Алексеевич.....	26
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ КУМУЛЯТИВНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ	
Царева Софья Александровна, Гулин Владислав Михайлович, Морозов Егор Анатольевич.....	35
СТРУКТУРА БАЗ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ СИНТЕЗИРУЮЩИХ 3D-МОДЕЛЬ РАЙОНА ПОЛЁТОВ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА	
Роганов Владимир Робертович, Четвергова Мария Владимировна, Кувшинова Ольга Александровна, Шамсулдин Хайдар Абдулваххаб Хайдар.....	41
ПРАВИЛА РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЬНЫХ ТЕСТОВ	
Кокотов Дмитрий Валерьевич.....	48
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ С АРХИТЕКТУРОЙ <i>SKIP-GRAM</i>	
Милованов Антон Сергеевич, Карамышева Надежда Сергеевна.....	54
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЗНАНИЙ	
Шевелева Ольга Евгеньевна, Добрынин Владимир Николаевич, Гончарова Яна Александровна.....	60
ОСОБЕННОСТИ ОКРАШИВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ, СИНТЕЗИРУЕМЫХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ МЕТОДАМИ МАШИННОЙ ГРАФИКИ	
Роганов Владимир Робертович, Есимова Нурзипа Сапаровна, Кувшинова Ольга Александровна, Аль-Амиди Мустафа Абдулкадим Дхаир.....	68

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ КИНОА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНИЕМ МЯСНЫХ РУБЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ	
Бочкарева Зенфира Альбертовна, Пчелинцева Ольга Николаевна, Кудря Анна Николаевна.....	73
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАФАБЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДЕСЕРТОВ	
Клименко Андрей Андреевич, Барсукова Наталья Валерьевна, Фединишина Екатерина Юрьевна, Шамилов Шамиль Асхабович.....	79
СЫВОРОТОЧНЫЙ ЭКСТРАКТ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ <i>UNDARIA PINNATIFIDA</i> КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАПИТКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
Табакаева Оксана Вацлавовна, Валевиц Анастасия Леонидовна, Табакаев Антон Вадимович, Владыкина Татьяна Васильевна.....	85

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ Голуб Ольга Валентиновна, Паймулина Анастасия Валерияновна, Мотовилов Олег Константинович, Мазалевский Виктор Борисович, Нициевская Ксения Николаевна, Бородай Елена Валерьевна.....	91
ТЕХНОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАСПИЙСКИХ КИЛЕК И ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ИЗМЕНЕНИЕ Харченко Наталья Николаевна, Романенкова Елена Николаевна, Герлова Юлия Робертовна.....	98
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ СОРБЕТА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ДРОЖЖЕЙ <i>SACCHAROMYCES BOULARDII</i> Барботин Вадим Романович, Иванова Людмила Афанасьевна.....	105
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВНЕШНЕГО ВИДА ТВОРОГА, ПОЛУЧЕННОГО В УСТАНОВКЕ ИНДУКЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ Порохнов Андрей Николаевич, Руднев Павел Сергеевич, Николаева Елена Владимировна, Милентьева Ирина Сергеевна, Неверов Евгений Николаевич.....	112
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ Сарафанкина Елена Александровна, Мурашкина Оксана Александровна, Авроров Валерий Александрович.....	121
<i>ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА Войтенко Олег Викторович, Сай Василий Валерьевич, Елисеев Игорь Борисович, Шкитринов Михаил Евгеньевич.....	125
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СРЕДА» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА РУДООБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ Сомова Юлия Васильевна, Лимарев Александр Сергеевич, Макашова Вера Николаевна.....	133
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭВАКУАЦИИ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ Угарова Ирина Михайловна, Просин Максим Валерьевич, Турова Наталья Николаевна, Стабровская Елена Игоревна.....	143
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ НЕСНИЖАЕМОГО ЗАПАСА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ Сенченко Владимир Александрович, Каверзнева Татьяна Тимофеевна, Скрипник Игорь Леонидович, Савельев Дмитрий Вячеславович.....	149
ВЛИЯНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ИХ БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ Ефремов Игорь Владимирович, Баширов Вадим Депрович, Тимофеев Дмитрий Николаевич.....	155
ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЛОКОМОТИВНОМ ХОЗЯЙСТВЕ Нарусова Елена Юрьевна, Кольцова Екатерина Леонидовна, Кононова Ольга Владимировна, Стручалин Владимир Гайзович.....	163

АНАЛИЗ ОСТАТКОВ МАТЕРИАЛА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПОСЛЕ ТЕПЛОВОГО РАЗГОНА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА	
Мокряк Анна Васильевна, Парийская Анна Юрьевна.....	169
ВЛИЯНИЕ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ВЕТРОВ В РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ	
Холопцев Александр Вадимович, Шубкин Роман Геннадьевич, Проскова Наталья Юрьевна.....	174
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В 2022 ГОДУ	
Иванов Евгений Вячеславович, Рыбаков Анатолий Валерьевич, Баринов Михаил Фёдорович.....	186
ОЦЕНКА СОВОКУПНОГО ВЛИЯНИЯ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ	
Коршунов Геннадий Иванович, Никулин Андрей Николаевич, Красноухова Дарья Юрьевна.....	192
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ ТРУДА НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА	
Королева Анна Михайловна, Нарусова Елена Юрьевна, Шадьев Рустам Русланович, Кононова Ольга Владимировна.....	199
ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ	
Баширов Вадим Депрович, Тимофеев Дмитрий Николаевич, Дудоров Виктор Евгеньевич.....	206
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА	
Романов Александр Иванович, Бронникова Лилия Васильевна.....	213

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

DIGITAL TASK SYNCHRONIZATION MODULE BASED ON A PROGRAMMABLE LOGIC INTEGRATED CIRCUIT FOR A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM Martyshkin Alexey Ivanovich, Alexandrov Vladimir Sergeevich, Belyakov Arseny Mikhailovich.....	10
FEATURES OF 3D-IMAGE FORMATION FOR TRAINING SYSTEMS Chetvergova Maria Vladimirovna, Gudkova Ekaterina Aleksandrovna, Krokhin Igor Alekseevich, Savochkin Alexander Evgenievich.....	20
APPLICATION OF MARKOV CHAINS TO THE PROBLEMS OF MAINTAINING THE READINESS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS Tanklevsky Leonid Timofeevich, Zybina Olga Aleksandrovna, Tarantsev Alexander Alekseevich.....	26
PRODUCT QUALITY FORECASTING AND EVALUATION BASED ON CUMULATIVE CONTROL MAPS Tsareva Sofya Alexandrovna, Gulin Vladislav Mikhailovich, Morozov Egor Anatolyevich.....	35
DATABASE STRUCTURE OF COMPUTER IMAGE GENERATORS SYNTHESIZING 3D-MODEL OF AVIATION SIMULATOR FLIGHT AREA Roganov Vladimir Robertovich, Chetvergova Maria Vladimirovna, Kuvshinova Olga Alexandrovna, Shamsuldin Haidar Abdulvahhab Haidar.....	41
RULES FOR DEVELOPING EFFECTIVE UNIT TESTS Kokotov Dmitrii Valerievich.....	48
ANALYSIS OF METHODS FOR FORMING TRAINING FRAGMENTS FOR THE WORD2VEC NEURAL NETWORK MODEL WITH THE SKIP-GRAM ARCHITECTURE Milovanov Anton Sergeevich, Karamysheva Nadezhda Sergeevna.....	54
CONCEPTUAL MODEL FOR ASSESSING COMPETENCES AND KNOWLEDGE Sheveleva Olga Evgenievna, Dobrynin Vladimir Nikolaevich, Goncharova Yana Alexandrovna.....	60
PECULIARITIES OF COLORING 3D MODELS SYNTHETIZED IN REAL TIME BY METHODS OF COMPUTER GRAPHICS Roganov Vladimir Robertovich, Esimova Nurzipa Saparovna, Kuvshinova Olga Alexandrovna, Al-Ameedee Mustafa Abdulkadhim Dahir.....	68

FOOD TECHNOLOGY

THE USE OF QUINOA FLOUR FOR MAGNESIUM ENRICHMENT OF MINCED MEAT PRODUCTS Bochkareva Zenfira Albertovna, Pchelintseva Olga Nikolaevna, Kudrya Anna Nikolaevna.....	73
USE OF AQUAFABA IN THE PRODUCTION OF SPECIALIZED DESSERTS Klimenko Andrey Andreevich, Barsukova Natalia Valerievna, Fedinishina Ekaterina Yuryevna, Shamilov Shamil Askhabovich.....	79
WHEY EXTRACT OF BROWN ALGAE <i>UNDARIA PINNATIFIDA</i> AS A BASE FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL BEVERAGES Tabakaeva Oksana Vatslavovna, Valevich Anastasia Leonidovna, Tabakaev Anton Vadimovich, Vladykina Tatyana Vasilievna.....	85

INFLUENCE OF THE NATURE OF THE SOLVENT AND ULTRASONIC EXTRACTION ON THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF EXTRACTS FROM PEPPERMINT LEAVES Golub Olga Valentinovna, Paymulina Anastasia Valeriyannovna, Motovilov Oleg Konstantinovich, Mazalevskiy Viktor Borisovich, Nitsievskaya Ksenia Nikolaevna, Borodai Elena Valerievna.....	91
TECHNOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CASPIAN SPRAT AND FACTORS AFFECTING THEIR CHANGE Kharchenko Natalya Nikolaevna, Romanenkova Elena Nikolaevna, Gerlova Yuliya Robertovna.....	98
DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL PRODUCT BASED ON SORBET WITH THE ADDITION OF PROBIOTIC YEAST <i>SACCHAROMYCES BOULARDII</i> Barbotin Vadim Romanovich, Ivanova Lyudmila Afanasyevna.....	105
DEVELOPMENT OF COMPUTER VISION SYSTEM FOR ANALYSIS OF APPEARANCE OF CURD, PRODUCED BY INDUCTION TYPE FACILITY FOR FOOD RAW MATERIALS THERMAL PROCESSING Porokhnov Andrey Nikolaevich, Rudnev Pavel Sergeevich, Nikolaeva Elena Vladimirovna, Milentyeva Irina Sergeevna, Neverov Evgeniy Nikolaevich.....	112
EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS Sarafankina Elena Aleksandrovna, Murashkina Oxana Aleksandrovna, Avrorov Valery Aleksandrovich.....	121
<i>TECHNOSPHERE SAFETY</i>	
ENSURING FIRE SAFETY DURING THE OPERATION OF URBAN GROUND-BASED PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT Voitenok Oleg Viktorovich, Sai Vasily Valerievich, Eliseev Igor Borisovich, Shkitronov Mikhail Evgenievich.....	125
RESEARCH OF THE HUMAN FACTOR IN THE SYSTEM «HUMAN-TECHNICAL SYSTEM-PRODUCTION ENVIRONMENT» WITH THE PURPOSE OF INCREASING LABOR SAFETY AT THE ORE PRODUCTION FACTORY Somova Yuliya Vasilievna, Limarev Aleksandr Sergeevich, Makashova Vera Nikolaevna.....	133
TECHNICAL MEANS AND SOLUTIONS IN THE FIELD OF EVACUATION OF PERSONS WITH LIMITED HEALTH OPPORTUNITIES Ugarova Irina Mikhailovna, Prosin Maksim Valerievich, Turova Natalia Nikolaevna, Stabrovskaya Elena Igorevna.....	143
IMPROVING THE ASSESSMENT OF THE IRREDUCIBLE STOCK OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT Senchenko Vladimir Alexandrovich, Kaverzneva Tatyana Timofeevna, Skripnik Igor Leonidovich, Savelyev Dmitry Vyacheslavovich.....	149
INFLUENCE OF COMMISSIONING AND PERIODIC TESTS OF LOW-VOLTAGE ELECTRIC INSTALLATIONS OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS ON THEIR SAFE OPERATION Efremov Igor Vladimirovich, Bashirov Vadim Deprovich, Timofeev Dmitry Nikolaevich.....	155
FIRE SAFETY IN THE RAILWAY LOCOMOTIVE INDUSTRY Narusova Elena Yurievna, Koltsova Ekaterina Leonidovna, Kononova Olga Vladimirovna, Struchalin Vladimir Gaiozovich.....	163
ANALYSIS OF THE REMAINING MATERIAL OF LITHIUM-ION BATTERIES AFTER THERMAL RUNNING BY THE METHOD OF X-RAY PHASE ANALYSIS Mokryak Anna Vasievna, Pariyskaya Anna Iurevna.....	169

**IMPACT ON THE FIRE HAZARD OF CHANGES IN WIND REPEATMENT
IN THE AREAS OF THE ARCTIC ZONE OF SIBERIA**

Kholoptsev Alexander Vadimovich, Shubkin Roman Gennadievich, Proskova Natalya Yurievna.....174

**RESULTS OF THE ASSESSMENT OF THE STATE OF PROTECTION OF THE
POPULATION AND TERRITORIES FROM EMERGENCY SITUATIONS IN 2022**

Ivanov Evgeny Vyacheslavovich, Rybakov Anatoliy Valerievich, Barinov Mikhail Fedorovich.....186

**ASSESSMENT OF THE CUMULATIVE EFFECT OF HARMFUL PRODUCTION
FACTORS ON THE OCCUPATIONAL RISK OF INJURY TO EMPLOYEES**

Korshunov Gennadiy Ivanovich, Nikulin Andrey Nikolaevich, Krasnoukhova Darya Yurievna.....192

**OPTIMIZATION OF THE WORK OF THE OCCUPATIONAL PROTECTION
SERVICE BASED ON DOCUMENT MANAGEMENT AUTOMATION**

Koroleva Anna Mikhailovna, Narusova Elena Yurievna,
Schadyev Rustam Ruslanovich, Kononova Olga Vladimirovna.....199

**FEATURES OF SAFE OPERATION OF ELECTRICAL INSTALLATIONS
AT FACILITIES WITH A MASSIVE PRESENCE OF PEOPLE**

Bashirov Vadim Deprovich, Timofeev Dmitry Nikolaevich, Dudorov Viktor Evgenievich.....206

RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM TO ENSURE LABOR SAFETY

Romanov Aleksander Ivanovich, Bronnikova Liliya Vasilevna.....213

УДК 004.451

EDN: PHYZYZ

ЦИФРОВОЙ МОДУЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ ЗАДАЧ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© Авторы 2023

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)

ORCID: 0000-0002-1300-7901

АЛЕКСАНДРОВ Владимир Сергеевич, студент кафедры «Вычислительная техника»
Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: vsalexrus@gmail.com)

ORCID: 0009-0004-9639-5357

БЕЛЯКОВ Арсений Михайлович, студент кафедры «Вычислительная техника»
Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: ambelyakov@gmail.com)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с практической реализацией цифрового модуля синхронизации задач на базе программируемой логической интегральной схемы для реконфигурируемой вычислительной системы. Цель данной работы предложить работоспособный вариант и реализовать в виде опытного образца цифровой модуль синхронизации задач для реконфигурируемой вычислительной системы, состоящей из 8 процессоров. В процессе проектирования проанализированы возможные методы подключения цифрового модуля синхронизации задач к реконфигурируемой вычислительной системе и возможные варианты его построения. Рассмотрены два основных известных типа систем по характеру доступа к памяти: *UMA* системы, в которых каждое слово данных считывается с одинаковой скоростью и *NUMA* системы, в которых чтение из различных частей памяти происходит с разной скоростью. Обоснован выбор *UMA* системы. В результате проведенного исследования предложены структурная и функциональная схема системы с аппаратно реализованным цифровым модулем синхронизации задач, а также алгоритм его работы. Цифровой модуль синхронизации задач реализован в составе реконфигурируемой вычислительной системы на основе ПЛИС *Cyclone IV GX* фирмы *Altera*. Приведены временные диаграммы работы реконфигурируемой вычислительной системы с цифровым модулем синхронизации задач в режиме «Запись/Чтение идентификаторов процессов» и при заполнении последнего элемента очереди. Эффективность предложенного решения состоит в том, что при его использовании увеличивается надежность и производительность реконфигурируемой вычислительной системы с несколькими процессорами. В заключении сформулированы основные выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: алгоритм, очередь задач, память, программируемая логическая интегральная схема, процессор, реконфигурируемая вычислительная система, цифровой модуль синхронизации задач.

DIGITAL TASK SYNCHRONIZATION MODULE BASED ON A PROGRAMMABLE LOGIC INTEGRATED CIRCUIT FOR A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM

© The Authors 2023

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)

ALEXANDROV Vladimir Sergeevich, student of the Computer Engineering Department
Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: vsalexrus@gmail.com)

BELYAKOV Arseny Mikhailovich, student of the Computer Engineering Department
Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: ambelyakov@gmail.com)

Abstract. The paper considers issues related to practical implementation of digital task synchronization module based on programmable logic integrated circuit for reconfigurable computing system. The aim of this paper is to propose a workable design and implement a prototype digital task synchronization module for a reconfigurable computing sys-

tem consisting of 8 processors. In the process of the project we analyzed possible methods of connecting the digital synchronization module to the reconfigurable-computer system and possible variants of its construction. Two main known types of systems were considered according to the nature of memory access: UMA systems - in which each data word is read at the same rate and NUMA systems - in which reading from different parts of memory occurs at different rates. In this paper, the UMA system is chosen. As a result of this study, a structural and functional scheme of the system with a hardware-implemented digital task synchronization module, as well as its operating algorithm, is proposed. The digital task synchronisation module was implemented as part of a reconfigurable computing system based on a Cyclone IV GX FPGA from Altera. The timing diagrams of the reconfigurable supercomputer system with a digital task synchronisation module in the mode "Read/Write Process Identifiers" and at the filling of the last element in the queue are presented. The effectiveness of the suggested solution is explained by the fact that its usage increases reliability and performance of a reconfigurable computer system with several processors. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

Keywords: algorithm, task queue, memory, programmable logic integrated circuit, processor, reconfigurable computing system, digital task synchronization module.

Для цитирования: Мартышкин А.И. Цифровой модуль синхронизации задач на базе программируемой логической интегральной схемы для реконфигурируемой вычислительной системы / А.И. Мартышкин, В.С. Александров, А.М. Беляков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 10-19. – EDN: PNYZYZ.

Введение. В настоящее время компьютеры являются неотъемлемой частью жизни человека и находят применение в различных областях деятельности. Увеличение количества и разнообразия задач повысило требования к производительности ЭВМ, которая при решении конкретных задач зачастую ограничивается максимально возможной производительностью процессора (ЦП) [1]. Одним из решений данной проблемы является создание высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) [2-6]. Одной из основных проблем разработки РВС является снижение накладных расходов, которые, например, возникают при планировании процессов [7, 8]. Снизить данные ограничения призван специальный цифровой модуль синхронизации задач (ЦМСЗ), основанный на применении в своем составе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) типа вентиляционной матрицы, основными функциями которого является назначение задач по ЦП. При разработке такого устройства остро встает проблема выбора средств реализации данной функции: аппаратное или программное. Аппаратная реализация, конечно, увеличивает сложность системы в целом, однако приводит к существенному росту надежности и производительности системы. При этом возможны, по крайней мере, два варианта аппаратной реализации данного цифрового устройства: на базе микроконтроллера и на базе ПЛИС [9, 10]. При реализации цифрового модуля синхронизации задач на базе микроконтроллера, практически получается встроена дополнительная ЭВМ узкой специализации. Поэтому такой реализации ЦМСЗ будет свойствен основной недостаток микропроцессорного устройства – низкая производительность по сравнению с реализованными на жесткой логике устройствами. Исправлению этого недостатка способствует реализация устройства на базе ПЛИС, которые являются универсальными и гибкими инструментами для решения специализированных задач.

Схожими исследованиями занимаются ведущие Российские и зарубежные ученые, среди которых можно выделить Коваленко В.Б., Каляева И.А., Левина И.И., Алексеева К.Н. и других. В работе [11] предложен новый подход для ускорения процесса разработки прикладных программ для РВС, основанный на использовании разработанной ранее софт-архитектуры для решения нескольких задач обработки сигналов. Это значительно повышает эффективность процесса разработки, поскольку указанные задачи могут быть использованы повторно для других приложений. В статье [12] дается подробное описание структуры софт-архитектур, которые базируются на софт-процессорах и других динамически-перестраиваемых устройствах, в которых переконфигурация ПЛИС и создание новых вычислительных структур может быть выполнено лишь программной настройкой компонентов. В статье предлагаются инструменты для описания софт-архитектур, которые в отличие от известных языков программирования, сокращают время отладки прикладных программ для РВС в 2-3 раза. Работа [13] посвящена анализу существующих методов синтеза устройств, основанных на ПЛИС, а также анализу языков программирования РВС и возможности их применения при создании многокристалльных РВС. В этой статье также показано, что проблемно-ориентированные софт-архитектуры могут осуществлять перекоммутацию между модулями и устройствами, а также синтезировать требуемые структуры для решения задач без реконфигурации ПЛИС, что помогает сократить время, требуемое для отладки программ, и обеспечивает более эффективное использование вычислительных ресурсов. В статье [14] рассматриваются особенности реализации задачи поверхностного множественного программирования на высокопроизводительных РВС в режиме реального времени на основе SRMP-алгоритма. Задача относится к классу вычислительно-сложных тесно связанных задач, поэтому ее реализация в реальном времени тре-

бует многоканального нелинейного доступа к данным. Обеспечить такой доступ в компьютерных системах с традиционными типами архитектуры практически невозможно. В связи с этим для реализации задачи *SRMP* в режиме реального времени предложена методология, обеспечивающая синтез вычислительной структуры задачи в соответствии с временными ограничениями и требующая минимального аппаратного ресурса РВС.

Анализ научных публикаций в данной области показывает, что производительность РВС на основе стратегии разделения времени может снижаться по нескольким причинам. В частности, возникают конфликты за доступ к единственной очереди готовых к обслуживанию задач, поступающих от множества запрашивающих ЦП. Также наблюдаются временные задержки на переключение задач в ЦП и задержки, связанные с перезагрузкой кэш-памяти. РВС на основе стратегии разделения пространства также страдают от снижения производительности в связи с временными затратами на проведение балансировки загрузки ЦП. В реальных РВС в связи с ограниченностью системных ресурсов существуют предельные ограничения на число мест в очередях перед ЦМСЗ. Как правило, при создании математических моделей этот факт опускают, упрощая модель и сознательно внося некоторые допущения, получая не совсем правдоподобные, а порой даже ложные характеристики. Из анализа научных публикаций обнаружено, что существующие математические модели ВС не учитывают всех перечисленных факторов и свойств в полной мере, что приводит к весомому снижению точности математического моделирования. Выделение блока ЦМСЗ в самостоятельный узел и его аппаратная реализация на базе ПЛИС позволит существенно сократить затраты на проектирование ОС для РВС, повысить быстродействие подсистемы планирования, а также РВС в целом.

Цель данной работы – предложить вариант реализации ЦМСЗ на базе ПЛИС для РВС, состоящей из 8 ЦП.

Методология. В современном мире все большую популярность получают системы с распределенной вычислительной мощностью – РВС, состоящие из двух или более ЦП, которые имеют общий доступ к памяти. Существуют два основных типа систем по характеру доступа к памяти: *UMA* системы, в которых каждое слово данных считывается с одинаковой скоростью, и *NUMA* системы, в которых чтение из различных частей памяти происходит с разной скоростью [15]. Авторами выбрана *UMA* система, которую можно представить различными способами коммутации между устройствами: с общей шиной (ОШ) – на основе координатного коммутатора и на основе многоступенчатого коммутатора [16]. В контексте работы принято максимальное число ЦП в РВС, равное 8, и, как следствие, выбор РВС класса *UMA* с ОШ как менее сложную в реализации. Для эффективной организации работы ЦМСЗ в РВС необходима синхро-

низация между взаимодействующими процессами [7, 17]. В РВС с одним ЦП программная синхронизация процессов обычно осуществляется на уровне операционной системы (ОС) или пользователя, и ее влияние на производительность незначительно. Однако в многопроцессорных РВС (МРВС), необходимость в синхронизации процессов ведет к существенному увеличению временных затрат. В МРВС, где возможно выполнение параллельных потоков, время синхронизации ощутимо снижается. Это происходит благодаря тому, что синхронизация процессов является последовательной частью программы и, в соответствии с законом Амдала, может быть одним из факторов, снижающих производительность РВС [7, 18].

Далее рассматривается РВС, использующая метод разделения загрузки ЦМСЗ – простой и эффективный метод назначения задач для их выполнения на ЦП [19]. В системе управления задачами РВС организуется единая общая очередь задач (ООЗ), которая предназначена для совместного использования всеми ЦП системы. Существует множество методов назначения задач на ЦП, но ЦМСЗ с разделением загрузки является наиболее простым и эффективным из них. Его главное преимущество заключается в том, что он позволяет максимально эффективно использовать ресурсы ЦП. При использовании данного метода управления задачами в РВС, когда задача поступает в систему, она становится последней в ООЗ. Задачи, готовые к выполнению, находятся в начале очереди. По окончании текущей задачи ЦП обращается к ЦМСЗ, который выбирает из очереди следующую готовую задачу и запускает ее на выполнение. Данный метод позволяет эффективно распределять задачи между ЦП в МРВС и управлять ими с помощью глобальной очереди, что снижает вероятность блокировки процессов и увеличивает производительность РВС в целом. Это продолжается до тех пор, пока задача не будет завершена или заблокирована [19]. Таким образом, ЦМСЗ с разделением загрузки обеспечивает эффективное использование ресурсов ЦП и позволяет быстро и просто назначать задачи на выполнение. Этот метод является одним из наиболее распространенных в современных вычислительных системах. Такой метод управления задачами называется «очередной» и широко применяется в ОС для распределения процессорного времени между запущенными процессами. Однако существуют и другие методы управления задачами, например, «приоритетный» и «опережающий» [7]. В приоритетном методе каждой задаче присваивается приоритет, и ЦП выбирает для выполнения задачу с наивысшим приоритетом. В опережающем методе ЦП может прервать выполнение текущей задачи в любой момент, если в очереди появляется задача с более высоким приоритетом. Выбор метода управления задачами зависит от требований к производительности вычислительной системы (ВС), некоторые из которых могут использовать комбинацию разных методов управления задачами для достижения оптимальной производительности и эффективности.

Несмотря на то, что ЦМСЗ с разделением загрузки является простым и эффективным методом назначения задач на ЦП, он также имеет свои недостатки. Одним из них является то, что метод не учитывает приоритетность задач, что может привести к ситуации, когда задачи с низким приоритетом будут ожидать выполнения, в то время как задачи с более высоким приоритетом будут только лишь ожидать своей очереди на обслуживание. Кроме того, ЦМСЗ с разделением загрузки также не гарантирует равномерного распределения процессорного времени между задачами. Это может привести к ситуации, когда одна задача занимает процессорное время настолько долго, что другие задачи не могут получить необходимые ресурсы для своего выполнения. Для решения этих проблем были разработаны более сложные методы назначения задач на ЦП, такие как ЦМСЗ с приоритетами или ЦМСЗ с круговым буфером. Однако, ЦМСЗ с разделением загрузки остается популярным методом в системах с небольшими объемами задач и не требующими высокой степени приоритизации выполнения. Использование метода разделения загрузки является эффективным способом распределения равномерной нагрузки между ЦП, что помогает предотвратить простои ЦП при наличии готовых задач. Этот метод реализации ЦМСЗ также упрощает масштабирование РВС, позволяя легко добавлять дополнительные ЦП в систему и расширять глобальную очередь задач. Стоит отметить, что при использовании метода разделения загрузки необходимо учитывать, что в случае неравномерной загрузки ЦП возможно возникновение узких мест и задержек в выполнении задач. Для решения этой проблемы можно использовать методы динамического перераспределения задач между ЦП.

Таким образом, метод разделения загрузки является эффективным способом реализации ЦМСЗ в МРВС, позволяющим равномерно распределять нагрузку между ЦП и легко масштабировать систему. Однако, при его использовании необходимо учитывать возможность возникновения «узких мест» и использовать методы динамического перераспределения задач для решения этой проблемы [20]. При реализации такого алгоритма может потребоваться приоритетное выполнение задачи на каком-либо ЦП. Данная потребность может возникнуть в случае долгого выполнения задачи на одном и том же ЦП, и, как следствие, кэш данного ЦП будет занят блоками данной задачи. Если же данная задача будет запущена вновь или квант времени на её выполнение истечет, и она не будет завершена, то возможный запуск её на том же ЦП может увеличить скорость выполнения задачи, вследствие того, что кэш данного ЦП может все еще содержать некоторые блоки данной задачи. Повышение производительности при этом обуславливается тем, что наличие блоков задачи в кэш увеличит частоту кэш-попаданий и, как следствие, увеличит скорость выполнения задачи.

С учётом данных соображений выбирается способ диспетчеризации на основе двухуровневого алгорит-

ма планирования, который состоит из верхнего и нижнего уровней. На верхнем уровне каждой вновь поступившей задаче присваивается номер ЦП, на котором она будет выполняться, в результате чего каждый ЦП получает свой набор задач. На нижнем уровне максимизируется родственность кэш за счет удерживания задачи на одном и том же ЦП, которое осуществляется при помощи приоритетов или других средств. Однако если какой-то ЦП простаивает, а ЦП, для которого назначена данная задача, занят, то эта задача снимается из очереди данного ЦП и передается в свободный ЦП. Традиционно, ЦМСЗ в системах симметричной многопроцессорности вызывается из программного обеспечения, которое хранится в общей памяти (ОП) ОС. Для реализации этой функции доступны два варианта: программная реализация в пользовательском пространстве и реализация в пространстве ядра [7, 8]. Реализация в пользовательском пространстве может быть быстрой, но вызывает проблемы с синхронизацией, так как требует трех семафоров для выполнения процедуры диспетчеризации. Один семафор служит для подсчета количества задач, которые занимают ресурсы, другой – для подсчета занятых ЦП, а третий – мьютекс – используется для обеспечения взаимного исключения. Этих проблем можно избежать, реализуя процедуры в пространстве ядра, но это сопровождается заметным ростом временных затрат, что отрицательно влияет на производительность системы. Однако, существует возможность для сокращения временных затрат, которые возникают при синхронизации в пространстве ядра и аппаратной [21-23] реализации этих функций. В результате это снижает временные потери и увеличивает надежность ОС.

В настоящем исследовании ставится задача реализации ЦМСЗ на базе ПЛИС для РВС, состоящей из 8 ЦП. В отличие от традиционного программного подхода, предлагается реализовать ЦМСЗ в виде независимого аппаратного устройства, что должно обеспечить более эффективную диспетчеризацию задач, а также увеличить надежность РВС в целом. Алгоритм работы ЦМСЗ в общем случае предполагает взаимодействие между подлежащими выполнению задачами и ЦП, которые их обслуживают. Для корректного выполнения этих действий необходимо их синхронизировать. В таком случае j -ый ЦП будет ожидать появления i -ой задачи, в то время как i -ая задача будет ждать освобождения одного из ЦП, чтобы быть обслуженной в течение определенного времени. При работе с системой, где несколько ЦП могут освободиться одновременно, возникает проблема конфликта при обращении к ООЗ. Для ее решения могут быть применены два метода: приоритеты поступающих задач и метод взаимного исключения. Приоритеты задач помогают определить, какие задачи должны быть выполнены первыми, а какие могут подождать. Метод взаимного исключения гарантирует, что только один ЦП будет иметь доступ к ООЗ в определенный момент времени, что предотвращает конфликт и позволяет системе работать более эффективно.

Были изучены различные варианты ЦМСЗ для МРВС. Вместо ООЗ, ЦМСЗ с распределенной очередью задач использует несколько локальных очередей задач, принадлежащих каждому ЦП. Это позволяет избежать конфликтов при доступе к ООЗ и распределять задачи между ЦП более эффективно. Однако необходимо учитывать синхронизацию между ЦП и корректность выполнения задач в соответствии с приоритетами. Были рассмотрены различные алгоритмы распределения задач между локальными очередями, в частности, на основе уровней приоритетов и динамической балансировки нагрузки между ЦП.

При использовании ЦМСЗ с распределенной очередью задач каждый ЦП имеет собственную очередь, из которой ЦМСЗ выбирает задачу и отправляет ее на выполнение в соответствующий ЦП без использования дополнительных средств [7]. Такой подход позволяет существенно уменьшить время обработки задач, что положительно сказывается на быстродействии РВС. Основным недостатком данной схемы является необходимость балансировки нагрузки на ЦП еще перед тем, как задача поступила в очередь к нужному ЦП. Данное условие может несколько снизить производительность РВС в целом. И, кроме того, появляется необходимость создания дополнительного устройства – балансировщика, необходимого для распределения задач между ЦП. Простейший алгоритм баланси-

ровки заключается в поддержании списка задач для каждого ЦП. Наличие подобной структуры данных балансировки, используемой всеми ЦП, обеспечивает ЦП режим работы разделения времени подобно тому, что реализуется на однопроцессорной ВС. То есть при подобной реализации системы исключаются ситуации, при которых ЦП будут простаивать. Но при этом возрастают накладные расходы на переключение контекстов и время назначения ЦП вновь поступившей задачи. Кроме того, при данной реализации ЦМСЗ приоритетное выполнение задач на определенном ЦП может быть осложнено балансировщиком. При этом повышения производительности от выполнения задачи на определенном ЦП может и не быть ввиду того, что задаче придется пройти очередь к данному ЦП, что снижает возможность нахождения блоков задачи в кэш и, следовательно, уменьшает возможность кэш попаданий.

Результаты. При разработке структурных схем устройств, в том числе и РВС, критически важно выбрать оптимальный ее состав на ранней стадии выполнения проекта. На рисунке 1 предлагается структура, включающая четыре базовых блока: ЦМСЗ, ОП, модуль контроля и восемь одинаковых ЦП. Эта схема может быть использована для обеспечения эффективного распределения нагрузки и улучшения производительности системы.

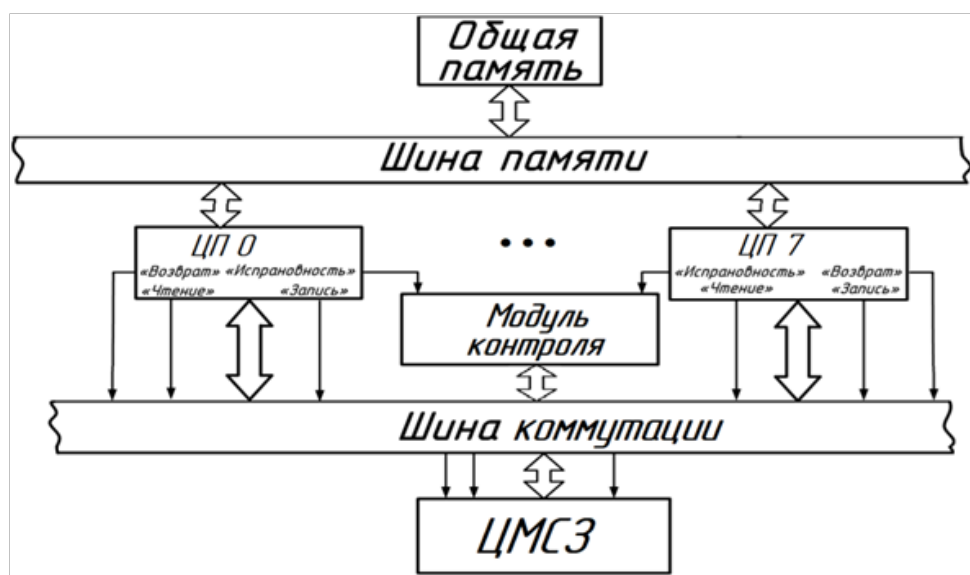


Рисунок 1 – Структурная схема РВС с аппаратным ЦМСЗ

Рассмотрим состав и взаимодействие этих блоков друг с другом.

Каждый ЦП выполняет функции обработки задач, включая формирование сигналов признаков чтения для ЦМСЗ, выполнение поступивших задач и формирование сигнала «Возврат» в случае невыполнения задачи. Кроме того, каждый ЦП подает сигналы ЦМСЗ на чтение. Модуль контроля необходим на случай выхода из строя одного или более ЦП. Он выполняет следующие функции: прием адресов ЦП и запись в специальные регистры;

прием от ЦП сигналов «Исправность» и запись их в специальные регистры в соответствии с адресом ЦП; прием задач и адресов ЦП от ЦМСЗ; отправка адреса задачи полученной задачи в ЦМСЗ при отсутствии сигнала «Исправность» от ЦП, по адресу которого была отправлена задача. ОП требуется для сохранения результатов вычислений и выполняет следующие функции: принимает и сохраняет данные, полученные от ЦП; передает адреса задач в ЦМСЗ; передает данные в ЦП.

В рамках разработки устройства был создан

блок аппаратного ЦМСЗ, который отправляет задачу на выполнение по признаку чтения от ЦП. Он состоит из: реверсивного счетчика и дешифратора для формирования номера ЦП; четырех мультиплексов для возможности повторного присвоения номе-

ра ЦП невыполненной задаче; входного буферного регистра; 256 регистров очереди; выходного буферного регистра; дешифратора для выбора ЦП в соответствии с присвоенным номером; 8 буферных регистров ЦП (рис. 2).

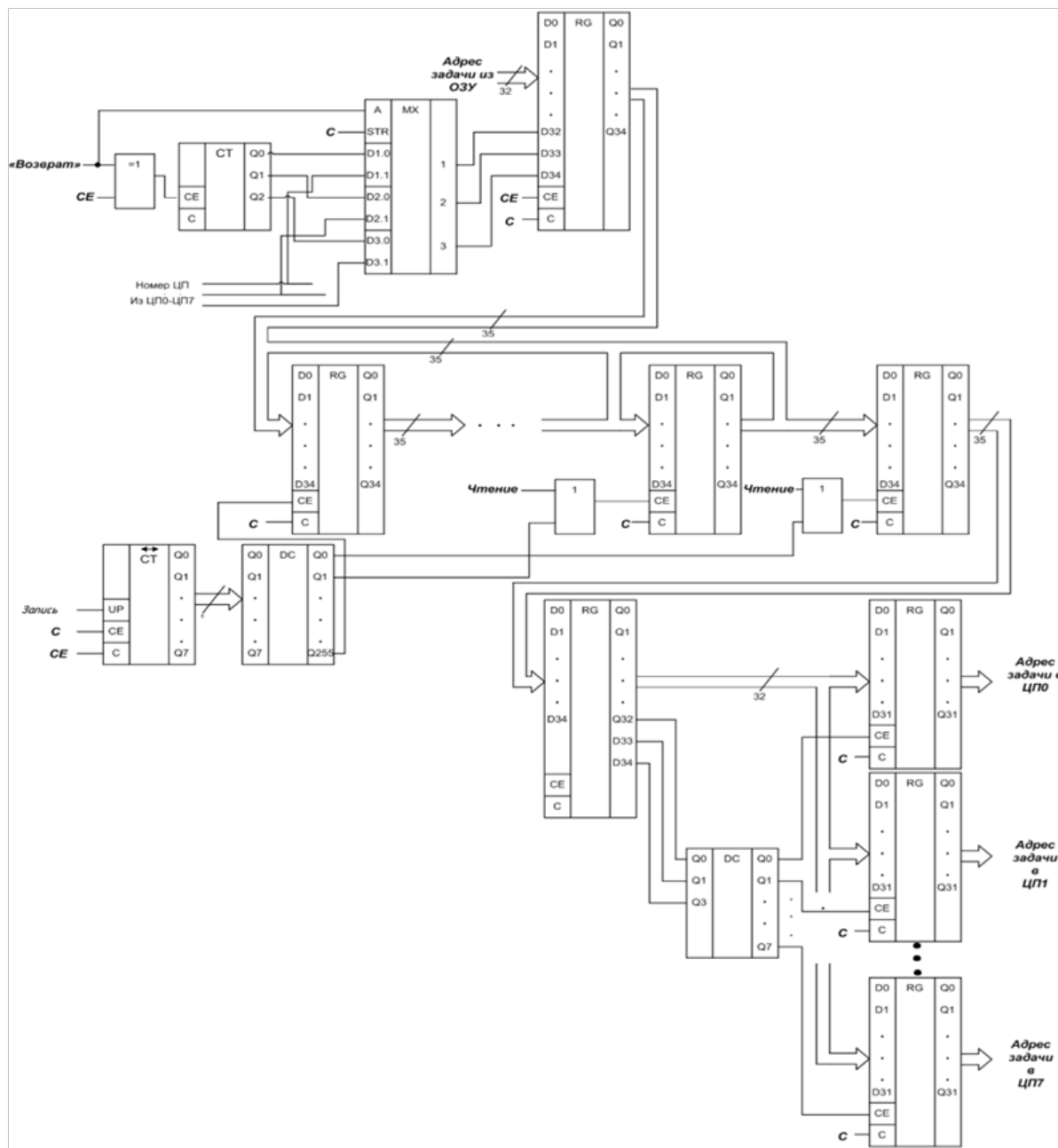


Рисунок 2 – Функциональная схема ЦМСЗ в PBC

ЦМСЗ осуществляет выполнение следующих функций: запись адресов процессов при признаке записи; добавление адреса в конец очереди поступивших задач; назначение номера ЦП адресу задачи; чтение адресов ЦП при признаке чтения; отправка адреса из главного списка на выполнение.

Определим основные функциональные блоки, являющиеся частью ЦМСЗ:

– счетчик, способный работать как на прибавление, так и на вычитание;

- схема управления таким счетчиком;
- блок дешифратора.
- схема присвоения номера ЦП адресу задачи;
- схема возврата невыполненной задачи в тот ЦП, в котором она выполнялась ранее;
- входной буферный регистр;
- 256 регистров очереди;
- выходной регистровый буфер;
- схема распределения адресов задач в соответствии с присвоенным номером ЦП

– 8 буферных регистров ЦП.

Схема ЦМСЗ реализует следующий алгоритм работы. В случае пустых регистров очереди адрес задачи поступает на входной буферный регистр. Схема присваивания номера ЦП добавляет три старших бита во входной буферный регистр. С помощью дешифратора реверсивный счетчик определяет адрес последнего доступного регистра в очереди. Дешифратор позволяет записывать на этот адрес только в том случае, если в данный момент не происходит чтение. Стоит отметить, что в этой схеме чтение имеет приоритет над записью. Система управления реверсивным счетчиком обеспечивает контроль над количеством состояний, которые может принимать счетчик, и не допускает его превышения.

При поступлении адреса задачи в выходной буферный регистр 3 старшие бита ($Q_{34} - Q_{32}$) дешифруются и в соответствии с полученным значением выбирается буферный регистр одного из ЦП. Схема возврата невыполненной задачи действует следующим образом. При не завершении кванта времени, выделенного на выполнение задачи и не завершении ее выполнения, ЦП генерирует сигнал «Возврат», а затем выставляет на шину присвоенный ему номер. Одновременно с этим адрес невыполненной задачи поступает на входной буферный регистр ЦМСЗ. Сигнал «Возврат», поступивший в ЦМСЗ, отключает схему присвоения задаче номера ЦП и в старшие биты регистра ($Q_{34} - Q_{32}$) записывается значение номера ЦП с шины. В устройстве реализована подсистема выделения циклических приоритетов, заключающаяся в том, что каждой из поступивших задач присваивается идентификатор ЦП, на котором она выполнится. При таком подходе возможна ситуация, когда задача должна быть передана занятому ЦП, и она ожидает его освобождения, тем самым, не давая другим задачам обратиться и быть обслуженными «своим» ЦП.

Для устранения такой ситуации в схему были внесены специальные буферные регистры ЦП. Это дает возможность выделения статических приоритетов, которые позволяют управлять порядком обработки задач в системе. Для этого используется алгоритм захвата шины, который позволяет ЦП отправлять запрос на захват шины в регистр запросов.

В системе присутствует 4-разрядный двоичный счетчик, который отслеживает освобождение шины. При каждом сигнале освобождения шины происходит увеличение содержимого счетчика на 1, после чего полученные 4-разрядные слова передаются на входы дешифратора «4→16». С каждым тактом возбуждается один из выходов дешифратора, который разрешает работу ЦП с ОШ в текущем цикле. В результате приведенная схема позволяет эффективно управлять обработкой задач в системе и улучшить ее производительность. Такой алгоритм захвата шины позволяет эффективно управлять доступом ЦП к ОШ. При этом если ЦП с более высоким приоритетом высылает запрос на захват шины, то он будет обработан раньше запросов от ЦП с более низким приоритетом.

Кроме прочего в данной схеме предусмотрена возможность динамического изменения приоритетов задач. Это достигается путем выделения на выполнение каждой задачи определенного времени. Если задача не успевает выполниться за отведенное время, ей автоматически присваивается более низкий приоритет, и она помещается в конец очереди.

Таким образом, использование данной схемы позволяет эффективно распределять задачи между несколькими ЦП, учитывая их статические и динамические приоритеты. Это особенно важно в системах, где несколько задач должны выполняться одновременно, и требуют доступа к совместно используемым ресурсам, таким как ОШ. Алгоритм работы системы приведен на рисунке 3.

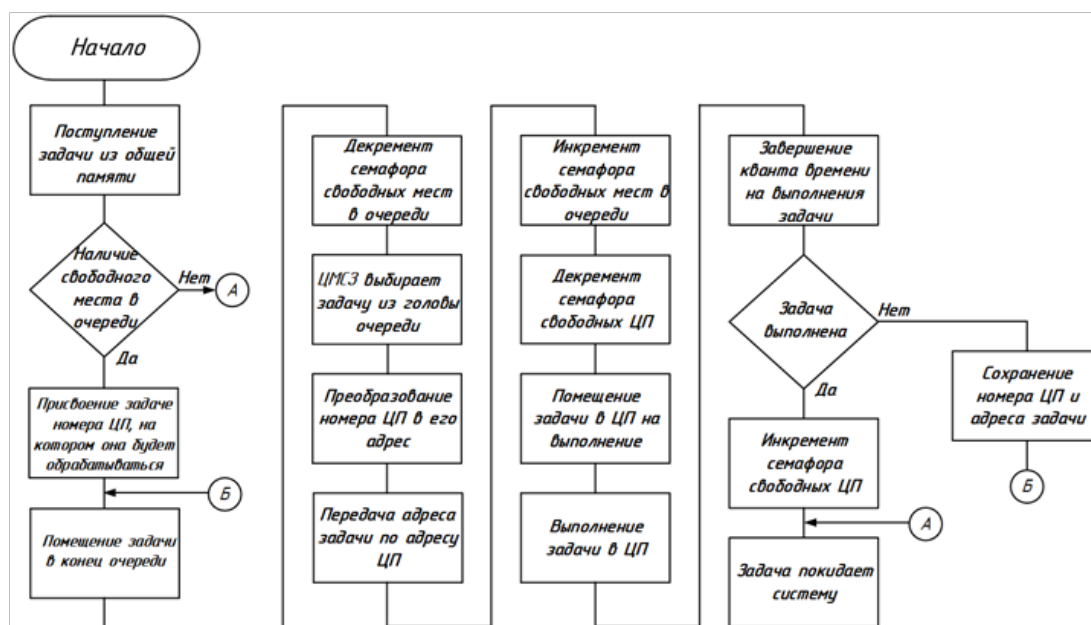


Рисунок 3 – Алгоритм работы аппаратного ЦМСЗ в РВС

После построения схемы ЦМСЗ в РВС на функциональном уровне проведено ее моделирование. Полученные временные диаграммы работы РВС в режиме «Запись/Чтение идентификаторов процессов» показаны на рисунке 4. Рисунок 5 иллюстрирует процесс заполнения последнего элемента очереди.

Для работы ЦМСЗ используются различные сигналы, включая *C* и *CE*, по которым вырабатывается серия синхроимпульсов, как показано на рисунке 4. Сигнал *RESET* активируется с помощью «1». Когда поступает сигнал *WRITE*, реверсивный счетчик изменяет свое значение по фронту сигнала *C*, повышая его на единицу. Для этого необходимо наличие логической единицы сигнала *CE*. Идентификаторы задач записываются по указанному дешифратором адресу в входной регистр (сигналы *D0 – D31*). Например, значения чисел от 1 до 8 могут быть поданы на входы буферного регистра *IADR* [31:0] и записаны в соответствующие регистры очереди от 0 до 7. Значения идентификаторов задач передаются на выходы буферного регистра *IN* [31:0], которые затем используются в модулях элементов «И» и «ИЛИ», которые активизиру-

ют запись в регистры очереди при появлении сигнала *UP* или сдвига при наличии сигнала *DOWN*.

При получении сигнала *READ* происходит циклический сдвиг регистров очереди, в каждом такте реверсивный счетчик декрементируется. После каждого сдвига значение регистра очереди 0 переносится в выходной регистр. На выходах регистра *OADR* [31:0] последовательно появляются слова, которые ранее были записаны в регистры очереди в соответствии с их адресами. При достижении последним занесенным регистры очереди числом значения содержимого реверсивного счетчика выходной буферный регистр сбрасывается в 0, а схема управления счетчиком прекращает его работу.

Когда очередь заполняется и достигается последний элемент, то на схему управления счетчиком и вентиль И, который управляет дешифратором, поступает сигнал *STOPUP*, который имеет активный низкий уровень, блокирующий работу дешифратора и предотвращающий риск превышения реверсивным счетчиком заданного количества состояний. Рисунок 5 иллюстрирует этот процесс.

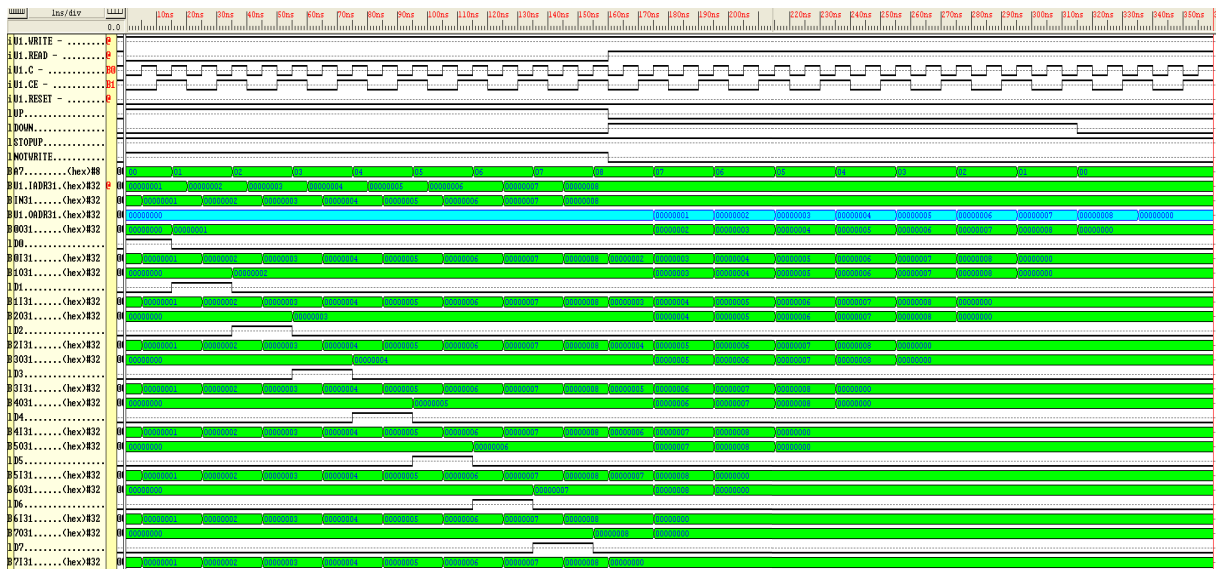


Рисунок 4 – Временные диаграммы работы ЦМСЗ в режиме «Запись/Чтение идентификаторов процессов»

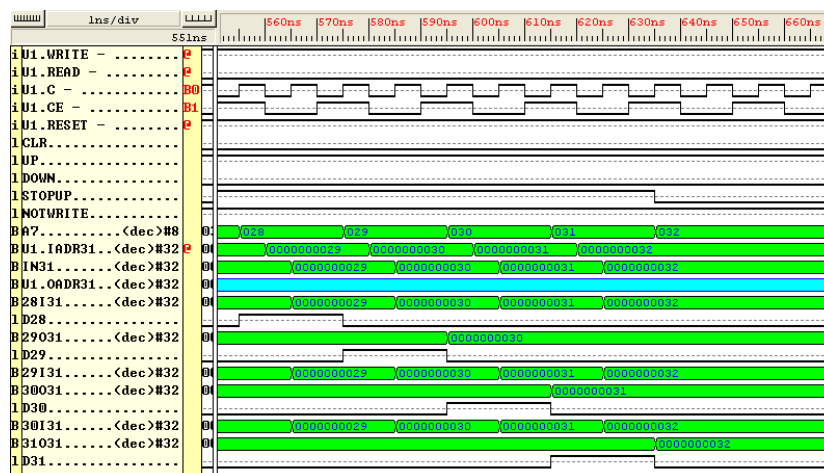


Рисунок 5 – Заполнение последнего элемента очереди

В рамках данного исследования в качестве основной элементной базы для проектирования устройства использована ПЛИС одного из двух типов: *FPGA* и *CPLD* [24], среди которых в свою очередь выделяют 3 класса по области применения: высокопроизводительные (*Xilinx Virtex*, *Altera Stratix*), среднеценовые (*Xilinx Kintex*, *Altera Arria*) и массовые (*Xilinx Spartan*, *Altera Cyclone*). Из всех возможных классов выбирается массовый класс ввиду того, что ПЛИС высокопроизводительного и среднеценового класса, многократно увеличивая сложность проектирования и конечную цену устройства, обладают неприменимым в данном случае функционалом (большое количество контроллеров внешней памяти и т.д.). Исходя из вышеперечисленного, выбирается семейство ПЛИС *Cyclone IV GX* производства фирмы *Altera*, поскольку аналогичные устройства от *Xilinx* имеют повышенное энергопотребление и стоят дороже.

Семейство *Cyclone IV GX* – четвертое поколение кристаллов ПЛИС от фирмы *Altera*, предназначенных для использования в массовых системах передачи информации [25]. При включении питания конфигурация кристалла *Cyclone IV* автоматически или принудительно загружается из внешнего ПЗУ в ПЛИС. Новое поколение массовых *FPGA* данной фирмы

обеспечивает более высокую производительность по сравнению с предыдущими версиями. Рассмотрена возможность использования проектов на системных частотах до 500 МГц и внутрикристалльных частотах, превышающих 500 МГц. Стоит отметить, что производительность может сильно варьироваться в зависимости от конкретного проекта и используемого кристалла. *Cyclone IV* модели *EP4CGX150CF23C7* имеет ту же структуру, что и все предыдущие устройств серии *Cyclone*, состоящую из логических элементов на основе 4-входовых таблиц преобразования *LUT*, блочной памяти и перемножителей. Для конфигурирования микросхемы ПЛИС в данной разработке использовано перепрограммируемое ПЗУ *EPCS16S18N* производства той же компании *Altera*, объем которого соответствует объему теневого ОЗУ ПЛИС. Поскольку для питания внутренней логики ПЛИС серии *Cyclone IV* требуется питание 1,2 В, в то время как блоки ввода-вывода и внешней синхронизации питаются напряжением 2,5 В, то в данной разработке стабилизаторы напряжения *V7PB-15E* производства фирмы *BEL POWER PRODUCTS*, преобразующие напряжение (4,5 ... 13,2) В в напряжение 1,2 В (*V7PB-15E12L*) и 2,5 В (*V7PB-15E25L*). На рисунке 6 представлен лабораторный образец платы РВС с аппаратным ЦМСЗ.

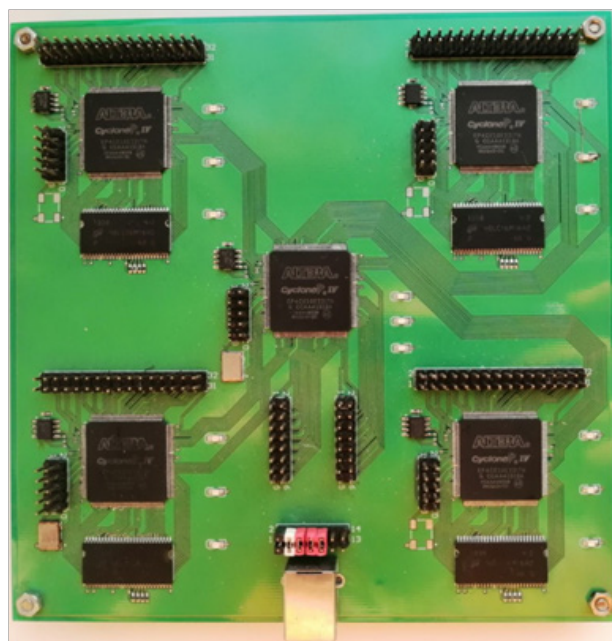


Рисунок 6 – Макет платы РВС с аппаратным ЦМСЗ

Обсуждение результатов. Разработана ЦМСЗ на базе ПЛИС для РВС, обеспечившая сокращение времени, затрачиваемого ОС на назначение задач по ЦП и на переключение задач по завершении кванта или завершении операции ввода-вывода. Предложен выполненный на ПЛИС ЦМСЗ, дающий возможность повысить производительность ОС для РВС. Произведена отладка устройства ЦМСЗ на восемь ЦП. Полученные результаты могут быть использованы в специализированных РВС, в том числе реального времени, в системах на кристалле, в

многоядерных процессорах.

Выводы. В процессе проведения исследования разработан цифровой модуль синхронизации задач на базе ПЛИС, представляющий собой аппаратную версию ЦМСЗ в виде отдельной платы для РВС. Связь ЦМСЗ с ЦП осуществляется через шину *Avalon*. Областью предложенного аппаратного ЦМСЗ на базе ПЛИС *Cyclone IV EP4CGX150CF23C7* являются РВС, имеющие в своем составе 8 ЦП. В дальнейшем планируется провести экспериментальные исследования, направленные на выявление опти-

мального режима работы РВС с аппаратным ЦМСЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. 3-е изд. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2014. – 688 с.
2. Гузик В.Ф., Каляев И.А., Левин И.И. Реконфигурируемые вычислительные системы. Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. – 472 с.
3. Румянцев А. С. Организация и инструментальные средства реконфигурируемых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 4. – С. 79-84.
4. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Реконфигурируемый вычислительный кластер для цифровой обработки сигнала // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией И.И. Сальникова. – 2015. – С. 112-117.
5. Малолетков В.А. Реконфигурируемый модуль на базе ПЛИС с интерфейсом PCI-Express // Современные информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 168-170.
6. Мартышкин А.И., Мартенс-Атюшев Д.С. Обзор современных отечественных реконфигурируемых вычислительных систем // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей XV Всероссийской научно-технической конференции, 2017. – С. 65-69.
7. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. – СПб.: Питер, 2015. – 1120 с.
8. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Сетевые операционные системы. Учебник: Питер, 2009. – 669 с.
9. Левин И.И., Дордопуло А.И., Каляев И.А., Гудков В.А. Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы на основе ПЛИС VIRTEX-7 // Параллельные вычислительные технологии (ПАВТ'2014): труды Международной научной конференции, 2014. – С. 131-139.
10. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. СПб.: Питер, 2013. – 816 с.
11. Семерников Е.А., Коваленко В.Б., Кочерга М.С., Михайлов Д.В. Управление вычислительными процессами в софт-архитектуре для цифровой обработки радиолокационных сигналов // Десятая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2017): материалы 10-й Всероссийской мультиконференции: в 3 томах. Ответственный редактор И.А. Каляев, 2017. – С. 151-153.
12. Гудков В.А., Гуленок А.А., Коваленко В.Б., Дордопуло А.И. Объекты в иерархии софт-архитектур реконфигурируемых вычислительных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 12 (161). С. 120-128.
13. Левин И.И., Дордопуло А.И., Коваленко В.Б., Гудков В.А., Гуленок А.А. Средства программирования реконфигурируемых вычислительных систем на основе ПЛИС Virtex-7 с использованием софт-архитектур // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2015. – Т. 4. – № 2. – С. 20-32.
14. Sorokin D.A., Matrosov A.Y., Semernikova E.E., Alekseyev K.N. Real-time Implementation of The Problem of Surface-Related Multiple Prediction on RCS // Короткие статьи и описания плакатов XIII Международной научной конференции, 2019. – С. 91-98.
15. Беседин Д. Non-Uniform Memory Architecture (NUMA). Часть 2: исследование подсистемы памяти четырехпроцессорных платформ AMD Opteron с помощью RightMark Memory Analyzer. 2006. URL: <http://www.ixbt.com/cpu/tmma-numa2.shtml> (Дата обращения: 01.04.2023)
16. Jozwiak L., Nedjah N., Figueroa M. Modern development methods and tools for embedded reconfigurable systems: A survey // Integration, the VLSI J. – 2010. – Vol. 43. – №1. – PP. 1-33.
17. Мартышкин А.И. Основные направления и пути развития современных встраиваемых операционных систем // Современные информационные технологии. – 2018. – № 27. – С. 63-69.
18. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного параллельного и распределённого программирования: пер. с англ. – М.:

Вильямс, 2003. – 512 с.

19. Мартышкин А.И. Разработка и анализ математической модели диспетчера задач реконфигурируемой вычислительной системы // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 3. – С. 73-79.
20. Платунов А. Е. Встраиваемые системы управления // Control Engineering Россия. – 2013. – Т. 43. – № 1. – С. 16-24.
21. Гордеев Е.М., Данилов Е.А. Реализация встроенной вычислительной системы на базе готовых коммерческих программно-аппаратных средств для обнаружения нарушителя на основе ультразвукового излучения // Современные информационные технологии. – 2021. – № 33 (33). – С. 44-50.
22. Мартышкин А.И. Аппаратная реализация алгоритмов планирования и диспетчеризации задач многопроцессорной реконфигурируемой вычислительной системы // Современные информационные технологии. – 2019. – № 29 (29). – С. 23-28.
23. Мартышкин А.И. Обзор и развитие встраиваемых систем // Современные информационные технологии. – 2022. – № 36 (36). – С. 6-8.
24. Мартышкин А.И., Мартенс-Атюшев Д.С., Маркин Е.И. К вопросу построения реконфигурируемой вычислительной системы на базе ПЛИС для цифровой обработки сигнала // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2017. – № 4. – С. 433-439.
25. Мартышкин А.И., Мартенс-Атюшев Д.С. Исследование узлов реконфигурируемой вычислительной системы аппаратными средствами // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей XVI Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией И.И. Сальникова, 2018. – С. 91-95.

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

Статья поступила в редакцию 03.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 004.89:004.93

EDN: MZAONH

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕНАЖЁРНЫХ СИСТЕМ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 4859-4252

AuthorID: 719959

ORCID: 0000-0003-2868-3483

ResearcherID: ADS-9870-2022

ScopusID: 57658279900

ЧЕТВЕРГОВА Мария Владимировна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и системы»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: marysha85@inbox.ru)

SPIN: 5378-0207

AuthorID: 644194

ГУДКОВА Екатерина Александровна, преподаватель кафедры «Информационные технологии и системы»

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 9667-0622

AuthorID: 1143900

КРОХИН Игорь Алексеевич, инженер 1 категории

Акционерное общество «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт»

(440026, Россия, 440000, г. Пенза, ул. Советская, д. 9, e-mail: kr.ig.sv08@gmail.com)

SPIN: 6992-6952

AuthorID: 646546

ResearcherID: ABB-3895-2022

ScopusID: 57204971370

САВОЧКИН Александр Евгеньевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Прикладная информатика»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: mix1959@gmail.com)

Аннотация. Совершенствование телевизионных экранной проводимых по двум направлениям – появление большеэкранных систем и экранов с высокой чёткостью изображения поставило вопрос – что считать за синтезированную на экране визуально наблюдаемую 3D-модель реального 3D-объекта. Данная задача актуальна для различных тренажёрных систем: авиационные тренажёры, автотренажёры, тренажёры машинистов поездов, судоводителей. Во всех перечисленных тренажёрах для человека синтезируется визуально наблюдаемая 3D-модель, которая должна восприниматься человеком как реальный 3D-объект. Это означает, что во время тренировок на тренажёрах человек должен видеть не просто «неплоское» изображение, а изображение 3D-объекта с обязательной тренировкой глазомера. Это достигается за счёт нескольких факторов: во первых компьютерный генератор изображения должен синтезировать в режиме реального времени видеоряд из центральных 2D-проекций 3D-моделей попавших в виртуальную камеру наблюдения перемещающуюся вместе с наблюдателем в виртуальном пространстве; во вторых должна использоваться оптическая система с специально подобранными характеристиками, которая должна активизировать заданные составляющие подготовленного человека, заставляющие его считать, что он видит 3D-объект и при этом профессионально тренирует свой глазомер; в третьих вся система погружения человека в 3D-пространство рассчитана на подготовленного человека (или человека зрительный аппарат которого прошёл обучение видеть 3D-моделей в то время как он рассматривает видеоряд из 2D-проекций моделей едшего 3D-моделей). В статье проведён анализ 3D-индикаторов которые можно использовать для обучения человека ориентироваться в визуально наблюдаемой 3D-модели окружающего пространства.

Ключевые слова: визуально наблюдаемая 3D-модель, машинная графика, 3D-индикатор составляющие когнитивной модели подготовленного человека, отвечающие за зрительное восприятие человеком окружающего 3D-пространства, 2D-проекция 3D-моделей, 2D-изображение (плоское изображение на экране), неплоское изображение на экране.

FEATURES OF 3D-IMAGE FORMATION FOR TRAINING SYSTEMS

© Authors 2023

CHETVERGOVA Maria Vladimirovna, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Information Technologies

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: marysha85@inbox.ru)
GUDKOVA Ekaterina Aleksandrovna, lecturer of the department "Information technologies and systems"
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: gudkova-penza@yandex.ru)

KROKHIN Igor Alekseevich, engineer of the 1st category JSC PNIEI
Joint Stock Company "Penza Research Electrotechnical Institute"
(440026, Russia, Penza, Sovetskaya st., 9, e-mail: kr.ig.sv08@gmail.com)

SAVOCHKIN Alexander Evgenievich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Applied Informatics
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: mix1959@gmail.com)

Abstract. The improvement of television screens carried out in two directions - the emergence of large-screen systems and screens with high image definition, I will raise the question - what should be considered as a visually observed 3D-model of a real 3D-object synthesized on the screen. This task is relevant for various simulator systems: aviation simulators, auto-simulators, simulators for train drivers, navigators. In all of the listed simulators for a person, a visually observable 3D-model is synthesized, which should be perceived by a person as a real 3D-object. This means that during training on simulators, a person should see not just a "non-flat" image, but an image of a 3D-object with obligatory training of the eye. This is achieved due to several factors: firstly, a computer image generator must synthesize in real time a video sequence from the central 2D-projections of 3D-models that have fallen into a virtual surveillance camera moving along with the observer in virtual space; secondly, it should use an optical system with specially selected characteristics, which should activate the given components of a trained person, forcing him to believe that he sees a 3D-object and at the same time professionally trains his eye; thirdly, the entire system of immersing a person in 3D-space is designed for a trained person (or a person whose visual apparatus has been trained to see 3D-models while he is viewing a video sequence from 2D-projections of models of the 3D-models). The article analyzes 3D-indicators that can be used to teach a person to navigate in a visually observed 3D-model of the surrounding space.

Keywords: visually observable 3D-model, computer graphics, 3D-indicator components of the cognitive model of a trained person responsible for the visual perception of the surrounding 3D-space by a person, 2D-projections of 3D-models, 2D-image (flat screen image), non-flat screen image.

Для цитирования: Четвергова М.В. Особенности формирования 3D-изображения для тренажёрных систем / М.В. Четвергова, Е.А. Гудкова, И.А. Крохин, А.Е. Савочкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 20-25. – EDN: MZAOHJ.

Введение. Современные возможности телевизионных экранов стандарта *HD (High Definition)* с разрешением 1280x720 пикселей отличаются от телевизионных экранов первого телевизионного стандарта (с разрешением 640x480 пикселей с чересстрочной или с прогрессивной развёрткой) [1]. Эти индикаторы являются частью 3D-индикаторов которые в свою очередь являются частью имитаторов визуальной обстановки погружающих человека в виртуальное визуально наблюдаемую 3D-модель окружающего пространства [2] вокруг кабины тренажёрного комплекса [3]. Использование 3D-индикаторов с экранами первого телевизионного стандарта уже позволили разработать авиационные тренажёры [4] обучающие лётчика профессиональным навыкам решения таких сложных задач, как обучение лётчика визуальной посадке на 3D-модель ВПП (в том числе на короткую ВПП авианесущего крейсера) [5] или дозаправке летательного аппарата в воздухе [6]. Новые индикаторы имеют более высокое разрешение и более яркую светоотдачу и используют оба типа развёрток с преобразованием чересстрочной (обозначается символом "i") в прогрессивную (обозначается символом "p"), что позволяет избавиться от нежелательного эффекта мерцания при воспроизведении на экране текстурированных 3D-полигонов [7]. Современные технологии

позволяют использовать экраны с разными размерами по диагонали, в том числе с небольшими диагоналями, при этом выпускаются экраны с увеличенным числом пикселей достигая числа 1366x768 – что способствовало появлению нового стандарта *Full HD* – 1920x1080 пикселей. Обычно диагональ монитора с таким разрешением начинается от 40" (однако в продаже есть модели с размером диагонали до 23"). Для экранов ориентированных на 3D-индикаторы развёртка остаётся 1080p. Такие мониторы признаны стандартом высокого качества [8]. Первоначально цикл режима реального времени для 3D-индикаторов входящих в состав имитаторов визуальной обстановки (ИВО) устанавливался как 50 Гц. Затем он подбирался под принятый в то время цикл режима реального времени – 120 мс. После изменения цикла режима реального времени для компьютерных генераторов изображения (КГИ) входящих в состав ИВО авиационных тренажёров (АТ) – наиболее развитого эргатического обучающего комплекса где для имитаторов синтезирующих визуально наблюдаемые изображения внешнего пространства за кабиной АТ он выбирается от 120 мс до 80 мс [9]. Это потребовало доработки мониторов формата HD Ready имеющих характеристики: разрешение 1920x1080 при развёртке 1080i [10]. Эта же причина является основанием появления стандар-

та *Ultra HD* превосходящего по качеству телевидение высокой четкости [11]. Минимальное разрешение в этом случае будет 3840×2160 (используется в четыре раза большее число пикселей по сравнению с *Full HD*). Максимальное разрешение предполагается до 7680×4320 . Мониторы с таким разрешением сейчас используются в профессиональных устройствах отображения информации, так как для обычного телевидения они пока не подходят [12]. Существенным изменением характеристик мониторов является изменение пропорций по ширине и по высоте [13]. Ранее стандарт был 3:4 (что соответствовало попыткам расположить наблюдателя перед экраном так, чтобы телесный угол обзора всего экране был 30 градусов по вертикали и 40 градусов по горизонтали) [14]. Как правило, телевизор имеет формат 1:2 [15] (при этом если контент изначально был разработан под стандарт 3:4, то изображение на экране формата 1:2 обрезается или подаётся с искажениями, что на бытовом уровне допустимо) [16], а для использования таких экранов в 3D-индикаторах [17] формат изображения должен быть согласован с особенностями используемых оптических преобразователей [18]. Таким образом, качество 3D-изображения моделируемой внешней среды синтезируемое для человека с помощью имитатора визуальной обстановки авиационного тренажёра [19] зависит от качества его оптической составляющей [20], от технических характеристик и типа экрана на котором высвечивается видеоряд из 2D-проекций 3D-моделей, от алгоритмов машинной графики [21] реализованных в программно-технической системе «компьютерный генератор изображения» (КГИ), при условии что конструктора разработали 3D-макет района полётов и программисты разработали базу данных КГИ где с помощью управляющих и визуальных примитивов описаны все неподвижные и подвижные 3D-модели [22] реперных объектов [23].

Методология. Лётчик во время полёта на АТ наблюдает за перемещением модели летательного аппарата в 3D-модели внешней среды, синтезированной имитатором визуальной обстановки (рис. 1-6). Каждый канал.



Рисунок 1 – Вид из кабины АТ на 3D-модель внешнего пространства синтезированную трёхканальным ИВО, каждый канал включает в себя 3D-индикатор типа WIDE [24]



Рисунок 2 – Кабины АТ с трёхканальным ИВО с 3D-индикаторами типа WIDE [25]



Рисунок 3 – Пилотажный тренажёр с имитатором подвижности и трёхканальным ИВО с тремя 3D-индикаторами с вогнутыми поверхностями совмещёнными в единый блок [26]



Рисунок 4 – Пилотажный авиационный тренажёр с тремя безочковыми 3D-индикаторами типа ОКУ [27]



Рисунок 5 – Схема пилотажного авиационного тренажёра с тремя 2D-индикаторами с экранами высокой чёткости, что позволяет во время полёта лётчику видеть в углах обзора 180° по горизонтали неплоское изображение модели района полётов во время пилотирования модели летательного аппарата по визуально наблюдаемой линии горизонта [27]



Рисунок 6 – Вид из кабины авиационного тренажёра с семью 3D-индикаторами типа WIDE [28]

В настоящее время применяются составные 3D-индикаторы с числом каналов и 3D-индикаторов от 3 (рис. 1-5) – позволяющих лётчику видеть модель окружающего пространства в углах обзора 120 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали до 7 (рис. 6) – позволяющих лётчику видеть модель окружающего пространства в углах обзора 280 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали [29]. Каждый канал рассчитывается исходя из телесного угла 40 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали [30]. Такой телесный угол был выбран исходя из антропометрических результатов исследований зрительного аппарата человека, в результате которых выяснилось, что эффективный угол обзора у человека 30 градусов по вертикали и по горизонтали. Учитывая, что формат ранее применяемых экранов был 3:4 первые ИВО АТ с 3D-индикаторами позволяли лётчику эффективно рассматривать по вертикали всю поверхность экрана, а по горизонтали появилась возможность видеть больше. В случае составных 3D-индикаторов для многоместных АТ – левый лётчик видит модель местности глазами правого лётчика [31]. На первом этапе АТ оснащались одноканальными 3D-индикаторами с «узким» зрачком (типа ОКУ, рис. 4) – объёмом пространства перед таким индикатором в котором помещается голова одного лётчика. При сохранении первого телевизионного стандарта были разработаны 3D-индикаторы типа WIDE с «широким» зрачком, в который помещалась вся кабина многоместного самолёта (рис. 1) или вертолёт (рис. 6). Рассматриваемые одноканальные 3D-индикаторы имеют одну особенность – за счёт используемой оптики они настраивают хрусталик глаза человека на «взор в бесконечность» (после оптического преобразования с использованием зеркального коллиматора считается, что лучи идут параллельно друг другу) при этом обязательным условием является нахождение в поле зрения человека-наблюдателя подвижной 3D-модели, или подвижного наблюдателя (это автоматически выполняется при полёте лётчика на АТ). Таким образом, одноканальные 3D-индикаторы воздействуя на аккомодацию и конвергенцию зрительного аппарата человека заставляют его поверить, что он видит 3D-объект и при этом создаются условия для профессиональной тренировки его глазомера [32].

В ряде случаев за счёт достаточного числа показаний имитаторов кабинного оборудования лётчик может успешно формировать профессиональные навыки пилотирования летательного аппарата рассматривая

«неплоское» изображение 3D-модели окружающего пространства (рис. 3, 5). При этом он может успешно пилотировать модель летательного аппарата. Но не может профессионально тренировать свой глазомер.

Все исследования безочковых 3D-индикаторов были проведены Институтом космической медицины СССР в 80-е годы прошлого столетия. Наиболее хорошо был изучен 3D-индикатор «Оку» производства НПП «Эра». В его состав входил 21” выпуклый телевизионный экран. Расчётная разрешающая способность 3D-индикатора «Оку» 10’. Расстояние до ближайшей наблюдаемой 3D-модели – 300 м (это расстояние воспринимается при полёте на АТ как «трапециевидная прорезь в тёмном пространстве»). От этого расстояние и далее лётчик во время полёта на АТ может профессионально тренировать свой глазомер, ближе лётчик видит «пустое пространство». Этим характеристикам было достаточно для обучения лётчика визуальной посадке на 3D-модель ВПП.

3D-индикатор «Оку» поставлялся с ИВО в состав которого входил телевизионный генератор изображения. Над физическим 3D-макетом местности перемещалась подвижная видеокамера, оптическая ось которой совпадала с осью модели летательного аппарата. Скорость перемещения видеокамеры над макетом местности с учётом масштаба 3D-модели местности совпадала с заданной скоростью полёта модели ЛА над виртуальным районом полёта. С появлением первого компьютерного генератора «Аксай» телевизионный генератор был заменён. Однако, такая замена не всегда давала требуемый результат без учёта всех особенностей 3D-индикатора. В частности его разрешающей способности. Физический макет местности, как оказалось на практике, имел значительное насыщение 3D-модели ВПП и прилегающей к ней 3D-модели местности 3D-моделями реальных объектов. При обучении лётчика визуальной посадке лётчик получал достаточно информации, чтобы визуально определить место нахождения модели летательного аппарата относительно 3D-модели ВПП и выполняя посадку на неё успешно приобретать профессиональные навыки пилотирования летательного аппарата во время посадки в простых и предаварийных условиях. Замена телевизионного генератора на компьютерный генератор дала неожиданные результаты. Ранее 3D-модель ВПП рисовалась художниками. Температурные швы имитировались самым тонким рапидографом, но в пересчёте по масштабу они считались толщиной от 1.2 м до 1.5 м. Реальная толщина температурного шва 15-18 см. После замены телевизионного генератора на компьютерный генератор изображения на 3D-модель ВПП были нанесены температурные швы толщиной 15 см и лётчик не смог сесть на такую 3D-модель ВПП. После нескольких попыток швы толщиной 15 см были заменены на температурные швы толщиной 1.5 м – и у лётчиков всё сразу стало получаться. Все лётчики облётывавшие новый тренажёр – все с первого раза могли посадить модель летательного аппарата визуальным способом. Причина неудач ранее – плохая

разрешающая способность телевизионного экрана первого телевизионного стандарта, который не давал возможность увидеть на 3D-модели ВПП температурные швы, лётчик не получал достаточного объёма информации визуалью подлетая к 3D-модели ВПП, и не мог выполнить посадку. Таким образом было экспериментально установлено, что для того чтобы лётчик мог учиться визуалью сажать летательный аппарат на 3D-модель ВПП необходимо затратить 800 монохромно окрашенных 3D-полигонов из которых набирается 3D-модель ВПП (при использовании экрана первого телевизионного стандарта).

Простая замена экрана первого телевизионного стандарта на экраны стандарта HD (изменяет разрешающую способность 3D-индикатора типа «Оку» с 10' до 5'. Однако разрешающая способность глаза человека в среднем 30". Это не позволяет лётчику видеть 3D-модель местности и 3D-модель ВПП так же как он видит её при реальном полёте. Следовательно, необходимо проводить исследования с целью разработки требований к 3D-модели района полётов с учётом особенностей формирования когнитивных навыков модели лётчика в которых откладываются его профессиональные навыки визуалью оценивать возможность пилотирования летательного аппарата в конкретных условиях. При этом неважно, какая из применяемых схем 3D-индикатора будет использована (рис. 1-6).

Опыты с подготовленным лётчиками при использовании 3D-индикатора типа «ОКУ» показали, что кроме одного испытуемого все остальные (испытывалось более 2000 лётчиков) все во время полёта на авиационном тренажёре фактически сразу видели 3D-объект и могли профессионально тренировать свой глазомер. Один испытуемый упорно утверждал, что он не видит 3D-объект, а наблюдает обычное увеличенное телевизионное изображение.

Результаты. Показано, что при исследовании 3D-индикаторов входящих в состав имитаторов визуальной обстановки авиационных тренажёров необходимо в комплексе учитывать взаимовлияющие друг на друга: особенности применяемой оптики, технические характеристики генераторов изображения, конструкции 3D-моделей реперных объектов в 3D-модели района полётов описанных примитивами хранящихся в базе данных компьютерных генераторов изображения.

В ряде случаев целесообразно при создании 3D-моделей реперных объектов использовать примитивы в виде 3D-полигонов отличающихся по своим размерам от их реальных прототипов, чтобы компенсировать недостаточную разрешающую способность экранов 3D-индикаторов и дать лётчикам достаточное число наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов. Чтобы они могли по ним ориентироваться в 3D-модели окружающего пространства при выполнении учебных задач (например, при выполнении визуальной посадки модели летально аппарата на 3D-модель ВПП).

Обсуждение. Успехи в области разработки про-

граммно-технических систем вычислительной техники (предполагающих увеличение тактовой частоты с 2 МГц до 8,42938 ГГц) и подключение к ним современных экранов новых стандартов HD, FullHD, предполагающих увеличение числа пикселей от 640×480 до 7680×4320 позволяет синтезировать на поверхности такого экрана 2D-проекции 3D-моделей или 3D-объектов которые часто сложно назвать двухмерными. В литературе часто их называют трёхмерными. Поэтому считаем необходимым заострить внимание на этих терминах. Роганов В.Р. [7,33] предложил делить «неплоские» изображения: 1) на истинно трёхмерные (их можно рассматривать с разных сторон не меняя положение передающих камер – реализованы при вращающемся прозрачном экране), 2) на псевдообъёмные – эффект наблюдения трёхмерного изображения возникает когда подготовленный человек (зрительный аппарат которого обучен рассматривая видеоряд с подвижными 2D-проекциями 3D-моделей видеть 3D-объект) рассматривая 3D-изображения множества 3D-моделей с помощью глазомера профессионально определяет расстояние до выбранной 3D-модели; 3) просто «неплоские» изображения которые используются в развлекательных целях. Такой подход позволяет уже на первоначальном этапе определить направление совершенствовании имитаторов визуальной обстановки как авиационных тренажёров, так и тренажёров других водителей транспортных средств где необходимо не только обучать водителя управлять транспортным средством, но и ориентироваться в 3D-модели пространства сохраняя полученные навыки для профессиональной деятельности.

Выводы. Имитатор визуальной обстановки – сложная эргатическая оптико-программно-техническая система, позволяющая подготовленному человеку во время полёта на авиационном тренажёре профессионально тренировать свой глазомер и успешно приобретать навыки пилотирования летательного аппарата в простых и предаварийных условиях.

Разрешающая способность экранов 5' используемых в 3D-индикаторах предполагает коррекцию всех 3D-моделей реперных объектов с учётом, что разрешающая способность глаза человека 30" (коррекция предполагает увеличения заметных 3D-полигонов на 3D-моделях реперных объектов, чтобы лётчик мог их видеть с дальнего расстояния).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-10046, <https://rscf.ru/project/23-21-10046/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сравнительный анализ старых и новых телевизионных экранов. [https://www.svyaznoy.ru/reviews/text_vse_chto_nuzhno_znat_o_razreshenii_televizora#:~:text=телевидение%20высокой%20четкости%20обычно%20обозначается,которому%20стоит%20уделить%20немного%20внимания\(датаобращения15.05.2023\).](https://www.svyaznoy.ru/reviews/text_vse_chto_nuzhno_znat_o_razreshenii_televizora#:~:text=телевидение%20высокой%20четкости%20обычно%20обозначается,которому%20стоит%20уделить%20немного%20внимания(датаобращения15.05.2023).)
2. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Есимова Н.С., Асмолова Е.А., Тюрина Л.А. Совершенствование эргатических программно-технических комплексов "Авиационный тре-

- нажер" за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетоуправления // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 2 (30). – С. 96-105.
3. Шукшунув В.Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Под ред. В.Е. Шукшунува // М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
4. Красовский А.А. Авиационные тренажеры / А.А. Красовский, В.И. Лопатин и др. // М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1992. – 320 с.
5. Роганов В.Р. Моделирование внешней среды для авиационного тренажера // Монография / М.: Изд. Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 125 с.
6. Roganov V., Mikhееv M., Roganova E., Nurgozhin B.I., Filipenko V. "Main provisions for formation of cognitive model of visually observable environment synthesized for aircraft simulator" in *Advances in Engineering Research*. 2017. – Vol. 133. – P. 671.
7. Методы формирования виртуальной реальности: Учеб. для студентов специальности 21.03.00 "Роботы и робототехн. системы" В.Р. Роганов; М-во образования Рос. Федерации. Пенз. гос. ун-т // Пенза Изд-во Пенз. гос. ун-та 2002. – 142 с.
8. Бородин А.В., Технология и автоматизированное оборудование для производства защитных сапфировых экранов для мобильных устройств / А.В. Бородин, В.А. Бородин, Д.Н. Францев, М.В. Юдин, Т.А. Мошаров // Научное приборостроение. – 2014. – Т. 24. – № 3. – С. 99-104.
9. Нгуен Т.Л., Кузин Н.А., Юрков Н.К. К проблеме формирования облика перспективных беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 1 (37). – С. 55-66.
10. Ефимов Д.О., Туманова Е.И. Методы улучшения качества видеоизображения // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4х томах. Санкт-Петербург, 2021. – С. 151-155.
11. Баланин Л.Н. Цифровое телевидение ультравысокой четкости – новый этап развития телевизионной техники // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2013. – № 1. – С. 56-65.
12. Роганов В.Р., Четвергова М.В., Семочкин А.В. Проектирование систем виртуальной реальности с позиции системного подхода // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 199.
13. Роганов В.Р., Михеев М.Ю. Управление ресурсами специализированной системы синтеза изображения района полетов для авиационного тренажера // Авиакосмическое приборостроение. – 2023. – № 3. – С. 48-60.
14. Роганов В.Р. Анализ устройств индикации тренажеров операторов-наводчиков // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2014. – № 4 (124). – С. 80-87.
15. Ча Т.Х., Парк С.В., Ли Ю.Й. Способ управления внешним вводом и устройством приема вещания // Патент на изобретение RU 2582070 C1, 20.04.2016. Заявка № 2014153587/07 от 12.07.2013.
16. Аль-Зубейди Х.С., Аль-Зубейди А.Х., Аль-Зубейди А.Х., Аль-Зубейди А.Х. Панорамная видеокамера // Патент на полезную модель 206409 U1, 14.09.2021. Заявка № 2021108604 от 30.03.2021.
17. Мельничук А.И., Горячев Н.В., Юрков Н.К. К проблеме синтеза многопозиционной радиолокационной станции обнаружения беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 3 (39). – С. 33-41.
18. Роганов В.Р., Роганова Э.В. Тренажер наводчиков-операторов установок пуска ракет // Патент на изобретение RU 2334935 C2, 27.09.2008. Заявка № 2006136662/02 от 16.10.2006.
19. Роганов В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные имитаторами авиационного тренажера // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 12. – С. 32-39.
20. Юрков Н.К. Разработка оптимальной структуры радиозлектронных средств на основе взаимодействия цифровых моделей различных этапов проектирования // Научные исследования: итоги и перспективы. – 2022. – Т. 3. – № 1. – С. 23-32.
21. Четвергова М.В. Автоматизация проектирования компонентов расширенной реальности. Диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.12 // Волгоградский государственный технический университет. Волгоград, 2013 – 187 с.
22. Роганов В.Р. К вопросу о выборе имитатора визуальной обстановки // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 159-162.
23. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Четвергова М.В. Программный модуль сортировки названий реперных объектов для формирования тезауруса реперных объектов трёх сцен имитаторов, синтезирующих изображение местности, видимое через остекление кабины авиационного тренажера, на экране имитатора радиолокатора и на экране имитатора тепловизора // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020616157, 11.06.2020. Заявка № 2020615419 от 28.05.2020.
24. Вид из кабины АТ на 3D-модель внешнего пространства с использованием трёхканального ИВО с тремя 3D-индикаторами типа WIDE. *Technique Archives: Page 3 of 7: Air Facts Journal* airfactsjournal.com. <https://yandex.ru/images/search?lr=49&source=serp&stypе= image&text=авиационные%20тренажеры%20картинки> (дата обращения 15.05.2023).
25. Кабина АТ с гидравлическими имитатором подвижности и тремя 3D-индикаторами типа WIDE *Design Products Aerotec* dpgorelov.com. <https://yandex.ru/images/search?lr=49&source=serp&stypе= image&text=авиационные%20тренажеры%20картинки> (дата обращения 15.05.2023).
26. Кабина пилотажного АТ с механическим имитатором подвижности и с тремя 3D-индикаторами с вогнутыми поверхностями совмещёнными в единый блок. *Robocoaster mavink.com*. <https://yandex.ru/images/search?lr=49&source=serp&stypе= image&text=авиационные%20тренажеры%20картинки> (дата обращения 15.05.2023).
27. Кабина авиационного тренажера производства ПКБМ с тремя одноканальными безочковыми 3D-индикаторами ОКУ «узкий зрачок» для одного наблюдателя <http://pkbm.e58.ru/#> (дата обращения 25.04.2023).
28. Вид на кабину авиационного тренажера с семью 3D-индикаторами WIDE с «широким» зрачком https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fwww.avsim.su%2Fforum%2Fuploads%2Fmonthly_04_2014%2Fpost-92103-0-54598000-1397730705.jpg&lr=49&pos=3&rpt=simage&source=serp&text=авиационные%20тренажеры%20картинки *mavink.com* (дата обращения 15.05.2023).
29. Роганов В.Р. Система объемного телевидения // Патент на изобретение RU 2146856 C1, 20.03.2000. Заявка № 97121912/09 от 30.12.1997.
30. Роганов В.Р., Герасимова А.В., Роганова Э.В., Глебова Т.А. Требования к оптико-аппаратно-программным системам моделирования трехмерного визуального наблюдаемого пространства для тренажеров подготовки машинистов локомотивов // Современные информационные технологии. – 2019. – № 29. – С. 78-82.
31. Роганов В.Р., Семочкина И.Ю., Жашкова Т.В. Системы моделирования трёхмерных визуально наблюдаемых моделей // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2015. – Т.1. – С. 192-196.
32. Роганов В.Р., Роганова Э.В., Игонин О.О. Построение подстилающих поверхностей для размещения моделей реальных объектов в моделях реальной местности при фиксированных точках расположения наблюдателя // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2008. – № 1-2 (11). – С. 119-126.
33. Роганов В.Р. Особенности имитаторов авиационного тренажера, синтезирующих для лётчика 3D-модели окружающего пространства в разном диапазоне световых волн // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2023. – Т. 1. – 2023. – С. 91-95.

Статья поступила в редакцию 05.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 614.844, 52-17; 66.011

EDN: NUZAGG

ПРИМЕНЕНИЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ К ЗАДАЧАМ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОТОВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© Авторы 2023

SPIN: 5721-1570

AuthorID: 181476

ORCID:0000-0002-2769-0086

ResearcherID: E-2182-2018

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник
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:1076-8133

AuthorID: 664653

ORCID: 0000-0003-1561-2483

ResearcherID: K-2087-2018

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ,
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)

Аннотация. Целью статьи является исследование вопросов поддержания готовности различных технических и других систем на примере систем противопожарной защиты объектов, что обусловлено как важностью таких систем, так и их ограниченной надёжностью и необходимостью оперативного восстановления ремонтными бригадами. Для достижения цели работы был использован адаптированный математический аппарат теории однородных цепей Маркова. С его помощью было исследовано два варианта задачи восстановления готовности систем противопожарной защиты: когда ремонтный пункт принимает отказавшие блоки систем противопожарной защиты; когда восстановление систем противопожарной защиты осуществляет ремонтная бригада. В результате проведённых исследований было впервые получено универсальное аналитическое выражение для вероятностей состояний исследуемой цепи, а также сделан важный вывод о том, что начальные вероятности состояний цепи не влияют на конечные вероятности её состояний, а вместо вероятностей переходов можно использовать соотношения этих вероятностей. Также показана связь теории марковских процессов с теорией массового обслуживания. Сделан вывод о возможности получения аналитических выражений для многокомпонентных однородных цепей Маркова.

Ключевые слова: организационные, системы, технические системы, пожар, тушение, марковские цепи, теория массового обслуживания.

APPLICATION OF MARKOV CHAINS TO THE PROBLEMS OF MAINTAINING THE READINESS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

© Authors 2023

TANKLEVSKY Leonid Timofeevich, doctor of technical sciences, professor,
honored worker of Science of the Russian Federation, Chief Researcher
Saint 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)

TARANTSEV Alexander Alekseevich, doctor of technical sciences, professor,
honored worker of the Higher School of the Russian Federation,

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)

Abstract. The purpose of the article is to study the issues of maintaining the readiness of various technical and other systems using the example of fire protection systems for objects, which is due both to the importance of such systems and their limited reliability and the need for prompt restoration by repair teams. To achieve the goal of the work, an adapted mathematical apparatus of the theory of homogeneous Markov chains was used. With its help, two variants of the task of restoring the readiness of fire protection systems were investigated: when the repair point receives failed units of fire protection systems; when the restoration of fire protection systems is carried out by the repair team. As a result of the research, a universal analytical expression was obtained for the first time for the probabilities of the states of the circuit under study, and an important conclusion was made that the initial probabilities of the states of the circuit do not affect the final probabilities of its states, and instead of the probabilities of transitions, one can use the ratios of these probabilities. It also shows the connection between the theory of Markov processes with queuing theory. A conclusion is made about the possibility of obtaining analytical expressions for multicomponent homogeneous Markov chains.

Keywords: organizational, systems, technical systems, fire, extinguishing, Markov chains, queuing theory.

Для цитирования: Танклевский Л.Т. Применение марковских цепей к задачам поддержания готовности организационных и технических систем / Л.Т. Танклевский, О.А. Зыбина, А.А. Таранцев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 26-34. – EDN: NUZAGG.

Введение. Великий русский математик Андрей Андреевич Марков (1856-1920), ученик академика П.Л. Чебышёва ещё в 1906 г. (по другим данным в 1907 г.) разработал теорию цепей, которым позднее было присвоено его имя. Цепи Маркова представляют собой последовательности событий (действий, состояний), каждое из которых зависит только от предшествующего события, а переход из одного состояния в другое – случайный процесс. Они нашли широкое применение на практике от лингвистики и анализа текстов до прогноза и генетики. В работе [1] приведен пример их использования в такой жизненно важной области, как поддержание готовности систем противопожарной защиты (ППЗ) [2] – пожарной сигнализации [12], автоматических установок пожаротушения [13-15] и сдерживания пожара [16-18], систем дымоудаления [19], противопожарного водоснабжения [20, 21], оповещения и управления эвакуацией [22], поскольку, как свидетельствует статистика [23], коэффициент готовности некоторых систем ППЗ не соответствует нормативным требованиям [24].

Методология. Теория цепей Маркова, как показано в работе [1], может быть использована для решения проблемы поддержания готовности организационной или технической системы, например, системы ППЗ объекта, состоящей из нескольких подсистем.

Для справки: согласно [25], организационные системы характеризуются наличием производственных объектов с техническими системами – производственными линиями, системами ППЗ и др.) и персонала (в т.ч. бригадами, обеспечивающими функционирование систем объекта), имеющие цели и задачи (например, бесперебойное функционирование объекта), а также организационную структуру как способ объединения подсистем, блоков и т.п. Это обуславливает возможность применения математического аппарата марковских цепей к описанию как технических сис-

тем, так и организационных.

В этой связи задача исследования может быть сформулирована следующим образом. Имеются исходные данные:

- конечный перечень состояний $\{S_1, S_2, \dots, S_R\}$, в которых система может пребывать с соответствующими вероятностями $\{P_1, P_2, \dots, P_R\}$, причём $\sum_{i=1}^R P_i = 1$;
- известны вероятности переходов $\{p_{ij}\}$ (например, вероятности отказов подсистем или их восстановления) из состояния S_i в состояние S_j ;
- заданы начальные значения вероятностей $\{P^0\}$.

Требуется определить конечные (результатирующие) вероятности $\{P^r\}$ состояний $\{S\}$ системы, по которым сделать вывод, насколько она способна быть готовой к применению (например, обеспечивать защиту объекта) или требуется корректировка величин $\{p_{ij}\}$, например, чтобы увеличить вероятность оперативного восстановления отказавших блоков, обеспечивая тем самым готовность всей системы на приемлемом уровне.

На практике марковскую цепь представляют в виде графа с R вершинами $\{S_1, \dots, S_R\}$ и ориентированными дугами $\{p_{ij}\}$, который может быть отображён квадратной матрицей P размером $R \times R$:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1R} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{R1} & p_{R2} & \dots & p_{RR} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В матрице P суммы вероятностей $\{p_{ij}\}$ по строкам равны 1, а диагональные элементы $p_{ii} = 1 - p_i^{\Sigma}$, $i \in [1, R]$, где p_i^{Σ} – сумма вероятностей в i -й строке за исключением диагонального элемента.

В соответствии с итерационным алгоритмом [3] вероятности $\{P^r\}$ рассчитываются пошагово: $\{P^0\} \rightarrow \{P^1\} \rightarrow \{P^2\} \rightarrow \dots \rightarrow \{P^k\} \rightarrow \dots \rightarrow \{P^r\}$. Марковская цепь является однородной, если матрица P неизменна на каждом k -ом шаге расчёта.

В качестве иллюстрации рассмотрим динамический процесс из работы [3] на примере приведения в работоспособное состояние отказавшего блока системы. Пусть этот блок может пребывать в четырёх ($R=4$) состояниях: S_1 – потеря работоспособности, S_2 – диагностика проведена, причина отказа выявлена, S_3 – проведен ремонт, S_4 – работоспособное состояние. Вероятности переходов: $p_{12}=0,4$ – вероятность того, что за установленное время диагностика блока будет проведена; $p_{23}=0,4$ – ...ремонт будет проведён; $p_{34}=0,7$ – ...тестирование блока подтвердит его работоспособность; $p_{13}=0,2$ – ...диагностирование не потребуется, причина отказа очевидна; $p_{24}=0,2$ – ... ремонт не потребуется – после диагностики можно сразу восстановить работоспособность блока; $p_{14}=0,1$ – восстановить работоспособность блока можно не проводя диагностики, например, проведя повторное включение.

Тогда соответствующая марковская цепь является однородной и в виде графа представлена на рисунке 1, а матрица P имеет вид:

$$P = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,4 & 0,2 & 0,1 \\ 0 & 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0 \end{bmatrix}$$

Для облегчения расчётов алгоритм пошагового определения вероятностей $\{P^k\}$ был реализован в виде компьютерной программы, с помощью которой при начальных условиях $P_1^0=1, P_2^0=P_3^0=P_4^0=0$ была получена динамика пошагового изменения вероятностей $\{P^k\}$ состояний блока, которая представлена на рисунке 2. Из него видно, что уже к 14-му шагу процесс стабилизируется, в результате чего с точностью до 4-го знака после запятой: $P_1^r=P_2^r=P_3^r=0, P_4^r=1$, то есть блок системы будет восстановлен в любом случае (такой вывод можно сделать и без расчётов, так как состояние S_4 является поглощающим).

Для справки: в книге [3] расчёт проведен до четвертого шага, и имеет место полное совпадение с данными, представленными на рисунке 2.

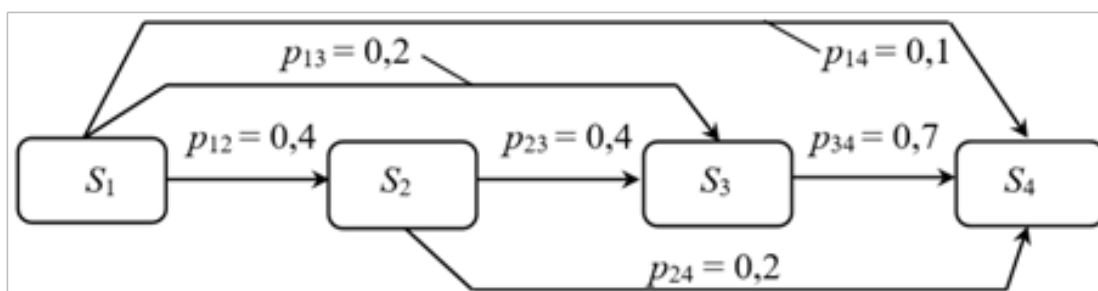


Рисунок 1 – Граф переходов из работы [3] для примера восстановления блока

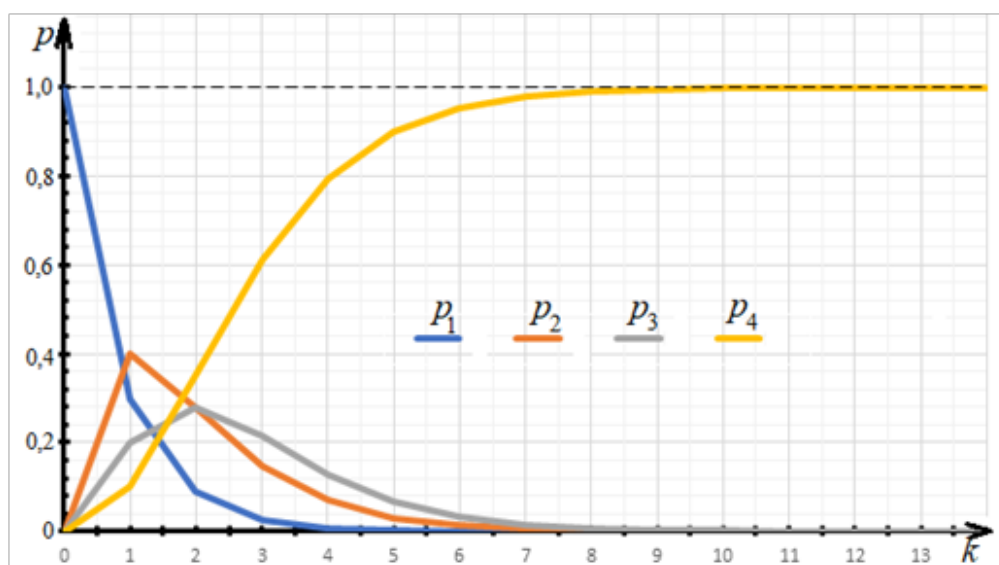


Рисунок 2 – Пошаговая динамика изменения вероятностей состояний

Таким образом, математический аппарат марковских цепей позволяет описывать динамику восстановления готовности систем (в работе [1] – систем ППЗ), но имеет ряд особенностей (недостатков):

– требуется информация о количественных зна-

чениях вероятностей переходов $\{p_{ij}\}$ (нужно либо анализировать большие массивы статистических данных, либо применять экспертные методы [4, 5]);

– необходимо использовать трудоёмкие численные методы (компьютерные программы) для определения динамики изменения вероятностей

состояний $\{P^k\}$;

– динамика пошагового изменения вероятностей состояний $\{P^k\}$ не согласуется с физическим временем t .

В ходе исследований, результаты которых приведены в работе [1], стало возможным несколько усовершенствовать математический аппарат марковских цепей.

В частности, на примере цепи, представляемой линейным графом (рис. 3), установлено для случая

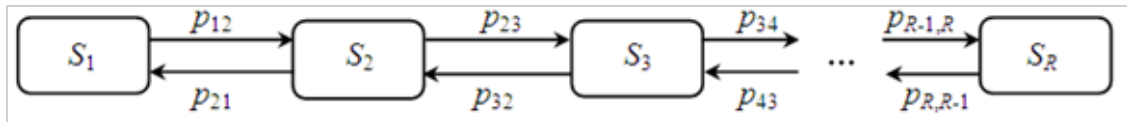


Рисунок 3 – Марковская цепь для системы с R состояниями

В этой связи представляется интересным рассмотреть возможность получения аналитических выражений для оценки численных значений вероятностей $\{P^r\}$ применительно к общим случаям, когда марковская цепь может быть представлена линейным графом (рис. 3).

В результате исследований с использованием специально разработанной компьютерной программы стало возможным, исходя из заданных значений вероятностей начальных состояний $\{P^0\}$, вероятностей поступления p_n и обслуживания p_e заявок, получение обобщающего аналитического выражения для конечных вероятностей состояний:

$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ \dots \\ P_R^r \end{bmatrix} = (\sum_{i=1}^R K_i)^{-1} \begin{bmatrix} K_1 \\ \dots \\ K_R \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где K_i – параметры, зависящие от соотношения вероятностей p_e/p_n .

По аналогии с задачами, решенными в работе [1], далее будут рассмотрены общие случаи использования выражения (2) применительно к моделированию работы систем, которыми являются ремонтно-восстановительные службы поддержания готовности.

Результаты. 1. Моделирование работы ремонтного пункта. Пусть ремонтный пункт восстанавливает отказавшие блоки системы, которые за заданный промежуток времени (например, рабочий день) могут поступать с вероятностью p_n , а восстанавливаться с вероятностью p_e . Регламент работы предусматривает возможность ремонта одного блока системы, а другие отказавшие блоки, если они поступят, могут ожидать своей очереди на складе вместимостью $R-2$ мест.

При таком регламенте работы ремонтный пункт может находиться в следующих состояниях: S_1 – все блоки исправны; S_2 – поступил один отказавший блок, он ремонтируется; S_3 – поступил ещё один отказавший блок, он ожидает на складе завершения ремонта ранее поступившего блока; ... S_R – один отказавший блок ремонтируется, склад

$R=3$ следующее:

а) конечные вероятности $\{P^r\}$ состояний $\{S\}$ практически не зависят от исходных вероятностей $\{P^0\}$;

б) вместо вероятностей переходов $\{p_{ij}\}$ можно использовать их отношения, что значительно упрощает исследования;

в) получены аналитические выражения, связывающие конечные вероятности $\{P^r\}$ и вероятности переходов $\{p_{ij}\}$.

пункта заполнен $R-2$ отказавшими блоками. Если поступает ещё один отказавший блок, то он не может быть принят, ввиду чего состояние S_R является критическим, определяющим отказ ремонтного пункта в приёме неисправного блока, что чревато потерей оперативности восстановления готовности системы. Эффективность работы ремонтного пункта может оцениваться по вероятности PR.

Величины K_i , используемые в выражении (2) применительно к работе такого ремонтного пункта, имеют вид:

$$K_i = \left(\frac{p_e}{p_n}\right)^{R-i}, \quad i \in [1, R] \quad (3)$$

или в общем случае:

$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ P_2^r \\ \dots \\ P_{R-1}^r \\ P_R^r \end{bmatrix} = \frac{1}{\left(\frac{p_e}{p_n}\right)^{R-1} + \left(\frac{p_e}{p_n}\right)^{R-2} + \dots + \frac{p_e}{p_n} + 1} \begin{bmatrix} \left(\frac{p_e}{p_n}\right)^{R-1} \\ \left(\frac{p_e}{p_n}\right)^{R-2} \\ \dots \\ \left(\frac{p_e}{p_n}\right)^1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Покажем возможность применения выражения (2) с учётом (3) для оценки вероятностей состояний ремонтного пункта, содержащего склад на два отказавших блока системы, ожидающих восстановления, ввиду чего $R=4$. Применительно к графу на рисунке 3 при $R=4$: $p_{12}=p_{23}=p_{34}=p_n$, $p_{21}=p_{32}=p_{32}=p_e$, матрица (1) принимает вид:

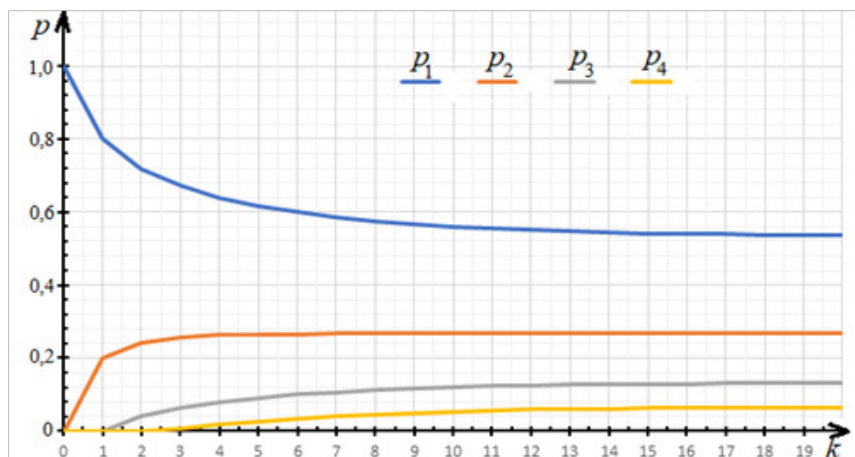
$$P = \begin{bmatrix} 1 - p_n & p_n & 0 & 0 \\ p_e & 1 - p_n - p_e & p_n & 0 \\ 0 & p_e & 1 - p_n - p_e & p_e \\ 0 & 0 & p_e & 1 - p_e \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Полагая, что начальные вероятности состояний равны соответственно $P_1^0=1$, $P_2^0=P_3^0=P_4^0=0$ (на момент открытия пункта блоки на ремонт не поступили), сравним оценку конечных вероятностей P_1^r , P_2^r , P_3^r и P_4^r двумя способами – классическим численно по методике [3, 6] и по выражениям (2) и (3). Для большей объективности зададим, например, три сочетания вероятностей: $(p_n=0,2; p_e=0,4)_A$, $(p_n=0,3; p_e=0,6)_B$ и $(p_n=0,2; p_e=0,6)_B$. Тогда матрицы (5) примут соответственно вид:

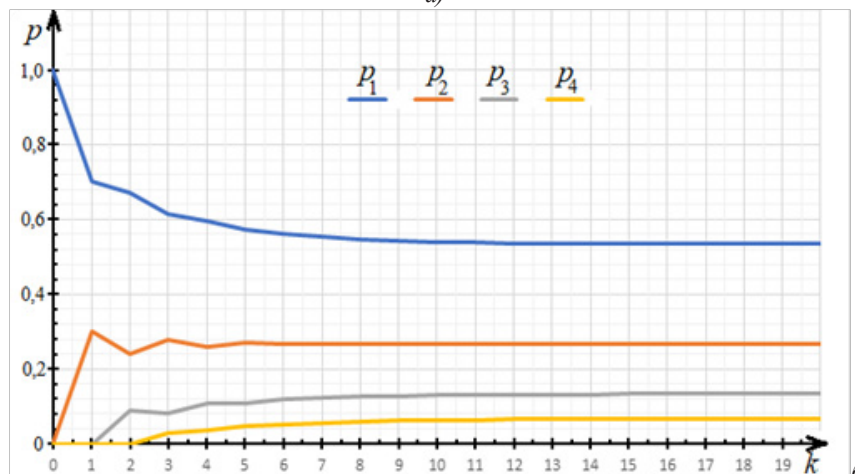
$$P_A = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0,4 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0,6 \end{bmatrix}, P_B = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,6 & 0,1 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,1 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix}, P_B = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0,6 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,2 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix}$$

Проведя пошаговые вычисления, представим результаты на рисунке 4.

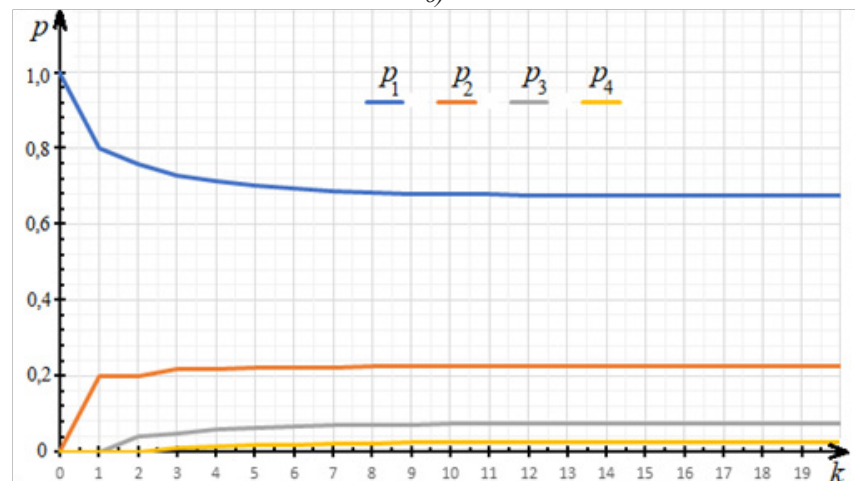
Следует отметить, что величины конечных вероятностей P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r на рисунках 4а и 4б совпадают, невзирая на различие матриц P_A и P_B . Это означает, что на конечные вероятности P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r влияют не собственно p_n и p_e , а их соотношение.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Пошаговая динамика вероятностей состояний ремонтного пункта применительно к данным матриц P_A (а), P_B (б), P_B (в)

Рассмотрим и альтернативный аналитический подход – вычислим конечные вероятности P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r по выражению (2), которое в данном случае с учётом (3) и (4) примет вид:

$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ P_2^r \\ P_3^r \\ P_4^r \end{bmatrix} = \left[\left(\frac{p_B}{p_n}\right)^3 + \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^2 + \frac{p_B}{p_n} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^3 \\ \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^2 \\ \frac{p_B}{p_n} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Тогда количественные значения P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r для вероятностей $(p_n=0,2; p_o=0,4)_A, (p_n=0,3; p_o=0,6)_B$ и $(p_n=0,2; p_o=0,6)_B$ определяются из выражений:

$$\begin{bmatrix} P_{1A}^r \\ P_{2A}^r \\ P_{3A}^r \\ P_{4A}^r \end{bmatrix} = \frac{1}{\left(\frac{0,4}{0,2}\right)^3 + \left(\frac{0,4}{0,2}\right)^2 + \frac{0,4}{0,2} + 1} \begin{bmatrix} \left(\frac{0,4}{0,2}\right)^3 \\ \left(\frac{0,4}{0,2}\right)^2 \\ \frac{0,4}{0,2} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 8 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,5333 \\ 0,2667 \\ 0,1333 \\ 0,0667 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} P_{1B}^r \\ P_{2B}^r \\ P_{3B}^r \\ P_{4B}^r \end{bmatrix} = \frac{1}{\left(\frac{0,6}{0,3}\right)^3 + \left(\frac{0,6}{0,3}\right)^2 + \frac{0,6}{0,3} + 1} \begin{bmatrix} \left(\frac{0,6}{0,3}\right)^3 \\ \left(\frac{0,6}{0,3}\right)^2 \\ \frac{0,6}{0,3} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 8 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,5333 \\ 0,2667 \\ 0,1333 \\ 0,0667 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} P_{1B}^r \\ P_{2B}^r \\ P_{3B}^r \\ P_{4B}^r \end{bmatrix} = \frac{1}{\left(\frac{0,6}{0,2}\right)^3 + \left(\frac{0,6}{0,2}\right)^2 + \frac{0,6}{0,2} + 1} \begin{bmatrix} \left(\frac{0,6}{0,2}\right)^3 \\ \left(\frac{0,6}{0,2}\right)^2 \\ \frac{0,6}{0,2} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{40} \begin{bmatrix} 27 \\ 9 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6750 \\ 0,2250 \\ 0,0750 \\ 0,0250 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, величины вероятностей P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r , найденные известным численным способом [3], и аналитически по выражениям (2–4), совпадают. Вероятности того, что ремонтный пункт откажет в приёме неисправных блоков, будут соответственно 6,67%, 6,67% и 2,50%. Это может свидетельствовать об эффективности работы ремонтного пункта и привести к необходимости увеличения рв.

2. Моделирование работы ремонтной бригады.

Ремонтная бригада, являясь организационной системой, обслуживает несколько (в количестве $R-1$) технических систем. Известно, что за анализируемый период времени каждая система может отказать с вероятностью p_n , но восстанавливается с вероятностью p_o .

Такой регламент работы предполагает нахождение ремонтной бригады также в R состояниях: S_1 – все системы функционируют штатно; S_2 – поступил сигнал об отказе одной системы, её работоспособность восстанавливается; S_3 – поступил сигнал об отказе второй системы, её восстановление начнётся после завершения восстановления работоспособности ранее отказавшей системы; ... S_R – поступил сигнал об отказе $R-1$ -ой системы, её восстановление начнётся после завершения восстановления работоспособности предыдущих отказавших систем. Известны начальные вероятности состояний $P_1^0=1, P_2^0=...=P_R^0=0$ (в начальный момент все обслуживаемые

системы исправны), требуется найти вероятности $P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r$, по которым сделать заключение об эффективности работы ремонтной бригады, поскольку вероятность P_R^r является критической – все обслуживаемые системы в нерабочем состоянии.

Для нахождения вероятностей $P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r$, также могут использоваться аналитические выражения (2) и (3) с учётом, что:

$$K_i = \frac{1}{(R-i)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^{R-i}, i \in [1, R] \quad (7)$$

или в общем случае:

$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ P_2^r \\ \dots \\ P_{R-1}^r \\ P_R^r \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{(R-1)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^{R-1} + \frac{1}{(R-2)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^{R-2} + \dots + \frac{p_B}{p_n} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{(R-1)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^{R-1} \\ \frac{1}{(R-2)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^{R-2} \\ \dots \\ \frac{1}{(R-R+1)!} \left(\frac{p_B}{p_n}\right)^1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

В случае, когда бригада обслуживает три ($R-1=3$) системы, она может пребывать в четырёх ($R=4$) состояниях. Применительно к графу на рисунке 3 при $R=4$: $p_{12}=3p_n, p_{23}=2p_n, p_{34}=p_n, p_{21}=p_{32}=p_{32}=p_o$, ввиду чего матрица (1) принимает вид:

$$P = \begin{bmatrix} 1-3p_n & 3p_n & 0 & 0 \\ p_B & 1-2p_n-p_B & 2p_n & 0 \\ 0 & p_B & 1-p_n-p_B & p_n \\ 0 & 0 & p_B & 1-p_B \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Как и ранее, определим конечные вероятности P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r двумя способами – классическим численно по методике [3] и по выражениям (2), (7) и (8) для сочетания вероятностей $(p_n=0,1; p_o=0,3)_Г, (p_n=0,2; p_o=0,6)_Д$. Тогда матрицы (9) примут вид:

$$P_Г = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,5 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,3 & 0,7 \end{bmatrix}, P_Д = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0,6 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,2 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix}.$$

Проведя пошаговые вычисления с использованием компьютерной программы, представим результаты на рисунке 5.

Следует отметить, что величины вероятностей P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r в обоих случаях совпадают, невзирая на различие матриц РГ и РД. Этим ещё раз подтверждается, что на конечные вероятности P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r влияют не p_n и p_o , а их соотношение. Кроме того, динамика вероятностей на рисунке 5-б свидетельствует о выраженном колебательном процессе.

Рассмотрим и альтернативный аналитический подход – вычислим конечные вероятности P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r по выражению (2), которое в данном случае с учётом (7) и (8) примет вид:

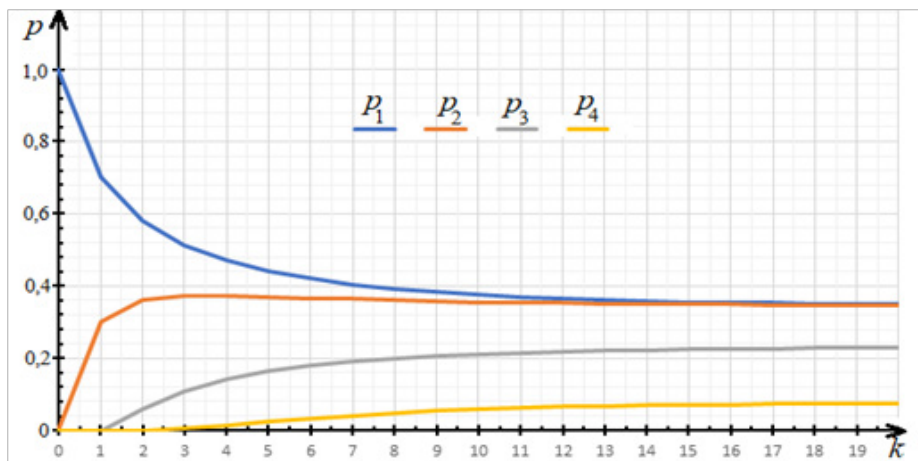
$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ P_2^r \\ P_3^r \\ P_4^r \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{3!} \left(\frac{p_B}{p_n} \right)^3 + \frac{1}{2!} \left(\frac{p_B}{p_n} \right)^2 + \frac{1}{1!} \frac{p_B}{p_n} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{6} \left(\frac{p_B}{p_n} \right)^3 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{p_B}{p_n} \right)^2 \\ \frac{1}{1} \cdot \frac{p_B}{p_n} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Тогда количественные значения P_1^r, P_2^r, P_3^r и P_4^r для вероятностей $(p_n=0,1; p_e=0,3)_Г$ и $(p_n=0,2; p_e=0,6)_Д$ можно найти из выражений:

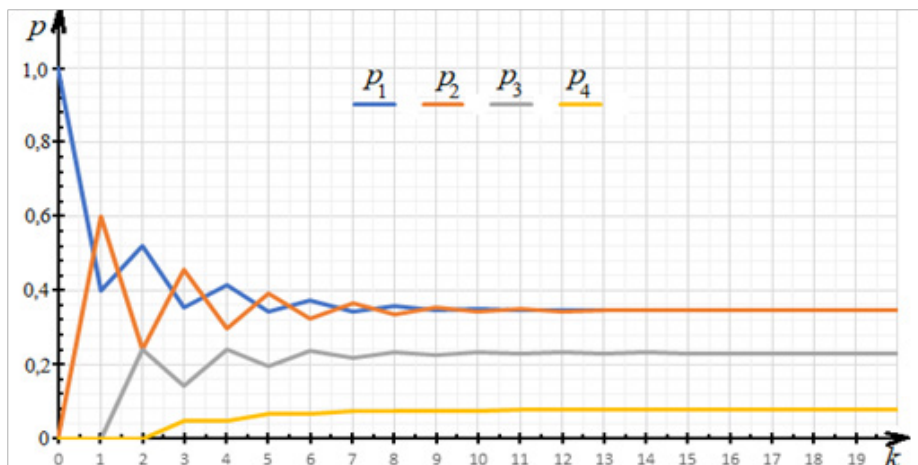
$$\begin{bmatrix} P_{1Г}^r \\ P_{2Г}^r \\ P_{3Г}^r \\ P_{4Г}^r \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{6} \left(\frac{0,3}{0,1} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{0,3}{0,1} \right)^2 + \frac{0,3}{0,1} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{6} \left(\frac{0,3}{0,1} \right)^3 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{0,3}{0,1} \right)^2 \\ \frac{0,3}{0,1} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{13} \begin{bmatrix} 4,5 \\ 4,5 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,3462 \\ 0,3462 \\ 0,2308 \\ 0,0768 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} P_{1Д}^r \\ P_{2Д}^r \\ P_{3Д}^r \\ P_{4Д}^r \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{6} \left(\frac{0,6}{0,2} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{0,6}{0,2} \right)^2 + \frac{0,6}{0,2} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{6} \left(\frac{0,6}{0,2} \right)^3 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{0,6}{0,2} \right)^2 \\ \frac{0,6}{0,2} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{13} \begin{bmatrix} 4,5 \\ 4,5 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,3462 \\ 0,3462 \\ 0,2308 \\ 0,0768 \end{bmatrix},$$

показывающих полное совпадение с данными, представленными на рисунке 5. При этом вероятность того, что все три обслуживаемые системы окажутся в неработоспособном состоянии, будет достаточно высокой – 7,68%. Это может свидетельствовать о недостаточной эффективности работы бригады и потребовать увеличения P_6 :



а)



б)

Рисунок 5 – Пошаговая динамика вероятностей состояний ремонтной бригады, восстанавливающей системы, применительно к данным матриц PГ (а), PД (б)

Обсуждение. Показана возможность применения марковских цепей для описания процессов поддержания готовности организационных и технических систем, в частности, систем ППЗ. Получены аналитические выражения для марковской цепи из нескольких состояний и показано, что вероятности конечных состояний цепи не зависят от исходных вероятностей, а вместо вероятностей переходов можно использовать их соотношения.

Следует заметить, что для стационарных случаев в работе [7] предложено рассматривать вектор конечных вероятностей $[P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r]$ как собственный вектор матрицы P , в результате чего прийти к векторно-матричному уравнению:

$$[P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r] \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1R} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{R1} & p_{R2} & \dots & p_{RR} \end{bmatrix} = [P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r]$$

а от него – к системе линейных алгебраических уравнений для нахождения численных значений вероятностей $P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r$:

$$\begin{cases} 0 = -P_1^r(1 - p_{11}) + P_2^r p_{21} + \dots + P_R^r p_{R1}, \\ 0 = P_1^r p_{12} - P_2^r(1 - p_{22}) + \dots + P_R^r p_{R2}, \\ \dots \\ 0 = P_1^r p_{1R} + P_2^r p_{2R} + \dots - P_R^r(1 - p_{RR}). \end{cases} \quad (11)$$

В целом такой поход подтверждает независимость конечных вероятностей $[P_1^r, P_2^r, \dots, P_R^r]$ от начальных условий для динамических процессов, но приводит к необходимости численного решения R -мерных систем уравнений типа (11) и требует знания количественных значений вероятностей переходов $\{p_{ij}\}$.

Сложность применения математического аппарата марковских цепей заключается в условии наличия количественных значений вероятностей переходов и необходимости в общем случае использования численных методов. В этой связи при выполнении условия [8-10]:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_c(t + \Delta t) - p_c(t)}{\Delta t [p_{c-1}(t) - p_c(t)]} = \lambda = \text{const}$$

(индекс «с» соответствует количеству поступающих заявок за время t , λ – интенсивность переходов) возможно применение математического аппарата теории массового обслуживания [11] для решения прикладных задач, в том числе связанных с обеспечением готовности.

Например, вероятности установившихся состояний P_1, \dots, P_R одноканальной незамкнутой системы массового обслуживания с накопителем (очередью) вместимостью $R-2$ могут быть найдены из выражения [3, 7]:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_{R-1} \\ P_R \end{bmatrix} = (1 + \alpha + \alpha^2 + \dots + \alpha^{R-1} + \alpha^R)^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \\ \dots \\ \alpha^{R-1} \\ \alpha^R \end{bmatrix} \quad (12)$$

(α – приведённая нагрузка). Нетрудно увидеть, что если в выражении (12) заменить величину α на соотношение p_n/p_e , то после преобразований придём к выражению (4), полученному с использованием цепей

Маркова, а при $R=4$ – к выражению (6).

Для случая одноканальной замкнутой СМО с $R-1$ источниками заявок вероятности P_1, \dots, P_R её установившихся состояний могут быть найдены из выражения [3, 11]:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_{R-1} \\ P_R \end{bmatrix} = \left[\sum_{i=1}^R \frac{1}{(R-i)! \beta^{R-i}} \right]^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ \dots \\ \frac{1}{(R-1)! \beta^{R-1}} \\ \frac{1}{(R-2)! \beta^{R-2}} \\ \dots \\ \beta^{-1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

(β – приведённая нагрузка от источника). Как и ранее, положив $\beta = p_n/p_e$, после алгебраических преобразований придём к выражению (8), полученному с использованием цепей Маркова. Например, при $R=4$ выражение (13) приводится к виду:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{2! \beta^2} + \frac{1}{2! \beta^2} + \frac{1}{1! \beta} + 1 \right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{2! \beta^2} \\ \frac{1}{2! \beta^2} \\ \frac{1}{1! \beta} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{1 + 2\beta + 6\beta^2 + 6\beta^3} \begin{bmatrix} 1 \\ 3\beta \\ 6\beta^2 \\ 6\beta^3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Остаётся убедиться, что выражения (14) и (10) при $\beta = p_n/p_e$ идентичны.

В дальнейшем целесообразно продолжить исследования марковских цепей с целью нахождения аналитических выражений для систем с большим числом R состояний и подтверждения их согласованности с соответствующими СМО.

Выводы. Таким образом, показана принципиальная возможность оценки и поддержания готовности систем различного типа (в т.ч. технических и организационных) с использованием математического аппарата марковских цепей. В ходе исследований получены новые результаты:

- *аналитические* выражения для конечных вероятностей состояний, согласующиеся с известными численными оценками и позволяющие упростить нахождение количественных значений этих вероятностей.

- конечные вероятности состояний исследуемой системы практически не зависят от исходных вероятностей её состояний;

- вместо вероятностей переходов можно использовать их отношения, что значительно упрощает процесс исследования.

В перспективе желательно продолжить исследование по получению аналитических выражений для большего числа состояний и большей сложности графов переходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабилов И.А. Метод управления поддержанием готовности средств противопожарной защиты с использованием марковских цепей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». – 2022. – № 4. – С. 60-69. EDN XJXILG.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио,

1972. – 552 с.

4. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб.: в 3-х ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2009. – Ч. 2: Экспертные оценки. – 2011. – 486 с.

5. Бутырский Е.Ю., Матвеев А.В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Стратегия будущего, 2022. – 733 с. – ISBN 978-5-4268-0064-9. – DOI: 10.37468/book_011222.

6. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. – 230 с. – ISBN 978-5-907116-73-3. – EDN IMLKWS.

7. Кемени Д., Снелл Д. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. – 271 с.

8. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966. – 431 с.

9. Романюк Е.В. Вероятностная модель управления технологическим процессом на основе Марковской цепи // Моделирование сложных процессов и систем: сб. Трудов секции № 10 XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2022. – С. 57–60. EDN ZZTQBA.

10. Poznyak A.S., Najim K., Gomez-Ramirez E. Self-learning control of finite Markov chains. CRC Press, 2018.

11. Таранцев А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания. 2-е изд. СПб.: Наука, 2007. – 176 с.

12. Свод правил. СП 484.1311500.2020. Системы ППЗ. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем ППЗ. Нормы и правила проектирования

13. Свод правил. СП 485.1311500.2020. Системы ППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

14. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабиков И.А. Особенности применения методики оценки возможности использования спринклерных АУП (Приложение В к СП 485.1311500.2020) // Пожарная безопасность, №1 (106), 2022. – С. 28-39.

15. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Зыбина О.А., Бабиков И.А. Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. – №1. – Т. 30. – 2021. – С.32-43.

16. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бондар А.И., Мешалкин Е.А., Цариченко С.Г. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность. – №6. – Т. 28. – 2019. – С.71-79.

17. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Зыбина О.А. О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. – №4 [52]. – 2019 – С. 67-72.

18. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бондар А.И., Балабанов И.Д. Особенности реализации автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность. – №5. – Т. 31. – 2022. – С.43-53.

19. Свод правил. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности.

20. Свод правил. СП 8.13130.2020. Системы ППЗ. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности.

21. Свод правил. СП 10.13130.2020. Системы ППЗ. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования

22. Свод правил. СП 3.13130.2009 Системы ППЗ. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности

23. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.

24. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

25. https://studopedia.ru/4_170246_opredelenie-organizatsionnaya-sistema.html?ysclid=lgm4znf13f783339846

Статья поступила в редакцию 03.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 658.5:663.41

EDN: MCWFOY

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ КУМУЛЯТИВНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

© Автор(ы), 2023

SPIN: 5279-4175

AuthorID: 469082

ORCID: 0000-0003-2099-4885

ScopusID: 9038734600

ЦАРЕВА Софья Александровна, кандидат химических наук, доцент,

доцент кафедры Экономика и управление

Ярославский государственный технический университет

(150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88, e-mail: tsarevasa@ystu.ru)

ORCID: 0000-0003-0101-7026

ГУЛИН Владислав Михайлович, студент

Ярославский государственный технический университет

(150061, г. Ярославль, Московский проспект, 88, e-mail: gulin.volodya2016@yandex.ru)

ORCID: 0000-0003-3578-9374

МОРОЗОВ Егор Анатольевич, специалист отдела обеспечения качества

Фармацевтический завод «Р-Фарм»

(150023, г. Ярославль, улица Громова, 15, e-mail: egormorozov197@gmail.com)

Аннотация. В данной статье показана особенность проверки изменчивости отдельных технологических параметров при производстве пищевой продукции как фактора, позволяющего управлять и, следовательно, предотвращать снижение стабильности и воспроизводимости технологических процессов. Целью данной работы является доказательство эффективности адаптации карт кумулятивных сумм (*CUSUM*-карт) для прогнозирования и оценки качества пищевой продукции. Показана возможность оценки технологического процесса при производстве пищевой продукции на примере пива светлого, выпускаемого пивоваренным заводом «Ярпиво» на предмет раннего выявления статистической неуправляемости процесса, а также прогнозирования изменения показателей процесса, характеризующих качество выпускаемой продукции. Доказательство эффективности применения карт кумулятивных сумм в вопросах прогнозирования и оценки качества пищевой продукции отражено на примере содержания молочной кислоты и температуры β-амилазы в условиях производства светлого пива. Сбор массива данных в течение 12 недель позволил сформировать сведения, необходимые для применения *CUSUM*-карт. Адаптация *CUSUM*-карт на предприятиях пищевой промышленности позволит относительно оперативно и преждевременно распознавать систематические изменения процессов, тем самым нивелировать уровень несоответствий при выпуске продукции.

Ключевые слова: *CUSUM*-карты, прогнозирование качества пищевой продукции, оценка качества продукции, статистический контроль качества, усеченная *V*-маска, производство пива.

PRODUCT QUALITY FORECASTING AND EVALUATION BASED ON CUMULATIVE CONTROL MAPS

© The Author(s) 2023

TSAREVA Sofya Alexandrovna, candidate of chemical sciences,

associate professor, department of economics and management

Yaroslavl state technical university

(150023, Russia, Yaroslavl, Moskovsky Prospekt, 88, e-mail: tsarevasa@ystu.ru)

GULIN Vladislav Mikhailovich, student

Yaroslavl state technical university

(150023, Russia, Yaroslavl, Moskovsky Prospekt, 88, e-mail: gulin.volodya2016@yandex.ru)

MOROZOV Egor Anatolyevich, quality assurance specialist

Pharmaceutical plant "R-Pharm"

(150023, Russia, Yaroslavl, Gromova Street, 15, e-mail: egormorozov197@gmail.com)

Abstract. This article shows the feature of checking the variability of individual technological parameters in the production of food products as a factor that allows you to control and, therefore, prevent the decrease in the stability and reproducibility of technological processes. The purpose of this work is to prove the effectiveness of the adaptation of cumulative sum maps (*CUSUM*-maps) for forecasting and assessing the quality of food products. The possibility of evaluating the technological process in the production of food products is shown on the example of light beer produced by the Yarpivo brewery for early detection of statistical uncontrollability of the process, as well as forecasting changes in process indicators characterizing the quality of products. The proof of the effectiveness of using cumulative sum maps in forecasting and assessing the quality of food products is reflected in the example of lactic acid content and beta-amylase

temperature in the conditions of light beer production. Collecting an array of data for 12 weeks allowed us to generate the information necessary for the use of *CUSUM* cards. The adaptation of *CUSUM* cards at food processing enterprises will allow relatively quickly and prematurely to recognize systematic changes in processes, thereby leveling the level of inconsistencies in the production of products.

Keywords: *CUSUM*-maps, food product quality forecasting, product quality assessment, statistical quality control, truncated *V*-mask, beer production.

Для цитирования: Царева С.А. Прогнозирование и оценка качества продукции на основе кумулятивных контрольных карт / С.А. Царева, В.М. Гулин, Е.А. Морозов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 35-40. – EDN: MCWFOY.

Введение. Начавшийся процесс цифровой трансформации промышленных производств ознаменовал смену подхода к организации производства: от традиционного (общепризнанного) к передовому (современному) [1]. В современных условиях вопросы менеджмента качества, в частности оценки и прогнозирования качества продукции наиболее важны, особенно, если рассматривать предприятия пищевой промышленности.

Сегодня традиционный подход к организации производства недостаточно эффективен, в силу значительных изменений в промышленности и научно-технических приоритетах развития предприятий. Внедряемые такие цифровые решения как программно-аппаратные комплексы, интеллектуально-экспертные системы и цифровые двойники уже показывают достаточно высокую эффективность и результативность в вопросах оценки и прогнозирования качества продукта [2-4]. Однако разработка и внедрение отмеченных цифровых решений требует значительных финансовых и временных ресурсов, что серьёзно осложняет цифровую трансформацию промышленных производств. Поэтому большинство предприятий, в частности и предприятия пищевой промышленности, вынуждены занимать выжидательную позицию, когда передовой подход станет общедоступным.

Следует отметить, что традиционный подход к организации производства имеет место быть и доказал свою эффективность уже многие годы. Так, контрольные карты, как статистический инструмент управления процессами, позволяют количественно обосновывать принятые решения, причем такие решения с большей вероятностью приведут к желаемым результатам. Например, карты кумулятивных сумм (*CUSUM*-карты) позволяют отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него, предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований, при минимальных ресурсных тратах. Внедрение кумулятивных контрольных карт позволяет придерживаться одного из критериальных принципов менеджмента качества как «улучшение».

Эффективность применения *CUSUM*-карт в вопросах обеспечения качества отмечают как российские, так и зарубежные исследователи [5, 6]. В своих работах авторы утверждают, что использование кумулятивных карт позволяет оценить, а также спрогнозировать поведение процесса в виду высокой чувствительности метода кумулятивных сумм. Другие же

исследователи не только подтверждают эффективность этого статистического метода, но и применяют различные программные среды для построения *CUSUM*-карт [7-10]. Следует отметить, что графическое представление *CUSUM*-карт обеспечивает высокую надежность применяемого метода. С другой стороны, *CUSUM*-карты не требуют обязательной графической обработки данных, особенно в условиях анализа большого массива данных с множеством переменных [11]. В таких случаях их табличная форма будет более репрезентативнее.

CUSUM-карты применяемые почти 70 лет, используются в самых разных отраслях промышленности от металлургии до здравоохранения. При этом пищевая отрасль промышленности – одна из самых требовательных отраслей в вопросах менеджмента качества, который неразрывно связан с вопросами обеспечения безопасности жизни и здоровья человека. Поэтому на производственных мощностях пищевых производств стремятся к тотальному контролю, в т.ч. за протеканием процесса и его выходом. Для этого используется огромное количество методов контроля, начиная от визуального контроля, заканчивая сложными видами количественного анализа. Именно адаптация *CUSUM*-карт для мониторинга за технологическими процессами, позволит мгновенно реагировать на изменения протекания процессов, что характерно для специфики пищевой промышленности.

Необходимо отметить также, что ряд авторских исследований подтверждают обоснованность применения *CUSUM*-карт при мониторинге за отдельными технологическими параметрами, а именно подчеркивается, что контрольная карта кумулятивных сумм способна выявлять изменения в протекании процесса даже при небольших его изменениях [12].

Исследователи из университета в Масвинго в ходе исследовательской работы по улучшению производственного процесса пива доказали, что многомерная карта кумулятивных сумм (*MCUSUM*) надёжна в интерпретации физико-химических параметров для процесса производства продукции [13]. Её принципиальное отличие от обычной *CUSUM*-карты кроется в возможности одновременного мониторинга за рядом параметров, значения которых многовариантны и влияют друг на друга. Действительно в пищевой промышленности имеет смысл применять не стандартную *CUSUM*-карту, а её модификации, делая поправку на количество отслеживаемых параметров

(*MCUSUM*), на протекание процесса при неизвестных контролируемых параметрах (*CUSUM Q*) и др.

Актуальность работы обусловлена осложнённой интеграцией цифровых решений на производственные мощности пищевых производств, где внедряемые технологии, в большинстве случаев, направлены на решение вопросов обеспечения качества и безопасности продукции.

Методология. Одним из ведущих предприятий пищевой промышленности в Ярославском регионе выступает пивоваренный завод «Ярпиво» [14]. На данном предприятии функционирует интегрированная система менеджмента, которая должна обеспечивать минимальное число несоответствий при выпуске продукции. Однако ввиду традиционного подхода к организации производства велика вероятность выпуска некачественной пищевой продукции, что в свою очередь отражается на адекватности прогноза не только протекания производственного процесса, но и уровня развития предприятия [15].

Один из наиболее ответственных этапов процесса пивоварения – это варка суслу, способствующая его стерилизации, инактивации ферментов, а также приданию вкуса [16-18]. Технологический процесс варки суслу на рассматриваемом предприятии состоит из 8 более мелких подпроцессов, среди которых подпроцесс затирания солода является критериальным. При осуществлении процесса затирания используются различные вспомогательные вещества, в том числе молочная кислота. Оптимальное содержание молочной кислоты в процессе подкисления затора не только снижает величину *pH* до требуемого значения (3,8-4,8), но и влияет на цвет пивной продукции, а также вкус [19, 20]. Другой технологический компонент представляет собой важный фермент β -амилаза, используемый в процессе затирания и отвечающий за расщепление молекул мальтозы, содержание которых изменяется в зависимости от температуры варки, что отражается на ферментативности суслу (крепости напитка) [21].

В данной статье показаны результаты мониторинга за технологическим процессом производства пива светлого на рассматриваемом предприятии «Ярпиво», в контексте прогнозирования и оценки качества выпускаемой продукции при применении *CUSUM*-карт.

Принципы построения и интерпретации кумулятивных контрольных карт основывались на стандартизированном подходе, в том числе идентификация причин статистической неуправляемости процесса с применением усеченной *V*-маски [22]. *CUSUM*-карты использовались в качестве диагностического инструмента для анализа данных технологического процесса и позволили определить, когда в процессе производства происходят существенные сдвиги и тенденции, определяющие качество выпускаемой продукции. Кроме того, адаптация *CUSUM*-карт позволила изучить взаимосвязи между различными технологическими параметрами. Построение кумулятивных контрольных карт создает предпосылки для изучения различий и определения таких технологических параметров, когда происходят существенные сдвиги, что и является несомненным достоинством *CUSUM*-карт при прогнозировании и оценке качества выпускаемой продукции.

Результаты. Эффективность применения *CUSUM*-карт в вопросах прогнозирования и оценки качества продукта доказано на примере содержания молочной кислоты и температуры β -амилазы в производстве светлого пива. Поэтому был сформирован массив данных, полученный в результате 12 недельного (период исследования – краткосрочный) контроля за производством.

Результаты краткосрочного наблюдения за концентрацией молочной кислоты представлены в таблице 1. В качестве опорного значения исследуемого параметра было принято значение в 1,96 г/л.

Представленная табличная форма данных наблюдений не выявляет значительных отклонений в протекании процесса, что характеризует его как стабильный, возможный к адекватному прогнозированию. Далее в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7870-4-2013 строится *CUSUM*-карта.

При преобразовании табличных данных в графический вид, был наложен шаблон усеченной *V*-маски на последнюю точку (12 наблюдение) карты. В целях расчёта интервалов решений было вычислено 0 среднеквадратичное отклонение (СКО), численно равное $\sigma \approx 0,019$. Тогда размеры маски относительно линии отсчёта составляли 0,19 и 0,095 слева на право (рис. 1).

Таблица 1 – Данные для построения *CUSUM*-карты при отслеживании концентрации молочной кислоты

Наблюдение	Концентрация молочной кислоты, г/л	Отклонение от опорного значения	Кумулятивная сумма отклонений
1	2	0,04	0,04
2	1,99	0,03	0,07
3	1,96	0	0,07
4	1,95	-0,01	0,06
5	1,96	0	0,06
6	1,97	0,01	0,07
7	1,95	-0,01	0,06
8	1,94	-0,02	0,04
9	1,94	-0,02	0,02
10	2	0,04	0,06
11	1,95	-0,01	0,05
12	1,95	0	0,05

Представленная *CUSUM*-карта мониторинга содержания молочной кислоты свидетельствует о том, что отсутствуют существенные изменения среднего процесса по отношению к целевому значению. т.к. ни одна из точек не касается разрешающих линий (рис. 1). Соответственно, процесс характеризуется высокой управляемостью и требуемым качеством. Что позволяет сделать следующее суждение: в случае нормального протекания процесса – значения контролируемого параметра будут в непосредственной близости от опорного значения.

Построение *CUSUM*-карты на основе данных о

значении концентрации фермента β -амилазы. Рассмотрение второго параметра происходило по аналогии с первым с отличием на изменённое опорное значение (табл. 2).

Анализ табличных данных демонстрирует восходящий тренд, т.е. большинство точек (наблюдений) выше опорного значения. Строя *CUSUM*-карту, был наложен шаблон усечённой *V*-маски на последнюю точку (12 наблюдение). В то время как расчётное значение СКО оказалось равным 0,92. Соответственно, размеры маски относительно линии отсчёта составили 9,2 и 4,6 слева на право (рис. 2).

Таблица 2 – Данные для построения *CUSUM*-карты при отслеживании температуры фермента β -амилазы

Наблюдение	Температура фермента β -амилазы, °С	Отклонение от опорного значения (63 °С)	Кумулятивная сумма отклонений
1	63	0	0
2	64	1	1
3	63,5	0,5	1,5
4	62,5	-0,5	1
5	62	-1	0
6	64	1	1
7	64,5	1,5	2,5
8	63,5	0,5	3
9	64	1	4
10	64,5	1,5	5,5
11	62	-1	4,5
12	63	0	4,5

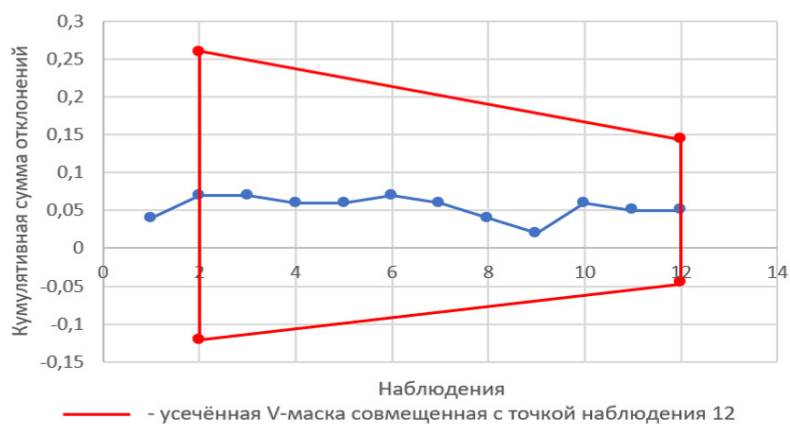


Рисунок 1 – *CUSUM*-карта мониторинга содержания молочной кислоты

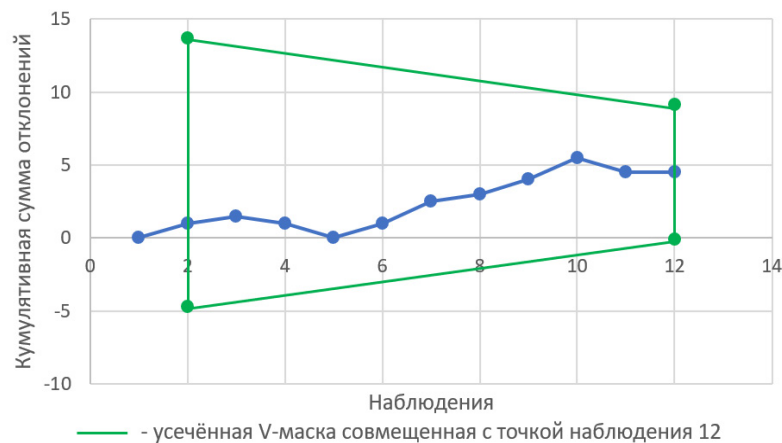


Рисунок 2 – *CUSUM*-карта мониторинга температуры β -амилазы

CUSUM-карта подтверждает сделанный ранее вывод по таблице 2. Кумулятивная карта действительно демонстрирует существенное увеличение среднего процесса по отношению к целевому значению. Поэтому в целях повышения скорости обнаружения значительных сдвигов от опорного значения было принято наложить полупараболическую *V*-маску, которая предпочтительна для выбранной отрасли промышленности (рис. 3).

Т.е. средняя длина серии (такое количество наблюдений, позволяющее достоверно определить изменение процесса) должна стремиться к минимальному значению, т.е. к 1, чтобы последующее наблюдение позволило окончательно зафиксировать

существенное изменение процесса. Это послужило доводом в пользу выбора полупараболической *V*-маски, которая до сдвига в 1 СКО обеспечивает минимальную среднюю длину серии в сравнении с другими шаблонами масок.

Результат наложения шаблонов масок по второму параметру характеризует процесс как стабильный, склонный к адекватному прогнозированию. Однако, в случае сохранения тренда, контролируемый параметр может выйти за границы, установленные техническими условиями предприятия, а 5 и 11 наблюдение может оказаться в непосредственной близости разрешающей линии или даже указать на возникновение серьёзного отклонения процесса.

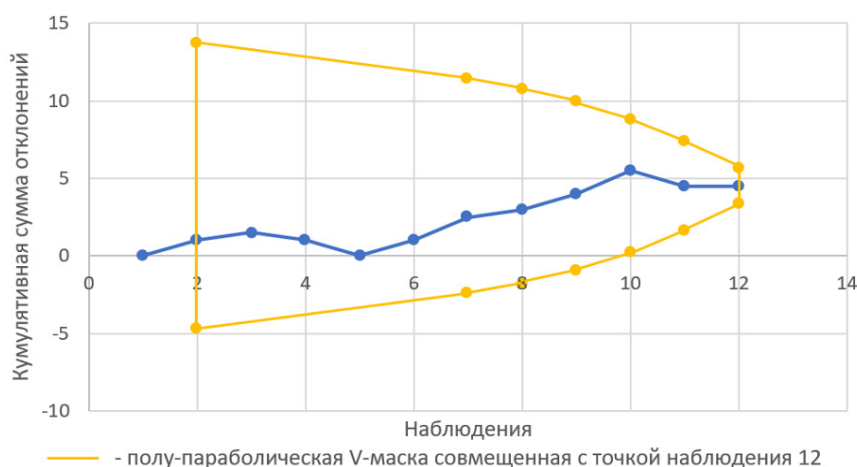


Рисунок 3 – *CUSUM*-карта мониторинга температуры β -амилазы: повторное построение

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают эффективность адаптации *CUSUM*-карты при прогнозе качества выпускаемой продукции, однако ряд исследователей утверждают, что адаптация *CUSUM*-карт требуют детальной проработки в условиях различных производств:

– Marcin Brzeziński (2018) характеризует *CUSUM*-карту как полезный статистический инструмент реагирующий на незначительные отклонения процесса от опорного значения, параллельно подчёркивает, что карта кумулятивных сумм обретёт большую ценность, если будет строиться в купе с *I/MR* картой [23];

– Barbara Uliasz – Misiak, Joanna Lewandowska – Śmierczalska и Rafał Matuła (2022) отмечают быстроту и раннее распознавание изменения процесса как преимущество карты *CUSUM*, при этом выделяя её недостаток как трудоёмкость и сложность её вычислений [24]. При этом исследователи предлагают использовать программные среды для автоматизации процесса построения карт, с чем частично не согласны авторы (данной работы). Свои слова подтверждают тем, что при небольшой выборке наблюдений (до 20) использование программных средств не является обязательным, в виду малой трудоёмкости;

– Muhammad Aslam, Ambreen Shafqat, Mohammed Albassam, Jean Claude Malela-Majika, Sandile C. Shongwe (2021) предлагают новую редакцию *CUSUM*-карты *NCUSUM*, основанной на нейтрософии [25]. Её отличительная особенность в виде большей чувствительности к обнаружению изменений проявляется в условиях неопределённости, где классические контрольные карты неэффективны.

Все вышеперечисленные исследователи подтверждают, что применение полупараболической *V*-маски на предприятиях пищевой промышленности целесообразнее усечённой *V*-маски по причине большей чувствительности к изменениям протекания процесса. Однако, её построение осложнено большим количеством вычислений. Поэтому авторы рекомендуют применять шаблон полупараболической *V*-маски исключительно после выявления существенных изменений на этапе интерпретации табличных данных.

Выводы. Резюмируя все вышеизложенное необходимо отметить, что карты кумулятивных сумм являются полезным статистическим инструментом при анализе данных и прогнозировании оценки качества продукции. Именно адаптация *CUSUM*-карт помогает определить, когда происходят значительные сдвиги в технологическом процессе производства пищевой

продукции. И обеспечивая непрерывный мониторинг в отмеченные периоды сдвига за параметрами технологического процесса создаются объективные предпосылки для выявления статистически значимых эффектов. В частности, можно однозначно заключить – увеличиваются или уменьшаются сдвиги, а также относительные размеры сдвигов.

Карты кумулятивных сумм не требуют значительных ресурсов, в т.ч. финансовых и материальных, а также – долгой подготовки специалиста, ответственного за качественное протекание процесса. При этом их универсальность позволяет применять их (CUSUM-карты) в самых различных видах деятельности будь то создание пищевого продукта или оказание медицинской помощи [12, 26].

Следует также отметить, что даже после интеграции цифровых решений не рекомендуется мгновенно забывать решения прошлых лет, хотя бы с целью контроля интегрированных достижений. Так, ещё 2006 году W.R. Chang и I.P. McLean установили, что CUSUM-карты целесообразно использовать как средство оценки при изменении процедуры осуществления процесса [27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Маслов В.И., Лукьянов И.В. Четвертая промышленная революция: истоки и последствия // Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. – 2017. – № 2. – С. 38-48.
2. Музыка М.Ю., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г., Головин В.В., Благовещенская М.М., Качура И.А. Технические решения для реализации программно-аппаратного комплекса управления качеством пищевой продукции // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – № 4 (90). – С. 49-56.
3. Балыхин М.Г., Благовещенский И.Г., Борзов А.Б. Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. – 2017. – № 11. – С. 60-63.
4. Rasheed A., San O., Kvamsdal A.T. digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective A. Rasheed, O. San, A.T. Kvamsdal // IEEE Access. 2020. – P. 21980-22012.
5. Федорович Н.Н., Федорович А.Н. Применение карт кумулятивных сумм для контроля показателей качества природного газа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 82-87.
6. Novoa N.M., Varela G. Monitoring surgical quality: the cumulative sum (CUSUM) approach // Mediastinum. – 2019.
7. Борбаць, Н. М. Практическая реализация контрольной карты кумулятивных сумм / Н. М. Борбаць, Т. В. Школина // Качество в производственных и социально-экономических системах: Сборник научных трудов 9-й Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Курск, 16 апреля 2021 года / Редколлегия: Е.В. Павлов (отв. ред.). – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 86-90. – EDN XLBODQ.
8. Лукинский, В.А. Мониторинг показателей качества очистки воды / В.А. Лукинский // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2020): XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых : сборник научных трудов, Ульяновск, 25-26 ноября 2020 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2021. – С. 117-121. – EDN WFTRDL.
9. Применение контрольных карт для контроля стабильности процесса транспортировки сред по промышленным трубопроводам / Г.И. Середжинова, А.В. Алферов, П.В. Виноградов [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19. – № 4. – С. 57-62. – DOI 10.17122/ngdolo-2021-4-57-62. – EDN RALLJP.
10. Петухов С.А., Смирных А.Ю., Иванов В.А. Разработка метода контроля состояния МОП на основе мониторинга количества заправляемого масла при проведении технического обслуживания // Наука и образование транспорта. – 2022. – № 1. – С. 100-103.
11. Уланова, А.В. Анализ экономических показателей предприятия с помощью метода контрольных карт кумулятивных сумм / А.В. Уланова, Е.С. Орлова // Цифровая трансформация: тенденции и перспективы : Сборник трудов I Международной научно-практической конференции, Москва, 21 декабря 2022 года / Под редакцией Н.Л. Кетовой и М.Т. Заргарян. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Мир науки", 2022. – С. 123-132. – EDN KDNZXA.
12. Chamalwa H.A., Umar A.A., Bakari H.R. A Quality Control Analysis for Improvement of Product Using Cumulative Sum (CUSUM) and Exponentially Weighted Moving Average (EWMA). – 2017. – № 12 (3). – P. 49-76.
13. Mawonike R., Chigunyeni B., Chipumuro M. Process improvement of opaque beer (chibuku) based on multivariate cumulative sum control chart // Journal of the Institute of Brewing. 2017. № 124. p. 16-22.
14. Пивзавод Ярпиво [Электронный ресурс]: URL: <https://yarpivo.ru/>
15. Гулин, В.М. Применение технологии цифрового двойника в пищевой промышленности на примере завода «Ярпиво» / В.М. Гулин, С.А. Царева // Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 21-24 сентября 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2022. – С. 68-73. – EDN VPHYZRB.
16. Лопалева Н.Л. Основы пивоваренного производства // Аграрное образование и наука. – 2022. – № 2. – С. 7-16.
17. Aroh K. Review: Beer Production // SSRN Electronic Journal. – 2019.
18. Ronnie W. Wort boiling today // Cerevisia - Belgian Journal of Brewing and Biotechnology. – 2001. – № 26. – P. 217-230.
19. ГОСТ 31711-2012. Межгосударственный стандарт Российской Федерации. Пиво. Общие технические условия. – Стандартинформ, 2019. – 15 с.
20. Ciosek A., Rusiecka I., Poreda A. Sour beer production: impact of pitching sequence of yeast and lactic acid bacteria // Journal of The Institute of Brewing. – 2019. – №1. – P. 53-58.
21. Zhang H.T, Chen T.L, Zhang B.L, Wu D.Z, Huang Y.C, Wu F.B, Zhang G.P. Variation in β -amylase activity and thermostability in Tibetan annual wild and cultivated barley genotypes // Journal Zhejiang University. Science. – 2014. – №. 35 (6). – P. 801-808.
22. ГОСТ Р ИСО 7870-4-2013 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 4. Карты кумулятивных сумм. – Стандартинформ, 2014. – 73 с.
23. Marcin B. Application of I / MR and cusum control charts to evaluate the quality of cast steel in induction furnaces // Archives of Metallurgy and Materials. – 2018. – № 1. – P. 99-104.
24. Uliasz-Misiak B., Lewandowska – Śmierczalska J., Matula R. Statistical approach to water exploitation management based on CUSUM analysis // Water Resources and Industry. – 2022. – № 27. – 100166.
25. Aslam M., Shafiqat A., Albassam M., Malela-Majika J.C., Shongwe S.C. A new CUSUM control chart under uncertainty with applications in petroleum and meteorology // PLoS One. – 2021. – 16 (2).
26. Fortea-Sanchis C., Escrig-Sos J. Técnicas de control de calidad en cirugía. Aplicación de las gráficas de control cumulative sum // Cir Esp. – 2019. – № 97. – P. 65-70.
27. Chang W.R., McLean I.P. CUSUM: a tool for early feedback about performance? // BMC Med Res Methodol. – 2006. – № 8.

Статья поступила в редакцию 01.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 004.89:004.93

EDN: QCVIQN

**СТРУКТУРА БАЗ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ,
СИНТЕЗИРУЮЩИХ 3D-МОДЕЛЬ РАЙОНА ПОЛЁТОВ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА**

© Автор (ы) 2023

SPIN: 2525-0079

AuthorID: 212

ORCID: 0000-0002-4498-9821

ResearcherID: E-8018-2018

ScopusID: 57195506668

РОГАНОВ Владимир Робертович, доцент кафедры «Информационные технологии и системы»
Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 4859-4252

AuthorID: 719959

ORCID: 0000-0003-2868-3483

ResearcherID: ADS-9870-2022

ScopusID: 57658279900

ЧЕТВЕРГОВА Мария Владимировна, доцент кафедры «Информационные технологии и системы»
Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: marysha85@inbox.ru)

SPIN: 7733-6110

AuthorID: 958273

ORCID: 0000-0002-9983-7067

ScopusID: 57201443964

КУВШИНОВА Ольга Александровна, старший преподаватель
кафедры «Информационно-вычислительные системы»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, улица Германа Титова, д.28, e-mail: oly791702@mail.ru)

ШАМСУЛДИН Хайдар Абдулваххаб Хайдар, аспирант

Тамбовский государственный технический университет
(392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2, e-mail: econom@tstu.ru)

Аннотация. Авиационные тренажёры предоставляют возможность обучать лётчика профессиональным навыкам пилотирования летательных аппаратов и решению задач самолетовождения при управляемом полёте модели летательного аппарата над 3D-моделью района полёта. Это возможно при моделировании в режиме реального времени: работы всех узлов летательного аппарата; взаимодействия атмосферы и модели летательного аппарата на всех режимах полёта; взаимодействия наземных радиотехнических средств самолётовождения с самолётными средствами самолётовождения; визуальной 3D-модели районаполёта. Для обучения лётчика пилотированию летательного аппарата практически все задачи успешно решены и получены положительные результаты. Однако недостаточный размер моделируемого участка 3D-модели районаполёта не позволяет обучать лётчика визуальному полёту по маршруту с ориентацией в поворотных пунктах маршрута по 3D-моделям реперных объектов. Основной причиной такого положения дел является сложность организации запросов из базы данных компьютерных генераторов изображения, имитаторов визуальной обстановки, где хранится информация о всех примитивах, разнесённых по 3D-модели района полётов, из которых набираются 3D-модели реперных объектов. В статье проведён анализ методов хранения такой организации и организации запросов.

Ключевые слова: авиационный тренажёр, 3D-модели местности, имитатор визуальной обстановки, структура базы данных, решение задачи взаимозакрываемости 3D-моделей при подвижном наблюдателе.

**DATABASE STRUCTURE OF COMPUTER IMAGE GENERATORS SYNTHESIZING
3D-MODEL OF AVIATION SIMULATOR FLIGHT AREA**

© The Authors 2023

ROGANOV Vladimir Robertovich, associate professor of the Department of Information Technologies
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: vladimir_roganov@mail.ru)

CHETVERGOVA Maria Vladimirovna, associate professor of the Department of Information Technologies
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: marysha85@inbox.ru)

KUVSHINOVA Olga Alexandrovna, senior lecturer of the Department of Information Computing Systems
Penza State University of Architecture and Construction

(440028, Russia, Penza, German Titov street, 28, e-mail: oly791702@mail.ru)

SHAMSULDIN Haidar Abdulvahhab Haidar, postgraduate student

Tambov State Technical University

(392000, Russia, Tambov, Sovetskayast., 106/5, room 2, e-mail: econom@tstu.ru)

Abstract. Aviation simulators provide an opportunity to train a pilot in the professional skills of piloting aircraft and solving problems of aircraft navigation during controlled flight of an aircraft model over a 3D-model of the flight area. This is possible when simulating in real time: the operation of all units of the aircraft; interaction between the atmosphere and the aircraft model in all flight modes; interaction of ground-based radio navigation aids with aircraft navigation aids; visual 3D-model of the flight area. Practically all tasks for training a pilot to pilot an aircraft have been successfully solved and positive results have been obtained. However, the insufficient size of the simulated section of the 3D-model of the flight area does not allow training the pilot to visually fly along the route with orientation at the turning points of the route according to 3D models of reference objects. The main reason for this state of affairs is the complexity of organizing queries from the database of computer image generators of visual environment simulators, which stores information about all primitives spaced along the 3D model of the flight area, from which 3D-models of reference objects are collected. The article analyzes the storage methods of such an organization and organization of requests.

Keywords: flight simulator, 3D-terrain models, visual situation simulator, database structure, solution of the problem of mutual closure of 3D-models with a moving observer.

Для цитирования: Роганов В.Р. Структура баз данных компьютерных генераторов изображения, синтезирующих 3D-модель района полётов авиационного тренажёра / В.Р. Роганов, М.В. Четвергова, О.А. Кувшинова, Х. Шамсудин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62)– С. 41-47. – EDN: QCVIQN.

Введение. Авиационные тренажёры (АТ) [1] были разработаны для предотвращения несчастных случаев, при обучении лётчиков пилотированию летательных аппаратов [2]. Эта первоначально поставленная задача успешно выполнена [3]. В настоящее время все лётчики в обязательном порядке проходят обучение на комплексных и специализированных авиационных тренажёрах, для приобретения профессиональных навыков пилотирования летательного аппарата в строго оговоренных заказчиком учебных ситуациях [4]. В соответствии с ранее поставленными задачами обучения лётчиков, при разработке АТ по-прежнему доминируют учебные ситуации, [5] направленные на обучение лётчика профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата в нормальных и предаварийных ситуациях [6], а также решению задач самолётовождения при полётах в «сплошной облачности» [7], то есть с ориентацией только по показаниям имитаторов приборов кабинного оборудования [8].

Поставленные задачи в авиационном тренажёре решают: имитатор динамики [9], имитатор взаимодействия модели планера летательного аппарата с моделью атмосферы [10], имитаторы всех узлов моделируемого летательного аппарата с выводом показаний их работоспособности на имитаторы приборов модели кабины летательного аппарата [11]. Имитаторы АТ – как правило, это программно-технические системы, синтезирующие за цикл режима реального времени (от 80 до 120мс), информацию об изменении условий работы основных узлов летательного аппарата, в соответствии, как с управляющими воздействиями лётчика заданными перемещением имитаторов органов управления летательного аппарата, так и откликом поведения планера модели летательного аппарата на взаимодействие с моделью атмосферы (с учётом положения виртуальных рулей модели летательного

аппарата и модели атмосферы) [12]. Эти задачи требуют проведения исследований физических процессов, протекающих в узлах летательного аппарата и при взаимодействии планера летательного аппарата с атмосферой [13]. Опыт разработки и эксплуатации авиационных тренажёров показал, что увеличение числа учебных ситуаций возможно при добавлении обучения лётчика решению задач самолётовождения [14] при полётах по маршруту с визуальной ориентацией по 3D-моделям реперных объектов [15] в поворотных пунктах маршрута [16].

Обучение лётчика решению навигационных задач [17] при управлении им модели летательного аппарата, перемещающейся над 3D-моделью района полётов [18], возможно, при разработке 3D-модели района полётов заданного заказчиком, и распознаваемым лётчиком при полёте на АТ, как распознанный им заданный район полётов, в соответствии с его полётным заданием и картой местности [19].

Методология. Задача синтеза в режиме реального времени полёта заданной 3D-моделью района полётов распадается на ряд подзадач [20]:

- выбор комплекса технических средств эргатической оптико-программно-технической системы имитатора визуальной обстановки [21] погружающей лётчика в виртуальное пространство воспринимаемые им, как визуально наблюдаемое реальное пространство за кабиной летательного аппарата во время полёта, в котором он может с помощью глазомера оценивать расстояние до 3D-моделей реперных объектов размещённых на подстилающей поверхности 3D-модели района полётов [22];

- разработки конструкции 3D-моделей реперных объектов, распознаваемые лётчиком как привычные ему 3D-объекты [23];

- управление процессом синтеза [24] 3D-моделей

реперных объектов [25] на разных дистанциях наблюдения [26].

Управление процессом синтеза предполагает разработку структуры базы данных компьютерных генераторов изображения [27] минимизирующих время обработки запросов на извлечение информации в виде территориально распределённых управляющих [28] и визуальных примитивов [29] из которых набираются неподвижные 3D-модели реперных объектов [30], а также подвижные 3D-модели реперных объектов [31], образы которых вставляются в каждый t_i момент времени в заданную точку 3D-модели района полётов, как объекты дополненной реальности [32]. Структура базы данных отражает структуру 3D-модели района полётов [33]. Эта сложная задача [34] для конструирования 3D-модели района полётов, в настоящее время решена частично [35]. Поэтому по-прежнему структура 3D-модели района полётов предполагает разработку 3D-модели незначительного участка (рис. 1) в центре с 3D-моделью ВПП (рис. 2) и ближайшими 3D-моделями реперных объектов.

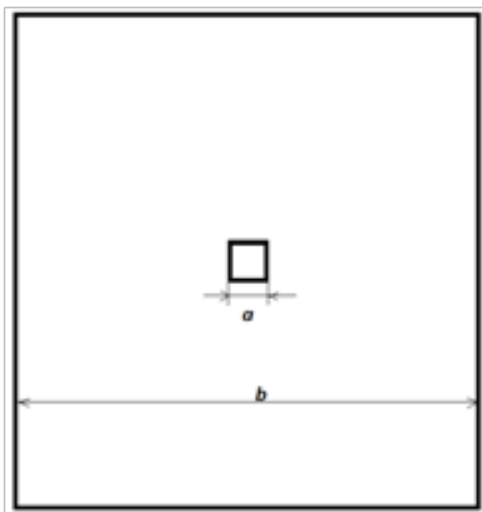


Рисунок 1 – Конструкция 3D-модели района полётов размером $b \times b$ (плоский район размером от 400×400 км до 1500×1500 км), в центре модель участка 3D-модель аэродрома a (меньше 10×10 км) с 3D-моделью ВПП и 3D-моделями реперных объектов

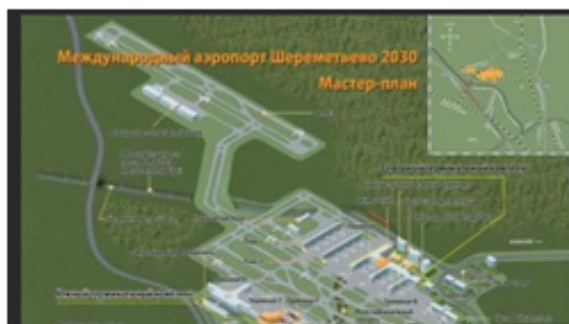


Рисунок 2 – 3D-модель международного аэропорта Шереметьево в центральном сегменте 3D-модели района полётов [36]

Такой подход позволяет использовать все ресурсы компьютерного генератора изображения [37], который

синтезирует на плоскости подключённого к нему дисплея в режиме реального времени видеоряд из центральных 2D-проекции всего 3D-района попавшего в камеру наблюдения [38]. Изображения синтезированного видеоряда попадают в глаза человека через оптику, которая активизирует заданные составляющие зрительного аппарата человека (в зависимости от типа выбранного 3D-индикатора), что позволяет лёгчику видеть 3D-объект и при этом профессионально тренировать свой глазомер [39], а также не использовать методы исследования операций [40] для распределения ресурсов компьютерного генератора изображения по всей 3D-модели района полётов.

Общей схемой постановки задачи распределения ресурсов компьютерного генератора изображения по всей квадратной 3D-модели района полётов, с длиной стороны от 400 км до 1500 км. Вся 3D-модель района полётов считается нулевым сегментом, к координатам которого привязаны постоянные модели Солнца, неба и боковых 3D-полигонов общего параллелепипеда, а также общая подстилающая поверхность. На сегодняшний день сегмент нулевого уровня делится квадратные сегменты первого уровня с длиной стороны «а» (рис. 3) (в ряде случаев вместо квадратов применяются равносторонние прямоугольные треугольники, чтобы отследить рельеф поверхности моделируемого района).

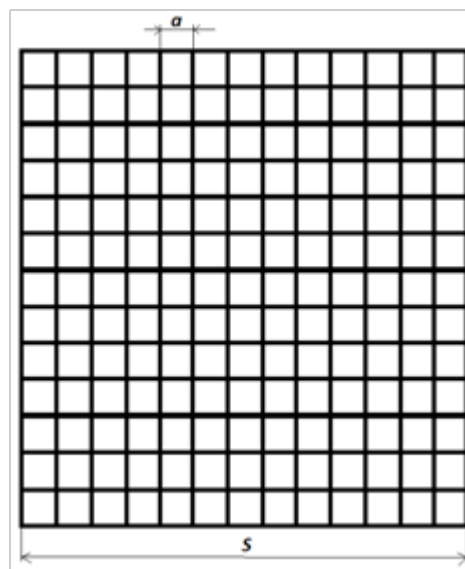


Рисунок 3 – Схема деления всей 3D-модели района полётов на квадратные сегменты первого уровня

На первом этапе синтеза изображения используются управляющие примитивы условно названные «охватывающая сфера». Это аналог условного оператора в привычном программировании. Охватывающие сферы могут иметь разную форму: квадрат, треугольник, шестиугольник.

Охватывающая сфера по дальности включает в себя описание всех примитивов, принадлежащих модели района, и направляет их на дальнейшую обработку, если наблюдатель находится на расстоянии не более заданного в описании конкретной

охватывающей сферы.

Охватывающая сфера по направлению включает в себя описание всех примитивов принадлежащих модели района и направляет их на дальнейшую обработку, если модель привязанного к этому управляющему примитиву телесного угла охватывает все сегменты следующего уровня с принадлежащими им примитивами разного уровня.

Вначале синтеза 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов попавших в камеру наблюдения и находящихся от наблюдателя на расстоянии ближе заданной дистанции видимости (определяется до центра рассматриваемых охватывающих сфер) перебираются все охватывающие сферы (по алгоритму, предполагающему использование охватывающих сфер и по дальности и по направления) с целью отсечь ту часть 3D-модели района полётов, содержащая обработку примитивов, которая в данный момент не целесообразна.

Появляется задача – распределить все примитивы по сегментам первого уровня. За основу берётся время обработки сегментов первого уровня и 3D-полигонов принадлежащих нулевому сегменту. Далее решается задача распределения оставшегося ресурса компьютерного генератора изображения (исследования показали, что наиболее целесообразно рассчитывать этот ресурс во время оставшемся на обработку примитивов). С этой целью разрабатывается структура базы данных, позволяющая по запросам максимизировать время на обработку примитивов принадлежащих выбранным сегментам первого уровня и с минимальным временем обработки самого запроса.

Есть иные методы решения данной задачи. Один из них – расположить сегменты первого уровня содержащие 3D-модели реперных объектов на расстоянии друг до друга исключая возможность включения в обработку 3D-моделей реперных объектов, находящихся в другом сегменте. Если учесть, что дальность видимости в атмосфере при полётах над Европой 30 км, то задав размер « $a=60$ км» (при попадании в такой сегмент не видны 3D-модели реперных объектов расположенные далее 30 км) и разместив между ближайшими такими сегментами как минимум два «пустых» сегмента, полёт над которыми предполагается в условиях «сплошной облачности», при использовании компьютерного генератора «Аксай» (производство НПП «Эра», г. Пенза), то получим следующий график (рис. 4). Заметим, что используем только целочисленные значения, а полученные точки соединили между собой исключительно с целью наглядности. Учитывая, что мы имеем дело только с целым числом примитивов – это задача целочисленного программирования. Авторы рассматривали три варианта решения этой задачи: первый алгоритм Гомори, метод ветвей и границ, решение градиентным методом с направленным перебором получающихся результатов. Каждый имеет свои достоинства и недостатки. В первом

приближении достаточно использовать градиентный метод. Используя его для оценки возможности применения компьютерного генератора «Аксай» с заявленной производительностью 1000 примитивов или 4000 моделей огней получено подтверждение, что эта задача исследования операций (рис. 4).

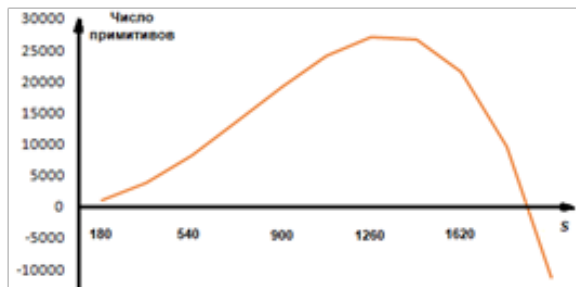


Рисунок 4 – Зависимость числа примитивов (которые можно разместить в сегментах первого уровня, разнесённых по площади 3D-модели района полётов) от размера 3D-модели района полётов, начиная от 180×180 км с одним сегментом (с 3D-моделями реперных объектов) далее при четырёхкратном увеличении площади 3D-модели района полётов с сегментами (с 3D-моделями реперных объектов)

Есть вариант разработки программно-технической системы «компьютерный генератор изображения» с быстрой заменой сегмента первого уровня на другой за время подлёта к нему. Тогда схема нулевого сегмента выглядит так (рис. 5).

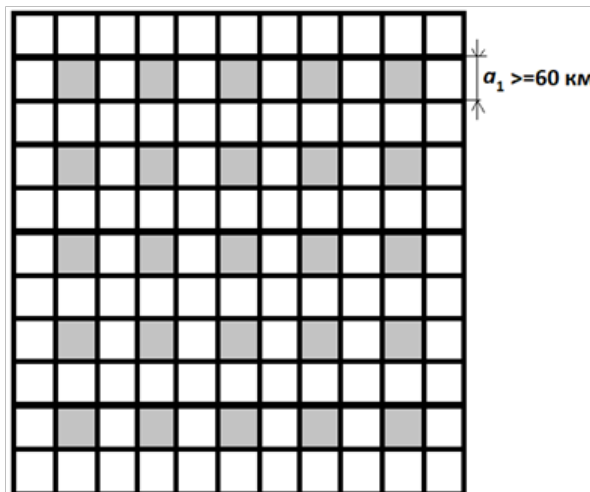


Рисунок 5. – Деление нулевого сегмента на сегменты первого уровня с 3D-моделями реперных объектов (закрашенные сегменты серым цветом) и на сегменты без 3D-моделей реперных объектов полёт над которыми разрешен в условиях «сплошной облачности» (сегменты закрашенные белым цветом)

Такой вариант имеет следующие недостатки:

- 1) необходимо разрабатывать компьютерные генераторы изображения, обеспечивающие своевременную замену одной группы сегментов на другую;
- 2) невозможность обеспечить полёт над непрерывно изменяемым изображением 3D-модели района полётов, что сейчас можно осуществить за счёт

разработки структуры базы данных с оптимальным числом примитивов с учётом производительности выбранного компьютерного генератора изображения и поставленных перед разработчиками АТ задач обучения лётчиков;

3) сложность совмещения 3D-моделей реперных объектов, наблюдаемых лётчиком в зрительном диапазоне световых волн и через другие имитаторы, синтезирующих 3D-проекции 3D-моделей реперных объектов видимых в других диапазонах световых волн (например, в ИК-излучении), что в условиях различной дальности видимости предполагает разные размеры сегментов первого уровня.

Результаты. Показано, что:

– в зависимости от задач, поставленных Заказчиком перед разработчиками авиационного тренажёра используются различные структуры баз данных компьютерного генератора изображения (наиболее простая и поэтому наиболее часто используемая база данных предполагает наличие одного сегмента первого уровня с 3D-моделями реперных объектов, по которым лётчик решает задачи визуальной ориентировки в пространстве – например при заходе на посадку на 3D-модель ВПП. Все остальные сегменты не содержат 3D-моделей реперных объектов, так полёт над ними предполагается в «сплошной облачности»);

– при использовании компьютерного генератора изображения с базой данных, предполагающей быструю смену одного сегмента первого уровня на другое количество примитивов разрешенных для конструирования 3D-моделей реперных объектов, будет увеличиваться пропорционально числу сегментов, в которых могут быть размещены 3D-модели реперных объектов и это число можно рассчитать по формуле

$$P_s = \left(P - \sum_{n=1}^N i_n \right) \times i_a,$$

где P_s – общее число примитивов, которые возможно разместить в 3D-модели района полётов;

P – производительность выбранного компьютерного генератора изображения;

N – число сегментов первого уровня;

i_n – число сегментов i_n второго уровня в сегменте первого уровня, по умолчанию берётся за “1”;

i_a – число сегментов, где размещены 3D-модели реперных объектов и эти сегменты находятся на расстоянии друг от друга более 120 км.

Обсуждение. Сложность решения задачи распределения ресурсов компьютерного генератора изображения по всей указанной Заказчиком 3D-модели района полётов предполагает использование разработчиками авиационных тренажёров базы данных с одним сегментом в центре 3D-модели района полётов, что достаточно для обучения лётчика профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата. Для добавления учебных ситуаций, когда необходимо решать задачи самолё-

товождения при полёте по маршруту с визуальным контролем прохождения 3D-модели реперного объекта в поворотном пункте маршрута необходимо разработать алгоритм распределения ресурсов используя методы целочисленного программирования, что доказывает предварительное распределение ресурсов с использованием методов градиентного перебора исходных данных для поиска возможного оптимального решения.

Выводы. Для увеличения числа учебных ситуаций, разрешенных Заказчиком при полётах на авиационном тренажёре необходимо разработать конструкцию 3D-модели района полётов распределив ресурсы компьютерного генератора изображения таким образом, чтобы не превысить общую производительность компьютерного генератора изображения и одновременно синтезировать для лётчика достаточно насыщенное изображение модели местности над которой он пролетает, чтобы он смог ориентироваться по 3D-моделям реперных объектов в поворотных пунктах маршрута.

При невозможности решения задачи конструирования 3D-модели района полётов с достаточным числом 3D-моделей реперных объектов необходимо или заменить компьютерный генератор изображения на более производительный, или исключить решение задач самолётовождения с ориентацией по 3D-моделям реперных объектов во время маршрутного полёта на авиационном тренажёре.

Возможен вариант использования компьютерного генератора изображения с базой данных, позволяющей за время пролёта над сегментом первого уровня в «сплошной облачности» заменить сегмент с 3D-моделями района полётов, над которым уже пролетели на новый сегмент с другими 3D-моделями реперных объектов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-10046, <https://rscf.ru/project/23-21-10046/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шукшунов, В.Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Под ред. В.Е. Шукшунова // М.: Машиностроение, 1986.– 240 с.
2. Красовский, А.А. Авиационные тренажеры / А.А. Красовский, В.И. Лопатин и др. // М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1992.– 320 с.
3. Ильин В.Б. Летные исследования характеристик бортовой аппаратуры СНС при ее работе с различными глобальными навигационными спутниковыми системами / В.Б. Ильин, И.А. Копылов, Е.Г. Харин, В.А. Копелович, А.Ф. Якушев, П.Ю. Жабин // В сборнике: XXIX Санкт-петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов. Санкт-Петербург, 2022.– С. 311-315.
4. Мамонтов Е.В. Человеческий фактор и безопасность полетов при управлении воздушным движением // Надежность и качество сложных систем. – №1 (37). – 2022. – С. 41-45.
5. Головин С.М. Риск потери навыка решения проблем в условиях неопределенности пилотами гражданской авиации // Надежность и качество сложных систем. – №2 (22). – 2018. – С. 67-72.

6. Godunov A.I., Mandrikov V.I. "Some aspects of estimating the adequacy of flight simulator to real aircraft" in *Automation and Remote Control*. – 2010. – Vol. 71. – N 8. – P. 1705-1710.
7. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС ГА-86). М.: «Воздушный транспорт», 1987. – 287 с.
8. Roganov V., Miheev M., Roganova E., Nurgozhin B.I., Filipenko V. "Main provisions for formation of cognitive model of visually observable environment synthesized for aircraft simulator" in *Advances in Engineering Research*. 2017. Vol. 133. – P. 671.
9. Годунов А.И. Оценка адекватности математических моделей объектов управления // *Труды международного симпозиума "Надежность и качество"*. – 2019. – Т. 1. – С. 13-15.
10. Годунов А.И., Сущик Д.М. Обработка и анализ полетной информации о пилотировании летчиком летательного аппарата // *Тр. международ. симпозиума "Надежность и качество"*. – 2016. – Т. 2. – С. 230-233.
11. Годунов А.И., Мандриков В.И., Сущик Д.М. Формализованные модели операций и средства отражения действий экипажа по управлению летательным аппаратом // В сб. *Проблемы автоматизации и управления в технических системах*. Сб. статей Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне: в 2 томах. Под ред. М.А. Щербакова. 2015. – С. 17-21.
12. Роганов В.Р. Моделирование внешней среды для авиационного тренажера // *Монография / М.: Изд. АйПиАрМедиа*, 2022. – 125 с.
13. Роганов В.Р. Особенности имитаторов авиационного тренажера, синтезирующих для летчика 3D-модели окружающего пространства в разном диапазоне световых волн // *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*, 2023, том 1. ПГУ, Пенза. 2023 – С. 91-94.
14. Vyatkin S.I., Dolgovssov B.S. "Convolution surfaces synthesis with recursive division of the object space" in *Avtometriya*. – 2002. – Vol. 38. – N 4. – pp. 58-65.
15. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Четвергова М.В. Программный модуль сортировки названий реперных объектов для формирования тезауруса реперных объектов трёх стен имитаторов, синтезирующих изображение местности, видимое через остекление кабины авиационного тренажера, на экране имитатора радиолокатора и на экране имитатора тепловизора // *Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020616157, 11.06.2020. Заявка № 2020615419 от 28.05.2020.*
16. Наумчик В.А. Использование автоматизированной интеллектуальной системы обработки изображений «Оператор» для диагностики изображений объектов при помощи медиального фильтра / В.А. Наумчик, И.А. Омельченко, И.С. Гришин, С.Н. Горбунов, Н.С. Хрущев, А.Р. Зайдуллин // *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*, 2023, том 1. ПГУ, Пенза. 2023. – С. 243-245.
17. Grishko A.K. Anisotropic model of the system for monitoring and controlling the thermal parameters of board radio modules // *Надежность и качество сложных систем*. – 2022. – № 2(38) (12 стр). – С. 25-32.
18. Роганов В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные имитаторами авиационного тренажера // *Промышленные АСУ и контроллеры*. – 2022. – № 12. – С. 32-39.
19. Роганов В.Р., Четвергова М.В., Семочкин А.В. Проектирование систем виртуальной реальности с позиции системного подхода // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6. – С. 199.
20. Роганов В.Р., Михеев М.Ю. Управление ресурсами специализированной системы синтеза изображения района полетов для авиационного тренажера // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2023. – № 3. – С. 48-60.
21. Роганов В.Р., Михеев М.Ю., Асмолова Е.А., Жашкова Т.В. Имитаторы визуальной обстановки для тренажеров подготовки водителей транспортных средств // *Труды международного симпозиума "Надежность и качество"*. – 2016. – Т. 2. – С. 326-328.
22. Гудкова Е.А. Программно-технические и эргатические оптико-программно-технические системы синтеза 3D-Моделей // *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*, 2023, том 1. ПГУ, Пенза. 2023. – С. 323-327.
23. Вяткин С.И., Городилов М.А., Долговесов Б.С. Геометрическое моделирование и визуализация функционально заданных объектов на базе функций возмущения с использованием графических акселераторов // *Научная визуализация*. – 2010. – Т. 2. – № 3. – С. 22-49.
24. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Есимова Н.С., Асмолова Е.А., Тюрина Л.А. Совершенствование эргатических программно-технических комплексов "Авиационный тренажер" за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетовождения // *Надежность и качество сложных систем*. – 2020. – №2 (30). – С. 96-105.
25. Бростилов А.Н., Годунов А.И., Квятковский Ю.Г. Методика ранжирования информации в авиационных тренажерах // *Труды международного симпозиума "Надежность и качество"*. – 2010. – Т. 1. – С. 66-68.
26. Долговесов Б.С., Морозов Б.Б. Опыт создания систем визуализации реального времени и их применение в тренажерных и обучающих системах // В сборнике: *Графикон'2013. Труды конференции. Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет*. – 2013. – С. 131-134.
27. Годунов А.И., Петухов М.В., Роганов В.Р. Базы данных имитаторов формирования визуальной виртуальной среды // *Пенза, ПГУ, 1998* – 47 с.
28. Шалагин А.М., Долговесов Б.С., Белаго И.В. Технологии виртуальной реальности: опыт создания систем виртуальной реальности для космических тренажерных комплексов // *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*. – 2011. – № 1. – С. 22.
29. Роганов В.Р. Моделирование процесса синтеза 3D-модели района полетов большого размера с помощью имитатора визуальной обстановки авиационного тренажера // В сборнике: *Радиоэлектронная техника. Межвузовский сборник научных трудов*. Под редакцией В.А. Сергеева. Ульяновск, 2022. – С. 208-217.
30. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Четвергова М.В. Программный модуль сортировки названий реперных объектов для формирования тезауруса реперных объектов трёх стен имитаторов, синтезирующих изображение местности, видимое через остекление кабины авиационного тренажера, на экране имитатора радиолокатора и на экране имитатора тепловизора // *Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020616157, 11.06.2020. Заявка № 2020615419 от 28.05.2020.*
31. Годунов А.И., Петухов М.В., Роганов В.Р. Обработка информационных потоков в авиационных тренажерах // *Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент*. – 1997. – № 2. – С. 37.
32. Четвергова М.В. Автоматизация проектирования компонентов расширенной реальности. Диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.12 // *Волгоградский государственный технический университет*. Волгоград, 2013 – 187 с.
33. Roganov V., Remontova L., Esimova N., Helal S. "Formation of a cognitive model of visual perception of 3D models in training complexes" in *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. Ser. "Digital Technologies in Teaching and Learning Strategies - Proceedings of DTTL-2021" 2022. – P. 58-66.
34. Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Семочкин И.Ю. Древовидные карты для повышения качества поддержки решений // *Надежность и качество сложных систем*. – 2021. – № 1 (33). – С. 76-86.
35. Роганов В.Р., Роганова Э.В., Игонин О.О. Построение подстилающих поверхностей для размещения моделей реальных объектов в моделях реальной местности при фиксированных точках расположения наблюдателя // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. – 2008. – № 1-2 (11). – С. 119-126.
36. 3D-модель участка с моделью размера аэродрома https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fdoninformburo.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F05%2Ff83863f7da9c935851c48d07e4b206b7.jpg&lr=49&p=2&pos=7&rpt=simage&source=serp&styp=image&text=карта%20аэропорт%20щереметьево%20москва.
37. Nechay T., Roganov V., Zhashkova T., Chirkina M., La-

vendels J., Korop G. "Improvement of operational planning for shunting service on non-public railway lines" in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering 2019. – 2019. – P. 012026.

38. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Ванданов В.Г. Объектно-ориентированная база данных в интерактивных системах 3D-визуализации // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2011. – Т. 6. – № 3. – С. 59-63.

39. Роганов В.Р. Моделирование процесса синтеза 3D-модели района полетов большого размера с помощью иммитатора визуальной обстановки авиационного тренажера // В сборнике: Радиоэлектронная техника. Межвузовский сборник научных трудов. Под редакцией В.А. Сергеева. Ульяновск, 2022. – С. 208-217.

40. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2010. – 191 с.: ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-406-00682-5.

Статья поступила в редакцию 20.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 004.05

EDN: GUDJQN

ПРАВИЛА РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЬНЫХ ТЕСТОВ

© Автор

ORCID: 0009-0004-1058-7594

КОКОТОВ Дмитрий Валерьевич, главный программист

ООО «Цифровые привычки»

(634063, Россия, Томск, ул. Мичурина 97, 12, kokotovdv@gmail.com)

Аннотация. Создание по-настоящему надежных информационных систем невозможно без качественного тестирования программного кода. Существуют различные методики написания тестовых алгоритмов. В данной статье рассмотрена методика модульного тестирования программного кода. Сформулированы основные характеристики, которыми должны обладать модульные тесты для достижения максимальной эффективности в своей работе. Качественные модульные тесты позволяют существенно снизить вероятность ошибки в программном коде. В результате, надежная работа информационных систем экономит компаниям значительное количество времени и денег. Целью статьи является формулирование основных правил для разработки эффективных тестовых алгоритмов. Использовались такие методы исследования как теоретический анализ литературы, метод тестирования белого ящика и метод модульного тестирования. В рамках исследования, рассмотрены основные правила, которых следует придерживаться при разработке модульных тестов. В каждом конкретном случае приведены примеры тестов на языке *Kotlin*, содержащих ошибки в структуре и даны рекомендации для исправления данных ошибок. Приведенные примеры ориентированы на бэкенд сервисы, но сам подход в построении алгоритмов применим в любой сфере разработки информационных систем. В заключении сформулированы выводы в отношении важности разработки качественных модульных тестов и их эффективности в процессе разработки программных сервисов.

Ключевые слова: модульное тестирование, бэкенд приложение, язык программирования *kotlin*, информационные системы, надежность, сопровождение систем, программный код, тестовая заглушка, фреймворк *junit*, фреймворк *mockito*.

RULES FOR DEVELOPING EFFECTIVE UNIT TESTS

© The Author 2023

KOKOTOV Dmitrii Valerievich, chief programmer

Digital Habits LLC

(634063, Russia, Tomsk, 97 Michurina str., 12, kokotovdv@gmail.com)

Abstract. The creation of truly reliable information systems is impossible without high-quality testing of the program code. There are various methods of writing test algorithms. This article discusses the methodology of testing software code using unit testing. The main characteristics that unit tests should have in order to achieve maximum efficiency in their work are formulated. High-quality unit tests can significantly reduce the likelihood of errors in the program code. As a result, reliable operation of information systems saves companies a significant amount of time and money. The purpose of the article is to formulate the basic rules for the development of effective test algorithms. Research methods such as theoretical literature analysis, white box testing method and the method of unit testing were used. As part of the study, the basic rules that should be followed when developing unit tests are considered. In each case, examples of tests in *Kotlin* containing errors in the structure are given, and recommendations for correcting these errors are given. The given examples of tests are focused on server services, but the approach to building algorithms is applicable anywhere in the development of information systems. In conclusion, on the importance of developing research modules and their effectiveness in the development of software services.

Keywords: unit testing, backend applications, *kotlin* programming language, information systems, reliability, systems maintenance, program code, test stub, *junit* framework, *mockito* framework.

Для цитирования: Кокотов Д.В. Правила разработки эффективных модульных тестов / Д.В. Кокотов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 48-53. – EDN: GUDJQN.

Введение. Модульное тестирование является одним из основных инструментов для улучшения качества программного кода при разработке современных информационных систем [1, 2]. Данный подход позволяет снизить вероятность регрессионных ошибок, а также повысить надежность разрабатываемой системы. При этом, даже при полном покрытии программного кода модульными тестами, вероятность пропустить ошибку в алгоритмах по-

прежнему сохраняется [3, 4]. Поэтому, очень важно уделить внимание качеству кода самих тестов [5]. Сложные тесты трудно поддерживать, они работают медленно или содержат ошибки. В результате, их сопровождение существенно усложняется. Разработчикам требуется больше времени для их анализа и в конечном итоге стоимость этой работы для компании значительно увеличивается [6, 7].

Для решения проблемы качества тестирования

сформулируем основные характеристики, которыми должен обладать эффективный модульный тест [8, 10]:

- Простота. Алгоритм работы теста должен быть простым и понятным для анализа и сопровождения.
- Отсутствие избыточности. Тест должен тестировать только тот метод, для которого он написан.
- Скорость. Тест должен выполняться за миллисекунды.
- Изолированность. Тест должен быть автономным, выполняться изолированно и не иметь зависимостей от внешних факторов, таких как файловая система или база данных.
- Повторяемость. Результат выполнения теста должен быть одинаковым для любого количества его повторных запусков.

Методология. Основным методом тестирования был выбран метод тестирования «белого ящика» [9]. Метод тестирования «белого ящика» подразумевает, что в рамках тестирования заранее известна внутренняя структура системы и мы можем проверить отдельные ее модули и алгоритмы. Ключевым преимуществом использования данного метода является возможность тестирования отдельных модулей системы (т.е. модульное тестирование), а также возможность проверки качества программного кода, в отличие от метода тестирования «черного

ящика», который анализирует только общую функциональность системы без учета конкретной реализации.

Целью данной работы является формирование списка ключевых правил для разработки эффективных модульных тестов [10-12]. В рамках исследования были сформулированы данные правила, а также приведены примеры программного кода для их реализации. Для разработки модульных тестов использовались следующие технологии:

- программный код разрабатывался в среде *IntelliJ IDEA* [13];
- алгоритмы написаны на языке *Kotlin* [14];
- основным тестовым фреймворком был выбран *JUnit* [15];
- заглушки инициализированы фреймворком *Mockito* [16].

Результаты. Достижение сформулированных характеристик эффективного модульного теста невозможно без соблюдения основных правил при его разработке. Рассмотрим данные правила на конкретном примере. Представим, что у нас есть задача, разработать модульные тесты для проверки работы сервиса создания заказов на стороне бэкенда *web*-приложения.

На рисунке 1 представлен программный код сервиса *OrderService*.

```
1  class OrderService(  
2      private val orderRepository: OrderRepository  
3  ) {  
4      fun makeOrder(id: Long, items: List<String>): Order {  
5          val order = createOrder(id, items)  
6          orderRepository.save(order)  
7          return order  
8      }  
9  
10     private fun createOrder(id: Long, items: List<String>): Order {  
11         return Order(id = id, items = items)  
12     }  
13 }  
14  
15 data class Order (  
16     val id: Long,  
17     val items: List<String>  
18 )  
19  
20 interface OrderRepository {  
21     fun save(order: Order)  
22 }
```

Рисунок 1 – Программный код класса *OrderService*

Необходимо протестировать работу методов данного сервиса. Но прежде, чем разрабатывать тесты, нужно изучить алгоритм работы самого сервиса. Класс *OrderService* содержит публичный метод *makeOrder()*, который создает заказ вызывая приватный метод *createOrder()* в строке 5, а также сохраняет заказ в базу данных используя метод *save()* интерфейса *orderRepository* в строке 6. Исходя из описанного алгоритма возникает вопрос, для каких методов нужно писать модульные тесты в рамках тестирования сервиса *OrderService*?

Объект тестирования. Правильным решением

будет разрабатывать модульные тесты только для публичных методов тестируемого класса. Приватные методы тестировать не нужно. Они тестируются косвенно, когда их вызывают публичные методы, для которых мы разрабатываем модульные тесты. Публичные методы других классов также не нужно тестировать, они тестируются изолированно в рамках модульных тестов, разработанных непосредственно для этих классов. Учитывая описанное правило выбора объекта тестирования, разработаем модульный тест для публичного метода *makeOrder()* сервиса *OrderService* (рис. 2).

```

1 class OrderServiceTests {
2     @Test
3     fun makeOrder() {
4         //1. Arrange. Create and initialize objects
5         val orderRepository = Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
6         val orderService = OrderService(orderRepository = orderRepository)
7         val expectedOrder = Order(
8             id = 1,
9             items = listOf("item1", "item2")
10        )
11
12        //2. Act. Invoke testing method
13        val actualOrder = orderService.makeOrder(
14            id = 1,
15            items = listOf("item1", "item2")
16        )
17
18        //3. Assert. Test result
19        Assertions.assertEquals(expectedOrder, actualOrder)
20    }
21 }

```

Рисунок 2 – Модульный тест метода makeOrder() класса OrderService

Стоит подчеркнуть, что нам не нужно тестировать работу метода save() интерфейса OrderRepository в рамках тестирования сервиса OrderService. Модульные тесты для OrderRepository следует разрабатывать в отдельном классе OrderRepositoryTests. Поэтому в 5 строке мы создаем заглушку для интерфейса OrderRepository используя фреймворк Mockito. Далее в 7 строке создается объект заказа, который мы ожидаем получить в результате работы метода makeOrder(). Затем в 13 строке производится непосредственный вызов метода makeOrder() и сохранение полученного результата. И уже в 19 строке производится сравнения ожидаемого и фактического результатов используя функциональность фреймворка JUnit. В конечном итоге, анализируя код теста makeOrder(), сформулируем несколько важных правил для разработки модульных тестов.

Правильная структура теста. При разработке тестов, следует придерживаться следующей структуры:

- Создание и инициализация объектов.
- Вызов тестируемого метода.
- Проверка результата.

Данный подход иначе называется, как паттерн

AAA (англ. Arrange-Act-Assert) [17-20]. Описанная структура существенно облегчает сопровождение тестов, а также снижает вероятность допустить ошибку в тестируемом алгоритме. Пример правильной структуры модульного теста был ранее представлен на рисунке 2. При этом, не стоит объединять фазы алгоритма теста в одну, как показано на рисунке 3.

Правильное наименование. Наименование теста имеет важное значение. Основная цель наименования - понять алгоритм работы теста еще до просмотра его программного кода. Существуют разные подходы в наименовании тестов. В своих проектах я использую следующую стратегию наименования и считаю ее достаточно эффективной. В обычном случае, название модульного теста совпадает с названием метода, который он тестирует (рис. 2). Наша задача вызвать тестируемый метод и убедиться, что он не выдает ошибку. С другой стороны, если в алгоритме метода есть условные ветвления или необходимо протестировать исключение, тогда можно использовать расширенное наименование модульного теста в соответствии с шаблоном: [наименование метода]_[сценарий_запуска]_[ожидаемое поведение] (рис. 4).

```

1 @Test
2 fun makeOrder_BadTestStructure() {
3     Assertions.assertEquals(
4         Order(
5             id = 1, items = listOf("item1", "item2")
6         ), OrderService(
7             Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
8         ).makeOrder(
9             id = 1, items = listOf("item1", "item2")
10        )
11    )
12 }

```

Рисунок 3 – Пример плохой структуры модульного теста

```
1 @Test
2 fun makeOrder_SimpleItems_ReturnOrderWithTheSameItems() { }
3
4 @Test
5 fun makeOrder_OrderIdIsNull_ThrowException() { }
```

Рисунок 4 – Пример расширенного наименования модульных тестов

Не использовать логику. Очень важно полностью исключить в алгоритме модульного теста любое использование логических операторов, условий или циклов. Логические операторы существенно повышают вероятность ошибки в коде самого теста (рис. 5).

Тест не должен дополнять или заменять алгоритм тестируемого метода. Задача теста только вызвать тестируемый метод и проверить результат его работы. Вместо логики, лучше явно инициализировать объекты примитивными типами (рис. 2).

Не использовать дополнительные процедуры и функции. Алгоритм модульного теста должен содержать все необходимое для выполнения внутри себя. Не нужно пытаться оптимизировать алгоритмы модульных тестов и выносить код в общие вспомогательные процедуры и функции (рис. 6). Нужно помнить, что простота и читабельность намного важнее унификации кода. Модульный тест, который использует дополнительные функции или общие переменные сложнее анализировать и еще сложнее сопровождать.

```
1 @Test
2 fun makeOrder_BadTestWithLogic() {
3     val orderRepository = Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
4     val orderService = OrderService(orderRepository = orderRepository)
5     val items = mutableListOf<String>()
6     for (i in 1..2) {
7         items.add("item$i")
8     }
9     if (!items.contains("item3")) {
10        items.add("item3")
11    }
12    val actualOrder = orderService.makeOrder(1, items)
13    Assertions.assertTrue(actualOrder.items.contains("item3"))
14 }
```

Рисунок 5 – Пример плохого модульного теста с использованием логики

```
1 @Test
2 fun makeOrder_BadTestUsingExternalFunction() {
3     val orderRepository = Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
4     val orderService = OrderService(orderRepository = orderRepository)
5     val actualOrder = orderService.makeOrder(
6         id = 1,
7         items = createTestItems(3)
8     )
9     Assertions.assertEquals(3, actualOrder.items.count())
10 }
11
12 fun createTestItems(itemsCount: Int): List<String> {
13     val items = mutableListOf<String>()
14     for (i in 1..itemsCount) {
15         items.add("item$i")
16     }
17     return items
18 }
```

Рисунок 6 – Пример плохого модульного теста с использованием внешней функции

Только один вызов тестируемого метода и только одна проверка. Плохой практикой является использование нескольких проверок результата в модульных тестах (рис. 7). Анализировать проблемы в таких модульных тестах намного сложнее [21]. В случае возникновения ошибки в одной из проверок, другие проверки уже не производятся. Следовательно, выявить наличие ошибки в следующих проверках можно только после исправления предыдущих. Лучше создавать отдельные модульные тесты на каждую проверку, это значительно облегчает сопровождение тестов и повышает их эффективность. Также, не стоит

делать избыточные проверки. Вместо сравнения каждого поля полученного объекта, лучше сравнить объекты в целом (рис. 2).

Фиксированные значения, вместо рандомизированных. Использование рандомизированных значений препятствует сохранению свойства повторяемости модульного теста. Тестовые значения при каждом запуске будут разными и это усложнит анализ в случае проблемы (рис. 8).

Лучше явно инициализировать параметры объектов фиксированными значениями как показано на рисунке 2.

```

1  @Test
2  fun makeOrder_BadTestWithMultipleAsserts() {
3      val orderRepository = Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
4      val orderService = OrderService(orderRepository = orderRepository)
5      val order1 = orderService.makeOrder(
6          id = 1,
7          items = listOf("item1", "item2")
8      )
9      val order2 = orderService.makeOrder(
10         id = 2,
11         items = listOf("item3", "item4")
12     )
13     Assertions.assertEquals(1, order1.id)
14     Assertions.assertEquals(listOf("item3", "item4"), order2.items)
15 }

```

Рисунок 7 – Пример плохого модульного теста с несколькими проверками

```

1  @Test
2  fun makeOrder_BadTestUsingRandomValues() {
3      val orderRepository = Mockito.mock(OrderRepository::class.java)
4      val orderService = OrderService(orderRepository = orderRepository)
5      val id = Math.random().toLong()
6      val order = orderService.makeOrder(
7          id = id,
8          items = listOf("item1", "item2")
9      )
10     Assertions.assertEquals(id, order.id)
11 }

```

Рисунок 8 – Пример плохого теста с использованием рандомизированных значений

Обсуждение. В публикациях на тему модульного тестирования как правило рассматривается только теоретическая часть технологии написания модульных тестов [6,12,17]. Другие работы преимущественно содержат примеры тестовых алгоритмов на популярных языках программирования *Java* или *C#* [1,10,11]. В текущей работе, в дополнении к теоретическому анализу методики тестирования, приведены примеры модульных тестов на современном языке программирования *Kotlin*. Описанная методика и примеры тестовых алгоритмов могут быть полезны для разработчиков мобильных приложений, а также для разработчиков бэкенд сервисов в любой предметной области.

Выводы. Разрабатывая модульные тесты стоит придерживаться основного принципа – чем проще, тем лучше. Зачастую, тесты со сложными алгоритмами легче написать заново, чем пытаться доработать или найти в них ошибку. Согласно исследованиям коллег, некачественные модульные тесты повышают риск возникновения ошибки в системе на 70% [4], а также требуют не менее 25% дополнительного времени для анализа тестового алгоритма и поиска дефектов [21]. Поэтому следует стремиться к максимальной простоте и прозрачности. Простые и понятные тесты с единой структурой намного легче поддерживать. Дополнительным плюсом написания модульных тестов можно отметить документируемость системы. Новый разработчик намного быстрее разбирается в функциональности приложения, просто анализируя набор хорошо спроектированных модульных тестов. Мы используем данную методику разработки модульных тестов на проектах крупнейшего банка, и она доказала свою эффективность, проверенную

временем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зайцев Н.Г. Модульное тестирование: учебное пособие. Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2021. – 108 с.
2. Madeja M., Porubán J., Chodarev S. [and others]. Empirical Study of Test Case and Test Framework Presence in Public Projects on GitHub // Applied Scienced. – 2021. – Vol. 11. – No. 16. – P. 7250.
3. Gren L, Antinyan V. On the Relation Between Unit Testing and Code Quality. // In 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. – 2017. – P. 52-56.
4. Linares-Vásquez M., Bernal-Cardenas C., Moran, Poshyanvank D. How do developers test android applications? // In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution. – 2017. – pp. 613–622.
5. Spadini D., Palomba F., Zaidman A. [and others]. On the Relation of Test Smells to Software Code Quality // In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution. – 2018. – P. 1–12.
6. Винсе Т., Лукач П. Тестирование программного обеспечения с помощью android-приложения / Т. Винсе, П. Лукач // Електромеханічні і Енергозберігаючі Системи. – 2017. – Т.40. – №4. – С. 82-88.
7. Osherove R. The Art of Unit Testing. Second Edition. Shelter Island, Manning Publications, 2014. – 292 p.
8. Feathers M. Working Effectively with Legacy Code. Boston, Pearson Education, Inc. – 2004. – 464 p.
9. Myers G. J., Sandler C., Badgett T., Thomas T.M. The Art of Software Testing, Second Edition. Wiley. – 2004. – 256 p.
10. Reese J. Unit testing best practices with .NET Core and .NET Standard. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/core/testing/unit-testing-best-practices> (дата обращения 10.03.2023).
11. Hauer P. Modern Best Practices for Testing in Java. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://phauer.com/2019/modern-best-practices-testing-java/> (дата обращения 15.03.2023).
12. Трусов Е.В. О модульном тестировании на C++ / Е.В. Трусов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2016. – Т.1. – С. 219-220.
13. Gee T., Scott H. Getting to Know IntelliJ IDEA: Level up your IntelliJ IDEA knowledge so that you can focus on doing what you do best. Independently published, 2022. – 439 p.
14. Isakova S. Kotlin in Action. Shelter Island, Manning Pu-

blications, 2017. – 360 p.

15. Tahchiev P., Leme F., Massol V., Gregory G. JUnit in action, Third Edition. Shelter Island, Manning Publications, 2020. – 560 p.

16. Spadini D., Aniche M., Bruntink M., Bacchell A. Mock objects for testing java systems. // Empirical Software Engineering. – 2018. – P. 1-38

17. Кожевников Д.О. Актуальные проблемы организации модульного тестирования классов программного кода // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №1(4). – С. 134-142.

18. Meszaros G. xUnit Test Patterns Refactoring Test Code. Boston, Pearson Education, Inc. 2007. – 994 p.

19. Khorikov V. Unit Testing Principles, Practices, and Patterns. Shelter Island, Manning Publications, 2020. – 304 p.

20. Axelrod A. Complete Guide to Test Automation: Techniques, Practices, and Patterns for Building and Maintaining Effective Software Projects. New York, Apress, 2018. – 558 p.

21. Aljedaani W., Mkaouer M. W., Peruma A., Ludi S. Do the Test Smells Assertion Roulette and Eager Test Impact Students' Troubleshooting and Debugging Capabilities? // 45th International Conference on Software Engineering, ICSE 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2303.04234> (дата обращения 20.04.2023).

Статья поступила в редакцию 19.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 004.85

EDN: GTBZPW

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ *WORD2VEC* С АРХИТЕКТУРОЙ *SKIP-GRAM*

© Автор(ы) 2023

SPIN: 5165-4991

AuthorID: 1200337

ORCID: 0009-0000-8573-8052

МИЛОВАНОВ Антон Сергеевич, магистрант

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: antonmilovan05@gmail.com)

SPIN: 8609-1880

AuthorID: 1006069

ORCID: 0009-0001-6974-3967

КАРАМЫШЕВА Надежда Сергеевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры вычислительной техники

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: karamyshevans@yandex.ru)

Аннотация. Актуальность данного исследования прежде всего обусловлена использованием технологий машинного обучения и методов обработки естественного языка (англ. *Natural Language Processing, NLP*) в процессах обработки текстовой информации. В данной работе рассматривается формирование обучающих фрагментов для обучения нейросети модели *Word2Vec* с архитектурой *Skip-gram*. С помощью реализованной модели были проанализированы три способа формирования обучающих фрагментов. На основе анализа результатов обучения было выявлено, что формирование обучающих фрагментов на основе предложений из исходной текстовой информации позволяет достичь наиболее показательных результатов обучения. Рассмотренные подходы к формированию обучающих фрагментов позволяют повысить точность процесса векторизации различных слов на основе их контекстной близости и, как следствие, повысить эффективность обучения нейронной сети модели *Word2Vec* с архитектурой *Skip-gram*.

Ключевые слова: нейронные сети, машинное обучение, обучение нейросети, обучающие данные, обучающие фрагменты, *Word2Vec*, *NLP*, векторизация текста, семантическая близость, *Skip-gram*.

ANALYSIS OF METHODS FOR FORMING TRAINING FRAGMENTS FOR THE *WORD2VEC* NEURAL NETWORK MODEL WITH THE *SKIP-GRAM* ARCHITECTURE

© The Author(s) 2023

MILOVANOV Anton Sergeevich, undergraduate

KARAMYSHEVA Nadezhda Sergeevna, candidate of Technical Sciences,

associate professor of the Department of Computer Science

Penza State University

(Russia, Penza, Krasnaya st., 40, e-mails: antonmilovan05@gmail.com, karamyshevans@yandex.ru)

Abstract. The relevance of this study is primarily due to the use of machine learning technologies and natural language processing (*NLP*) methods in text information processing. This paper considers the formation of training fragments for training a neural network of the *Word2Vec* model with the *Skip-gram* architecture. With the help of the implemented model, three ways of forming training fragments were analyzed. Based on the analysis of learning outcomes, it was revealed that the formation of training fragments based on sentences from the original textual information makes it possible to achieve the most indicative learning outcomes. The considered approaches to the formation of training fragments make it possible to increase the accuracy of the process of vectorization of various words based on their contextual proximity and, as a result, increase the efficiency of training the neural network of the *Word2Vec* model with the *Skip-gram* architecture.

Keywords: neural networks, machine learning, neural network training, training data, training fragments, *Word2Vec*, *NLP*, text vectorization, semantic proximity, *Skip-gram*.

Для цитирования: Милованов А.С. Анализ методов формирования обучающих фрагментов для нейросетевой модели *Word2Vec* с архитектурой *Skip-gram* / А.С. Милованов, Н.С. Карамышева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 54-59. – EDN: GTBZPW.

Введение. Естественная обработка языка (англ. *NLP – Natural Language Processing*) – это область исследований, включающая в себя информатику, искусственный интеллект и лингвистику. Основной

целью данной области является исследование способов использования вычислительных машин для понимания и управления текстом или речью на естественном языке с целью облегчить обработку

больших объемов текстовой информации. Инновации *NLP* становятся чрезвычайно важными при создании удобных систем для пользователей [1].

Решение задач обработки естественного языка связано с этапом трудоемкого преобразования текста в цифровую форму, то есть с его векторизацией. В настоящее время существует ряд способов автоматической векторизации текста. Одним из них является метод векторного представления слов на основе дистрибутивной семантики *Word2vec*, предложенный Т. Миколовым в 2013 году, который позволяет избавиться от ручной векторизации [2]. Данный способ в своей основе использует машинное обучение.

Но стоит отметить что в большинстве источников уделяется мало внимание такому важному этапу как формирование обучающих данных для нейросетей.

Целью работы является анализ методов формирования обучающих фрагментов для модели *Word2Vec* с архитектурой *Skip-gram*.

Формирование качественных обучающих данных для моделей нейросети имеет решающее значение с точки зрения достижения желаемых результатов. Обучение модели *Word2Vec* на правильно сформированном наборе обучающих данных обеспечивает более эффективное отражение семантических связей в векторном пространстве слов. В конечном счете, это позволяет повысить точность определения семантической близости слов, и улучшить результаты применения данной модели для решения более сложных задач обработки естественного языка.

Методология. Модели из совокупности *Word2Vec* позволяют использовать практики и технологии машинного обучения для векторизации различных слов. Суть этого подхода заключается в преобразовании слов в вектор, отражающий семантические свойства слова. Так, слова, близкие по значению, будут находиться рядом в *N*-мерном пространстве [3-5].

Практическая реализация *Word2Vec* представлена двумя основными архитектурами нейронных сетей: *Continuous Bag of Words (CBOW)* и *Skip-gram* [6]. Нейросети с архитектурой *CBOW* из контекста (например, из последовательностей предыдущих и последующих слов) выбирают наиболее вероятные центральные слова, которые соответствуют определенному контексту. Входными данными для архитектуры *CBOW* в выступает набор контекстных векторов $w(t-k), \dots, w(t-1), w(t+1), \dots, w(t+k)$, а выходными данными является вектор – $w(t)$, где $w(t)$ – вектор предсказанного на основе контекста слова [7].

Нейросети с архитектурой *Skip-gram* вместо предсказания центрального слова находят наиболее вероятный контекст (предыдущие и следующие слова) для каждого слова. Входными данными для данной архитектуры нейросети является вектор $w(t)$, а выходными данными является множество векторов $w(t-k), \dots, w(t-1), w(t+1), \dots, w(t+k)$. Каждое слово, соответствующее векторам из данного множества, характеризует слово, соответствующее входному вектору [7].

Данные типы архитектур представлены на рисунке 1 [2].

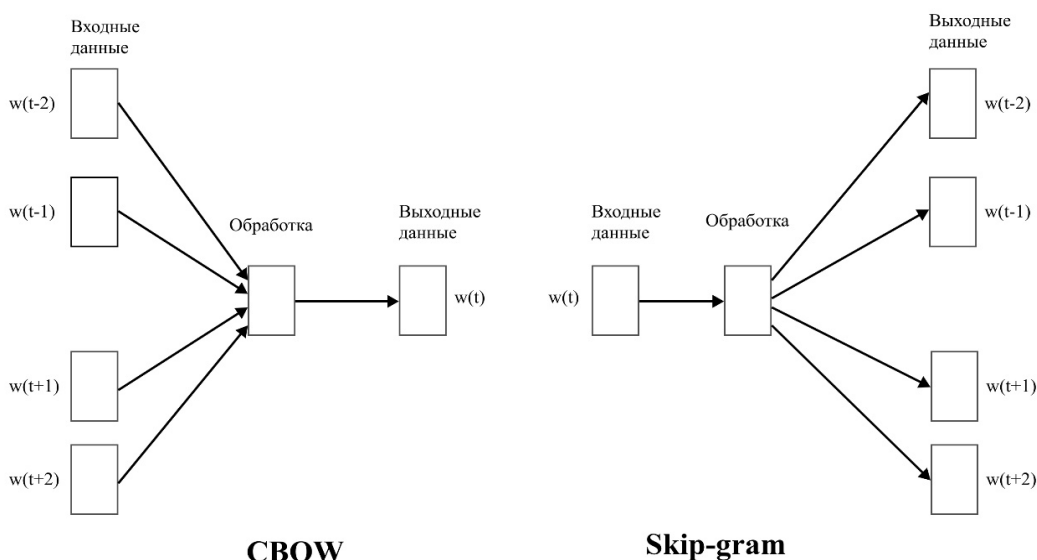


Рисунок 1 – Архитектуры реализации *Word2Vec*

Количество нейронов скрытого слоя соответствует размерности векторного пространства и может быть произвольным. Количество нейронов выходного слоя должно равняться количеству слов из исходного текста. Важно отметить что в нейронах

скрытого и выходного слоя реализуемой нейросети отсутствуют функции активации.

На первом этапе на основе исходной текстовой информации формируется словарь. Значением в словаре для каждого слова является *One-hot vector*

полученный с помощью метода *One-hot encoding* [8].

Данный метод можно описать следующим образом. Допустим, что имеется определенное количество k различных слов. Каждому слову с номером i необходимо сопоставить вектор, длина которого равняется количеству слов. Координата i для векторного представления слова равняется единице, остальные координаты приравниваются к нулям.

Например, текст «использование автоматизированных систем планирования» после векторизации данным способом примет вид, представленный в таблице 1. Так как *One-hot vector* содержит в себе лишь одну единицу, то использование *One-hot vector* в качестве входных данных позволяет заменить операцию умножение матрицы весов скрытого слоя на входные значения операцией выбора конкретной строки этой самой матрицы. Тем самым каждая строчка в матрице весов скрытого слоя соответствует векторному представлению для определённого слова.

Таблица 1 – Векторизация с помощью метода *One-hot encoding*

Слово \ Координаты вектора	Координаты вектора			
	1	2	3	4
использование	1	0	0	0
автоматизированных	0	1	0	0
систем	0	0	1	0
планирования	0	0	0	1

- : Контекстное слово
- : Центральное слово

C: Размер окна

C=0 В геометрии вектор есть направленный отрезок прямой в евклидовом пространстве

C=1 В геометрии вектор есть направленный отрезок прямой в евклидовом пространстве

C=2 В геометрии вектор есть направленный отрезок прямой в евклидовом пространстве

Рисунок 2 – Обучающие фрагменты при различном размере окна

На основе обучающих фрагментов для определённого слова происходит корректировка весов таким образом, чтобы на выходе функции *softmax* вероятность для слов из сформированного обучающего фрагмента повышалась.

Можно выделить три основных метода формирования обучающих фрагментов:

1. Исходная текстовая информация рассматривается как последовательность слов. Обучающие фрагменты формируются на основе этой самой последовательности.

2. Исходная текстовая информация рассматривается как набор предложений. В формировании обучающего фрагмента для слова задействованы слова из только лишь из предложения в котором данной слово находится.

3. Исходная текстовая информация разбивается

В процессе обучения изначальные случайные значения весов на скрытом слое будут корректироваться. В итоге произойдет подбор весов, при котором контекстные слова будут иметь близкие значения вектора.

Для того, чтобы использовать метод распространения ошибки в процессе обучения, данные с выходного слоя преобразуются в распределение вероятностей с помощью функции *softmax* [9-12]. Сумма всех выходных чисел даёт единицу. Каждое из выходных чисел показывает, какова вероятность встретить слово данного выходного нейрона рядом с входным словом. В качестве функции ошибки, которую необходимо минимизировать выбрана кросс-энтропия (перекрестная энтропия) [13].

Основными обучающими данными являются наборы, обучающие фрагменты для каждого слова из исходной текстовой информации. По своей концепции обучающие фрагменты – это просто набор определенных слов, которые находятся рядом с заданным словом. Количество слов в обучающем фрагменте зависит от размера окна. Размерность окна может быть различной, но чаще всего используются значения 1, 2, 3.

Ниже на рисунке 2 представлен размер окна для формирования обучающих фрагментов и изменения количества контекстных слов для слова «прямой» в предложении «В геометрии вектор есть направленный отрезок прямой в евклидовом пространстве».

на корпуса текстов, которые рассматриваются как отдельные последовательности слов. Иными словами, формирование обучающего фрагмента для слов происходит как в первом варианте, но обучающие фрагменты формируются в определенном смысловом контексте.

Первый метод является наиболее популярным и упоминается в большинстве источников, поскольку при его использовании, нужно лишь сформировать непрерывный массив слов.

Формирование обучающих фрагментов представлено в таблице 2, для первого и второго метода, и в таблице 3 для третьего метода. В качестве тренировочного текста представлена информация о вектор в геометрии и программировании. В качестве центрального слова для определения контекстных слов используется слово «Вектор».

Таблица 2 – Сформированные обучающие фрагменты с помощью первого и второго метода

Исходный текст	
Вектор это направленный отрезок прямой. Вектор в программировании это в основном динамический массив, в котором память обрабатывается автоматически, позволяя ей расширяться и сжиматься по мере необходимости. Вектор в геометрии естественно сопоставляется переносу, что, очевидно, проясняет происхождение его названия. Вектор представляет собой пример наиболее полного стандартного контейнера.	
Сформированные обучающие фрагменты с помощью первого метода	
Центральное слово	Обучающие фрагменты
Вектор	Вектор это направленный отрезок прямой Вектор в программировании мере необходимости Вектор в геометрии его названия Вектор представляет собой
	Вектор это направленный
	Вектор в программировании
	Вектор в геометрии
Сформированные обучающие фрагменты с помощью второго метода	
Центральное слово	Обучающие фрагменты
Вектор	Вектор это направленный Вектор в программировании Вектор в геометрии Вектор представляет собой
	Вектор это направленный
	Вектор в программировании
	Вектор в геометрии

Таблица 3 – Сформированные обучающие фрагменты с помощью третьего метода

Исходный текст разделенный на два текстовых корпуса	
Первый корпус	
Вектор это направленный отрезок прямой. Вектор в геометрии естественно сопоставляется переносу, что, очевидно, проясняет происхождение его названия.	
Второй корпус	
Вектор в программировании это в основном динамический массив, в которых память обрабатывается автоматически, позволяя ей расширяться и сжиматься по мере необходимости. Вектор представляет собой пример наиболее полного стандартного контейнера.	
Сформированные обучающие фрагменты с помощью третьего метода	
Центральное слово	Обучающие фрагменты
Вектор	Вектор это направленный отрезок прямой Вектор в геометрии Вектор в программировании мере необходимости Вектор представляет собой
	Вектор это направленный
	Вектор в геометрии
	Вектор в программировании

Для определения векторной близости слов используется формула косинусного сходства [14]:

$$\text{cosine similarity}(A, B) = \frac{A * B}{\|A\| * \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (1)$$

где векторы A и B представляют слова, а A_i и B_i являются компонентами векторов A и B соответственно.

На основе рассчитанного значения можно судить о контекстной близости слов, чем оно выше, тем большей контекстной связанностью обладают слова. Если векторы ортогональны, то мера близости равна нулю, а если совпадают, то мера близости стремится к единице [15].

Результаты. В качестве языка программирования для создания модели *Word2Vec* использовался язык *Python* версии 3.9.

Немаловажным является определение количества эпох в процессе обучения. Эпоха является гиперпараметром, указывающим на значение количества проходов обучения по обучающей выборке [16]. В данной реализации использовалось 10 эпох для обучения модели.

Исходный набор текстовый информации содержит

в себе различные данные о кошках и бактериях, и насчитывает 2000 слов.

Текстовый обучающий набор прошел необходимый этап обработки.

Было произведено удаление различного шума из текста, который состоит из знаков препинания, специальных символов, дополнительных пробелов, и знаков табуляции [17-19]. Данные символы могут быть задействованы в процессе обучения модели, но в большинстве случаев они не требуются и могут быть удалены без большой потери текстового контекста [20].

Для определения влияния формирования обучающих фрагментов на результативность обучения модели производилась выборка наиболее близких контекстных слов (в количестве 5) для центральных слов «бактерия» и «кошка». Определение наиболее соответствующих контекстных слов выполнялось путем расчёта косинусного сходства, на основе векторных представлений слов, которые были получены после обучения реализуемой модели обучающими фрагментами.

Результаты представлены в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 – Результаты, полученные после обучения модели на фрагментах, сформированных первым способом

Центральное слово	Контекстные слова	Косинусное сходство
бактерия	поверхность	0.393035
	спорообразующий	0.381317
	транспорт	0.332905
	актиномицета	0.290855
	эукариот	0.228415
кошка	полисахарид	0.444072
	хозяин	0.390936
	микоплазма	0.351029
	порода	0.342181
	животное	0.301237

Таблица 5 – Результаты, полученные после обучения модели на фрагментах, сформированных вторым способом

Центральное слово	Контекстные слова	Косинусное сходство
бактерия	фермент	0.603885
	клеточный	0.450422
	клетка	0.374867
	рядом	0.368798
	цитоплазматический	0.342412
кошка	животное	0.292228
	млекопитающее	0.107167
	биологический	0.102666
	плотоядное	0.100236
	унаследовать	0.084578

Таблица 6 – Результаты, полученные после обучения модели на фрагментах, сформированных третьим способом

Центральное слово	Контекстные слова	Косинусное сходство
бактерия	циста	0.657178
	также	0.389087
	связь	0.346287
	сеть	0.316763
	состав	0.298167
кошка	собака	0.654738
	выведено	0.627891
	движения	0.581786
	домашнее	0.489361
	плотоядный	0.417512

Обсуждение. В таблице 4 видно, что для слова «кошка» контекстными словами считаются «полисахарид» «микоплазма», которые на самом деле больше близки по контексту к слову «бактерия» чем к слову «кошка».

При обучении модели на обучающих фрагментах, сформированных вторым и третьим способом (табл. 5, 6) эффект перемешивания контекстных слов не наблюдается.

Но важно отметить, что при втором способе формирования в отличии от третьего наблюдается более частое появление контекстных слов, которые обладают семантической связанностью со словами «бактерия» и «кошка».

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что второй способ формирования обучающих фрагментов позволяет получить более точную векторизацию текста с точки зрения семантики.

Выводы. В данной статье на основе реализованной модели нейронной сети *Word2Vec*

со структурой *Skip-gram*, были проанализированы экспериментальным путем три различных метода формирования обучающих фрагментов. На основании результатов, полученных в ходе проведения экспериментов, можно утверждать, что первый метод обучения оказывается менее эффективным по сравнению со вторым и третьим.

В рамках первого метода исходный текст рассматривается как последовательность слов, однако пограничные слова предложений могут не обладать семантической связанностью. Это приводит к тому, что в обучающие фрагменты для определённых слов могут попадать неподходящие слова для формирования смыслового контекста.

Второй метод демонстрирует наилучшие результаты обучения, отражая семантическую связанность. Этот подход, основанный на формировании обучающих фрагментов на основе предложений, можно рассматривать как более предпочтительный в процессе обучения нейросети *Word2Vec* со структурой *Skip-gram*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гольдберг Й. Нейросетевые методы в обработке естественного языка / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 282 с.
2. Mikolov T., Corrado G., Chen K., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. Proceedings of the International Conference on Learning Representations ICLR, 2013. P. 1-12.
3. Богомолов Ю.А. Обзор моделей нейронных сетей для обработки естественного языка // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». – 2020. – № 4. – С. 204-205.
4. Ye Z. Encoding Sentiment Information into Word Vectors for Sentiment Analysis / Z. Ye, F. Li, T. Baldwin // Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics. – 2018. – P. 997-1007.
5. Jing S. et al. Correlation analysis and text classification of chemical accident cases based on word embedding // Process Safety and Environmental Protection. – 2022. – Т. 158. – С. 698-710.
6. Бородащенко А.Ю. Методика обучения нейронной сети на основе архитектуры Skip-Gram // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – Вып. 1. – С. 345.
7. Науменко А.М., Шелудько С.Д., Юлдашев Р.Ю., Хлебников Н.О., Радыгин В.Ю. Разработка вопросно-ответной системы с нейросетевым обучением на базе современных свободных технологий // Иннов: электронный научный журнал. – 2017. – №2 (31).
8. Pau Rodríguez, Miguel A. Bautista, Jordi González, Sergio Escalera, Beyond one-hot encoding: Lower dimensional target embedding, Image and Vision Computing, Volume 75, 2018. – P 21-23.
9. Chowdhery A. et al. Palm: Scaling language modeling with pathways // arXiv preprint arXiv:2204.02311. – 2022.
10. Rudd, K. A constrained backpropagation approach for the adaptive solution of partial differential equations / K. Rudd, G. Di Muro, S. Ferrari // IEEE transactions on neural networks and learning systems. – 2014. – Vol. 25, no. 3. – Pp. 571-584.
11. Ruder Sebastian, Peters Matthew E and Swayamdipta, Swabha and Wolf, Thomas, Transfer Learning in Natural Language Processing // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Tutorials. 2019.
12. Panchenko A., Lopukhina A., Ustalov D., Lopukhin K., Arefyev N., Leontyev A., Loukachevitch N.: RUSSE'2018: A Shared Task on Word Sense Induction for the Russian Language. In: Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference «Dialogue». RSUH, Moscow, Russia, 2018. P. 547-564.
13. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2002. – 382 с.
14. medium.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/best-nlp-algorithms-to-get-document-similarity-a5559244b23b> (дата обращения: 13.02.2023)
15. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.
16. Кан К.А. Нейронные Сети. Эволюция. – М.: ЛитРес, 2018. – 380 с.
17. Грибков, Е.И. Нейросетевая модель на основе системы переходов для извлечения составных объектов и их атрибутов из текстов на естественном языке / Е.И. Грибков, Ю.П. Ехлаков // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 47-52.
18. Захаров, В.П. Вопросно-ответные системы. Некоторые проблемы автоматической обработки текста / В.П. Захаров, А.В. Мочалова, В.А. Мочалов. – Петрозаводск: ПИН, 2015. – 40 с.
19. Лайонз, Дж. Введение в теоретическую лингвистику, гл.10 / Дж. Лайонз. – М.: Прогресс, 1978. – 544 с.
20. Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей «Смысл-Текст» / И.А. Мельчук // М.: Языки русской культуры, 1999. – 346 с.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК: 303.732.4

EDN: GBSAJN

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЗНАНИЙ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 6010-8974

AuthorID: 1186029

ORCID: 0000-0002-5178-3573

ШЕВЕЛЕВА Ольга Евгеньевна, аспирант

Государственный университет «Дубна»

(141980 г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19, e-mail: shoe.asp19@uni-dubna.ru)

AuthorID: 541833

ORCID: 0000-0002-9770-2695

ДОБРЫНИН Владимир Николаевич, профессор, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Государственный университет «Дубна»

(141980 г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19, e-mail: i@ydobrynin.ru)

SPIN: 2310-1529

AuthorID: 954803

ORCID: 0000-0002-3245-2285

ГОНЧАРОВА Яна Александровна, аспирант

Университет Кампании «Луиджи Ванвителли»

(Италия, Viale Abramo Lincoln n. 5, 81100 Caserta, e-mail: yana.goncharova@unicampania.it)

Аннотация. С появлением компетентностного подхода появилась необходимость в оценке уровня сформированности компетенций для определения результатов обучения. Для решения данного вопроса необходимо четко отображать в учебных программах, какие компетенции развиваются и при помощи каких тем/заданий, а также как формировать и проверять тестовые задания для оценки уровня знаний. Опыт применения тестирования в высшей школе показывает, что наиболее эффективным подходом является совмещение заданий различной формы и степени трудности, подобранных с учетом индивидуальных особенностей студентов. Целью настоящей работы является разработка и описание основных функциональных компонентов концептуальной модели оценки компетенций с использованием следующих методик: методика подготовки учебного материала так, чтобы составляющие компетенций (понимание, умение, владение навыком) четко отражались в определенном отрывке учебного материала; средства автоматически формируемых/проверяемых тестовых заданий; средства оценки открытых ответов на основе анализа ключевых слов и логико-семантических графов, что обеспечивает более глубокий анализ текста. Полученная в результате концептуальная модель может быть основой для реализации программной системы оценки знаний и компетенций как для традиционного обучения, так и для организации образовательного процесса в среде онлайн.

Ключевые слова: компетенции, логико-семантическая сеть, открытые вопросы, обработка текста, цифровые компетенции, тестирования, цифровое обучение, анализ ответов, обработка текстовой информации, логико-семантический граф.

CONCEPTUAL MODEL FOR ASSESSING COMPETENCES AND KNOWLEDGE

© The author(s) 2023

SHEVELEVA Olga Evgenievna, phd student

Dubna State University

(141980 Dubna, Moscow region, 19, Universitetskaya st., e-mail: shoe.asp19@uni-dubna.ru)

DOBRYNIN Vladimir Nikolaevich, phd, senior researcher

Dubna State University

(141980 Dubna, Moscow region, 19, Universitetskaya st., e-mail: i@ydobrynin.ru)

GONCHAROVA Yana Alexandrovna, phd student

University of Campania "Luigi Vanvitelli"

(Italy, Viale Abramo Lincoln n. 5, 81100 Caserta, e-mail: yana.goncharova@unicampania.it)

Abstract. For the competency-based approach, it is necessary to assess the level of competence formation to determine learning outcomes. To solve this issue, we need to clarify in the curricula the topics/tasks that develop this or that competence as well as the ways to form and check test tasks to assess the knowledge level. The experience of testing in higher education shows that the most effective approach integrates tasks of various forms and difficulty, selected according to the student's characteristics. The aim of this research is to design and describe the main functional components of a conceptual model for assessing competencies using the following methods: a methodology for preparing educational material in line with competence components (understanding, ability, skill) reflected in particular parts of educational materials; means for test tasks generated/checked automatically; tools to evaluate open answers using the keywords analysis and logico-semantic graphs, which provides a deeper analysis of the text. The resulting conceptual model can

be used to implement a software system for assessing knowledge and competencies both for traditional learning and online educational processes.

Keywords: competencies, logical-semantic network, open questions, text processing, digital competencies, testing, digital learning, answer analysis, text information processing, logico-semantic graph.

Для цитирования: Шевелева О.Е. Концептуальная модель оценки компетенций и знаний / О.Е. Шевелева, В.Н. Добрынин, Я.А. Гончарова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 60-67. – EDN: GBSAJN.

Введение. Компетентностный подход к образованию в высшей школе предполагает активное внедрение и использование интерактивных инструментов обучения и проверки уровня сформированности компетенций современного специалиста. Одним из наиболее эффективных инструментов такого типа является тестирование, которое может применяться как для итоговой проверки знаний, так и для промежуточного контроля, в том числе, самоконтроля, как на занятии, так и во внеаудиторные часы. При некоторых формах обучения, например, дистанционной, а также при полном или частичном переходе образовательного процесса в среду онлайн или на образовательные платформы, тесты зачастую являются единственным доступным способом контроля и оценивания уровня сформированности компетенции [1, 2].

Существует множество определений понятий «тест» и «тестирование». После анализа основной литературы по данной теме, в том числе, зарубежной, было сформулировано рабочее определение понятия «тест», которое содержит ключевые аспекты данного понятия в рамках нашего исследования. Итак, под тестом подразумевается система стандартизированных заданий специфической формы и определенного содержания, позволяющая получить качественную объективную оценку уровня сформированности той или иной компетенции обучающегося или ее отдельных элементов (понимание, умение, владение навыком и т.д.) [1-4]. Задания в тестах, как правило, связаны между собой и возрастают по уровню сложности. Тестирование представляет собой аттестационную процедуру, направленную на выявление степени выраженности компетенции студента и используемую в сочетании с определенной методикой измерения и оценивания результатов. Характерными чертами современного тестирования являются его технологичность, эффективность и высокая степень объективности, исключая человеческий фактор, например, личное отношение преподавателя к студенту, которое может повлиять на оценку, а также фактор произвольной ошибки со стороны преподавателя [1, 2].

Тестовые задания могут различаться в зависимости от формы, вида тестирования и подходов к нему. По форме тесты подразделяются на закрытые (выбор одного или нескольких правильных ответов) и открытые (студент должен сам сформулировать ответ, который может состоять из одного слова, числа, предложения или даже связного текста), а

также задания на конструирование, на установление соответствия и правильной последовательности. Задания с выбором одного правильного ответа являются самыми простыми и наименее эффективными, так как допускают большую степень угадывания, чем задания с выбором нескольких правильных ответов, где вероятность угадывания значительно ниже. Для заданий открытой формы, где жестко задается один правильный ответ, существуют механизмы автоматической проверки (посимвольное совпадение с эталонным ответом) [5]. В заданиях открытой формы, которые не предусматривают готового правильного ответа, степень угадывания стремится нулю, однако подобные задания являются наименее технологичными, так как требуют проверки преподавателем «вручную», а, следовательно, больших затрат времени и ручной интеллектуальной деятельности [2, 6].

Обширная исследовательская литература посвящена обзору различных видов и типов тестовых заданий, а также анализу возможностей их применения для разных специальностей и форм обучения, включая дистанционное обучение, ставшее особенно актуальным в связи с недавней пандемией. Сама целесообразность применения тестов в высшей школе уже не вызывает сомнений. По замечанию многих исследователей, тестирование зарекомендовало себя как эффективный инструмент (само)контроля для любых дисциплин и специальностей, от обучения иностранному языку до овладения цифровыми компетенциями [7-10]. Тем не менее, вопросы эффективности тех или иных типов заданий для достижения конкретных образовательных целей до сих пор являются предметом оживленной дискуссии [6]. Проблемы автоматизации тестирования студентов, особенно с использованием вопросов открытой формы и задач со сложным результатом, также широко обсуждаются в исследовательской литературе и не находят единого универсального решения. Как в России, так и за рубежом уже разработан комплекс методик для проверки подобных заданий для открытых и коммерческих онлайн курсов, в том числе, методики проверки на естественном и формальном языке [11, 12]. Так, в некоторых работах предлагается использовать регулярные выражения, с помощью которых задаются шаблоны ответов, на базе популярной системы Moodle, другими исследователями была предложена, реализована и протестирована модель на базе системы извлечения информации из текстов

Томита-парсер компании Яндекс, и т.д. [5] (подробный анализ некоторых уже существующих систем см. в разделе Обсуждение).

Стоит отметить, что ни одна из предложенных систем не может считаться полностью удовлетворяющей запросы современной высшей школы. На сегодняшний день наибольшую актуальность представляет адаптивность тестов, возможность их прохождения в электронном виде, а также при необходимости в онлайн среде. Другими важными требованиями к системам тестирования можно отнести: возможность сортировать пользователей (по группам, курсу и т.д.), а также возможность назначить тест всей выбранной группе пользователей сразу; возможность указывать сроки, в которые доступно прохождение тестирования; установка лимита времени также является важным и удобным ограничителем при проверке знаний (ограничение по времени как для всего теста, так и для отдельных вопросов); возможность разработки заданий (вопросов) различных видов; автоматическая проверка всех заданий; возможность формирования статистики за определенный промежуток времени, как по группам пользователей, так и для отдельных пользователей; привязка вопросов к учебным материалам и возможность создания рекомендаций автоматически также является важным критерием, что делает систему тестирования более оптимальной для использования.

В данной работе для реализации анализа ответов на открытые вопросы в тестированиях был использован анализ, по ключевым словам, и логико-семантическая сеть. Логико-семантический анализ языка или логическая семантика как направление исследований сформировался в первой половине 20-го века. Данный метод анализа был представлен в работах Г. Фреге, Б. Рассела, Л. Витгенштайна, А. Тарски, Г. Карнап и др. философов-исследователей [13-16]; объектом исследования и анализа выступала речь, ее семантические, синтаксические и прагматические аспекты и особенности. При использовании данного метода выделяются значимые

смысловые элементы информации, заключенные в ключевых словах и связями между ними, то есть представляются в виде семантически связанной сети по критерию смысловой близости между элементами информации. Такие сети представляются в виде связанного неориентированного графа, где вершины соответствуют высказываниям, а рёбра – смысловым связям между ними (рис. 2).

В настоящий момент уже разрабатываются поисковые системы основанные, на логико-семантических сетях. Преимуществом таких сетей является возможность задавания вопросов на естественном языке, а также данный метод позволяет снизить процент шума (нерелевантные ответы), что повышает эффективность таких систем. Использование логико-семантических сетей позволяет более точно оценить текст, представленный на естественном языке, проанализировать его смысловую составляющую, что явилось ключевым показателем при выборе данного метода для анализа ответов на открытые вопросы.

Целью настоящей работы является разработка и описание концептуальной модели системы тестирования, с возможностью анализа открытых ответов, которая бы смогла быть частью образовательного процесса, который нацелен на развитие компетенций у учащихся (рис. 1, 2). Опыт применения тестирования в высшей школе показывает, что наиболее эффективным подходом является совмещение заданий различной формы и степени трудности, подобранных с учетом индивидуальных особенностей студентов. Приоритет в данном случае должен отдаваться открытым вопросам, не предлагающим жестко заданного правильного ответа, как наиболее эффективному методу проверки уровня сформированности компетенции. Предлагаемая нами система учитывает эти аспекты и включает в себя способы автоматизации процесса формирования тестовых заданий, в том числе, заданий с открытым ответом, а также методы оценивания их содержание на основе анализа ключевых слов и логико-семантических графов (рис. 3).



Рисунок 1 – Описание системы

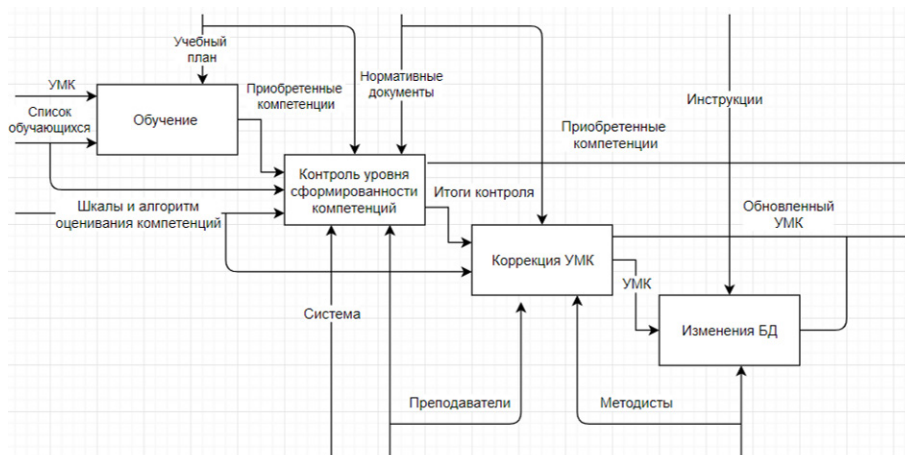


Рисунок 2 – Описание процессов системы



Рисунок 3 – Пример семантической сети

Методология. В данной работе для решения задач анализа и оценивания открытых ответов при оценке знаний и сформированности компетенций весь учебно-методический материал подготавливается используя следующую методологию: в учебно-методическом материале выделяются ключевые слова и словосочетания, а также высчитывается процент их встречаемости в тексте определенной темы (рис. 5), также для формирования списков ключевых слов и словосочетаний используются списки терминов, которые выделяются при подготовке учебно-методического материала (рис. 4). На основе вопросов, которые представлены для каждой темы, после разметки учебно-методического материала (рис. 4), строятся логико-семантические графы, где каждый вопрос последующего уровня ($X+1$ -уровня) является уточняющим для предыдущего уровня (X -уровня). Ответами в данном случае служат фрагменты текста из учебно-методического материала, которые соответствуют вопросу. При анализе открытых ответов используются ответы используются как ответ, который соответствующий текущему вопросу, так и ответы, находящиеся на уровне глубже в логико-семантическом графе.

Результаты. В данной работе уровень сформированности компетенций у учащихся в контрольной точке рассматривается как синонимичное понятие к итоговому знанию по заданной дисциплине. Итоговое знание представляет функцию от трех переменных: понимание, умение, владение навыком

[18, 19]. Для выявления значения (уровня) каждой переменной итогового знания составляются задания определенного типа, примеры указаны ниже:

- Понимание (найти определение соответствующего термина).

- Умение (Определите, какая идея отражена в выделенных частях текст и по какому принципу отрезок текста был выбран).

- Владение навыком (Найдите сходства и различия между различными интерпретации понятий).

Учебно-методические материалы дисциплины перед началом процесса обучения оцифровываются в электронном виде и компонуются в определенном формате (рис. 5).

Каждая тема разбивается на составляющие и заполняется по следующему формату: название темы, название под темы, основной текст (разбитый на под темы), вопросы (задания) по теме, правильные ответы, не правильные ответы, комментарии к ответам, список терминов (ключевых слов), определение терминов, список литературы, данные вносятся в базу данных (БД) [20]. Для каждого вопроса (задания) указывается категория (знания/умения/навыки). В БД также заносятся расписание занятий и контрольных точек, когда будут происходить оценка знаний. На основе вопросов формируется уникальный тест для каждого учащегося, вопросы теста проверяются на неповторение в тесте [21]. Количество вопросов в тесте и процентное соотношение заданий на определенную составляющую (знания/умения/навы-

ки), ограничение по времени ко всему тесту или определенным заданиям являются настраиваемыми показателями, которые могут быть изменены преподавателем/методистом исходя из потребностей для определенной дисциплины.

Вопросы/задания контрольного теста могут быть различного формата: с единым верным ответом, множественными верными ответами, открытым ответом. В первых двух группах задания могут быть представлены в формате теста, где необходимо выбрать верный вариант(ы) ответа(ов), а также заданиями, где необходимо написать ответ словами (одно слово, словосочетание или список терминов). Для уменьшения количества опечаток в ответах учащихся и облегчения процесса проверки ответов в тесте предусматривается проверка правописания,

при неверном написании слово подчеркивается красной волнистой линией. Для оценки/проверки заданий первых двух типов ответ учащегося сравнивается с эталоном (правильным ответом), который хранится в БД. Оценка ответов в виде текста (открытые ответы) является более сложной задачей. Для проверки такого типа ответов предлагается использовать два параметра: процент содержания ключевых слов и процент связанности.

Список ключевых слов и словосочетаний формируется из терминов, встречающихся в под теме и всей теме наиболее часто, термины встречающиеся чаще в нужной подтеме будут иметь более высокий коэффициент, который умножается на процент встречаемости, список ранжируется по частоте встречаемости терминов.

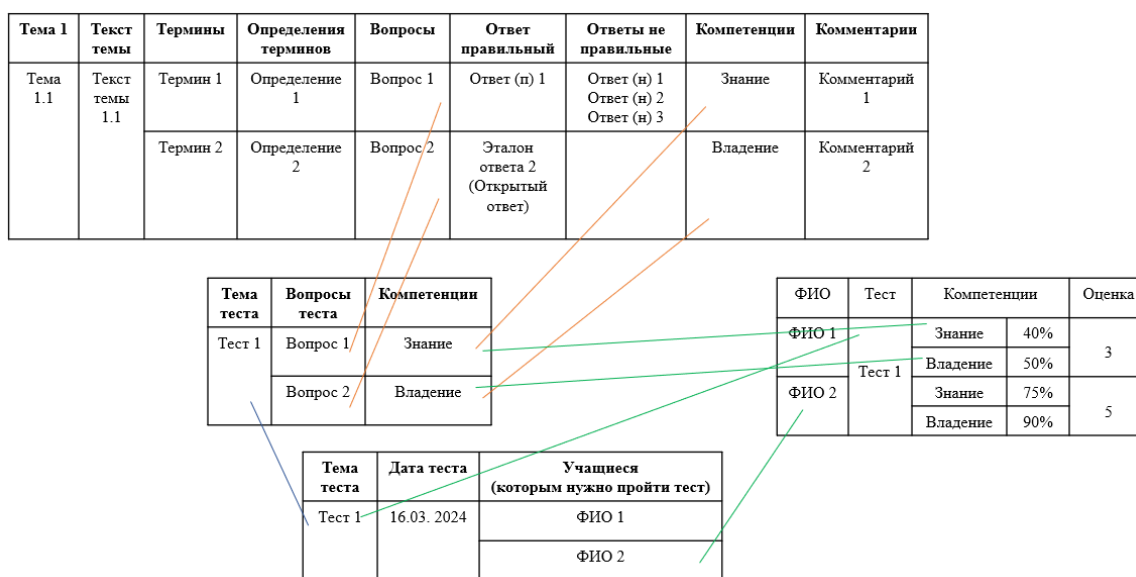


Рисунок 4 – Размеченный учебный материал и тесты, представленные в БД

Программный принцип работы ЭВМ. Процессор — центральное устройство ЭВМ, обрабатывающее информацию. Процессор может выполнять фиксированный набор операций над информацией, хранящейся в памяти ЭВМ. Каков этот набор, определяется устройством процессора. Количество таких операций не очень велико. Среди них арифметические действия (сложение, умножение, вычитание, деление) над числами, содержащимися в памяти, перемещение информации из одной ячейки памяти в другую и др. Работа ЭВМ состоит в выполнении процессором заданной последовательности операций. Это выполнение происходит под управлением программы. Программа состоит из отдельных команд, предписывающих процессору выполнить то или иное действие над информацией, хранящейся в памяти. В этом и состоит программный принцип работы ЭВМ.

Ключевые слова

По группам	По частоте
+ виды памяти эвм	2 памяти 23
+ информацией хранящейся в памяти	2 эвм 15
+ информация обрабатываемая процессором	2 информацию 14
+ программный принцип работы	2 процессор 11
+ процессора состоит в выполнении	2 операций 7
+ работы эвм	5 работы 7
+ памяти эвм	4 программы 6
+ виды памяти	3 устройство 6
+ медленную память	3 выполнению 5
+ алфавита и цифры	2 дисплей 5
+ быстрая память	2 работы эвм 5

Рисунок 5 – Пример части текста темы и списка ключевых слов и словосочетаний к нему

Для оценки второго параметра – процента связности необходим построить логико-семантический граф (вопрос-ответ-реакция, ВОР) на основе учебного материала. Логико-семантический граф (ЛСГ) – это множество вопросов, ответов и связей между ними, образующее целостную систему (рис. 6). Множество ВОР в ЛСГ относится к определенной теме и иерархически упорядоченно по принципу «от общего к частному». Вопросы X уровня иерархии связаны только и только с ответами $X+1$ -го уровня, в то время как вопросы $X+1$ -го уровня могут быть связаны с ответами уровня X . На последующих уровнях находятся только вопросы, уточняющие предыдущий уровень [22, 23].

В такой семантической сите *Вопросом* выступает предложение в форме вопросительного запроса, который направлен на уточнение, дополнение знаний; *Ответом* в данном случае служит познавательная

функция вопроса в форме суждения, которая соответствует поставленному вопросу (является релевантным); Под *Реакцией* понимается смысловое описание вопроса и ответа, характеризующее предпосылки вопроса и область поиска ответа [22-25].

Вопросы не возникают сами по себе, они опираются на базис, на знания которыми мы уже обладаем, вопросы же задаются для их уточнения и расширения. Однако, при поиске формирования ответа могут быть найдены разные вариации, которые все будут правильными, но актуальными только для какой-то определенной области знаний (например, Язык – это еда, человеческий орган, речь и т д; слово База может относиться как к базе отдыха, так и к базе данных/знаний). Функция реакции позволяет понять релевантность ответа. В качестве реакции могут быть представлены ссылки на источники, картинки, таблицы и т.д.

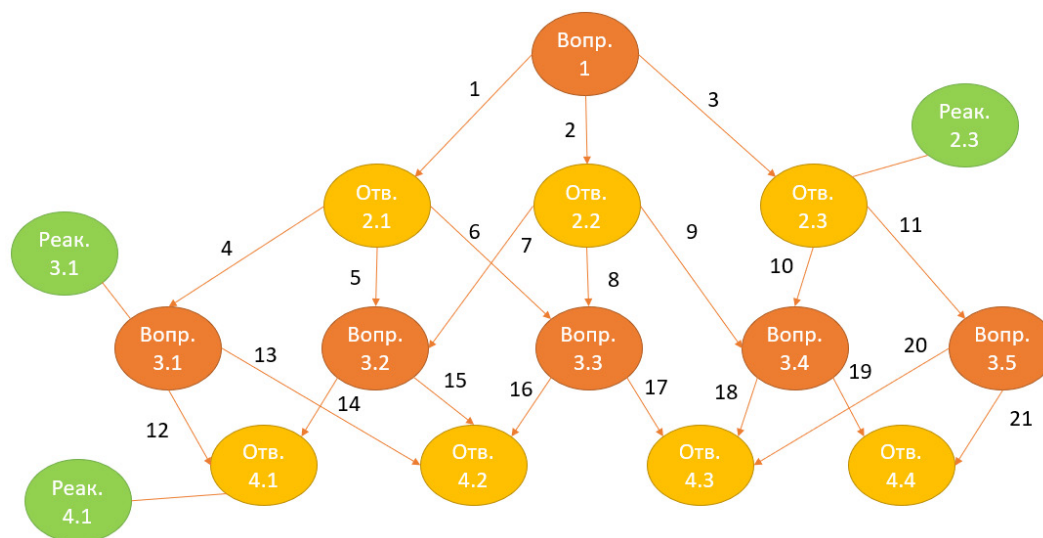


Рисунок 6 – Логико-семантический граф. *Вопр.* – вопрос; *Отв.* – ответ; *Реак* – реакция

Обсуждение. В современном образовании преобладает подход, ориентирующийся на развитие компетенций, что порождает потребность в адекватном и объективном оценивании результатов процесса обучения. Первым этапом для оценивания компетенций является определение сущности компетенции, что это такое и какие составляющие включает в себя. На данный момент существует целый ряд определений для данного термина, которые могут незначительно различаться от работы к работе. Однако, о составляющих компетенций все еще идут дебаты. Многие авторы выделяют три базовых составляющих (знания, умения и навыки) и выделяют ряд дополнительных, содержание которых различается от работы к работе [26]. В настоящий момент также есть работы, авторы которых отходят от стандартного набора и подчеркивают практическую составляющую компетенции и компетентности [27,28]. Другим, связанным с первым вопросом является методики оценивания уровня сформированности компетенций. В настоящий момент есть предложенные методики

для оценивания компетенций, однако, зачастую описанные методы основаны на само оценивании [3, 29,30], традиционных системах оценивания (аттестация в работе С.С. Дергаевой [31] и (или) являются узконаправленными [3, 31], что не позволяет использовать их для других сфер, и не решает проблему оценивая уровня компетенций в глобальном смысле.

После выбора метода оценивания сформированности компетенций стоит вопрос о реализации данного процесса и выбора систем, которые можно использовать для его реализации и оптимизации. Для решения данного вопроса, особенно актуальны, системы онлайн тестирования, которые снижают нагрузку на преподавателей. Существуют различные системы тестирований, функционал которых может различаться, однако некоторые его составляющие принципиально важны при выборе системы для учебного заведения. Анализируя 5 крупных систем тестирований (*Anolo, SunRav Web Class, iSpring, iSpring, Indigo*), которые находятся на российском рынке были сделаны выводы, что каждая система имеет

свою специфику, определенную область применения и свои ограничения, что не позволяет взять их за основу для решения поставленной в исследовании задачи. Важна связь между процессами обучения и процессом тестирования знаний, что делает систему более прозрачной для пользователей и упрощается предоставление обратной связи; однако, только узкий набор систем обладает подобной связью (напр., *iSpring* – это платформа для онлайн обучения и тестирования, но связь между эти процессами не явная в системе). Аналитика результатов еще один важный нюанс, который позволяет анализировать и как итог влиять на процесс обучения (напр., *Аполо*, отсутствует аналитика). Важным нюансом является удобство системы и возможность совершать все необходимые действия в ней, не переключаясь на сторонние ресурсы (напр., *SunRay Web Class*, для формирования теста необходимо воспользоваться сторонним конструктором). В некоторых системах представлен только очень ограниченный перечень видов и типов тестов (напр., *Indigo*), что ограничивает возможности при проверке знаний. Привязка к учебному материалу, которая позволяет пользователю вернуться к материалу, по которому в тесте была допущена ошибка, было отмечено, как определенное преимущество некоторых систем (напр., *StartExam*. «Если сотрудник ошибётся, *StartExam* автоматически отправит его на этот слайд» [21]). Еще одним преимуществом, которое было отмечено – это возможность установления ограничения по времени для некоторых вопросов (напр., *Аполо* (таймер для всего теста), *Indigo* (таймер для отдельных вопросов)). Другим вопросом, который следует рассмотреть – это то, что многие существующие коммерческие бизнес-системы для онлайн тестирований основываются на подходе сравнения с эталонами, что ограничивает использование вопросов открытого типа, где пользователь «руками» вводит развернутый ответ [21].

Существуют системы, которые разрабатывались для учебных заведений и предусматривают открытые вопросы в тестах. Большинство систем с нужным функционалом разработаны для анализа текстов на одном языке – английском [9, 10]. Однако, на результативность работы подобных систем влияет синтаксис и другие особенности языков. В настоящий момент также разрабатываются мультиязыковые системы, которые могут быть использованы для нескольких языков (напр., 8 языков [32]). Несмотря на адаптивность и универсальность предлагаемых систем точность для каждого отдельного языка снижается, также результаты работы системы разнятся от языка к языку. Мультиязыковые системы, в основном рассчитаны на определенную группу языков, которые имеют общие корни, например, латинские (английский, испанский, итальянский и т.д.). Синтаксис русского и английского языка принципиально различаются т. к. они принадлежат к разным языковым группам, что приводит к необходимости создания подобных

систем, адаптивных к русскому языку. Несмотря на наличие современных систем для анализа текстов на русском языке их на данный момент не так много и зачастую каждая составлялась узко под потребности определенного учреждения/компании [5], что может вызывать сложности к адаптации при подключении к другим системам. Существуют различные подходы к созданию систем проверки ответов на открытые вопросы: выделение ключевых понятий, которым наделяется вес; сопоставление ответа неким шаблонам, для чего используются регулярные выражения или деревья разбора (из текстов извлекается информация в виде структурированных данных); анализ с помощью машинного обучения. Несмотря на быстрое развитие последнего, при задаче оценивания ответов возникает ряд фундаментальных проблем и ограничений [33], поэтому для оценки ответов в данной работе были использовано сочетание двух оставшихся методов: выделение языковых кластеров (ключевых слов и словосочетаний) и построение логических деревьев (логико-семантических графов).

Выводы. В данной статье была представлена разработка и описание концептуальной модели системы оценки компетенций с возможностью анализа открытых ответов. В статье описана методика, позволяющая разметить и подготовить учебный материал так, чтобы составляющие компетенций (понимание, умение, владение навыком) четко отражались в определенном отрывке учебного материала. На базе подготовленного материала автоматически формируются тестовые задания различного типа (напр., открытого/закрытого). Открытые вопросы, не имеющие одного четкого правильного ответа, представляются наиболее эффективным методом проверки уровня сформированности компетенции. В статье предложено решение для анализа и оценивания ответов на вопросы открытого типа. Предложенное решение сочетает в себе несколько подходов, что повышает ее эффективность: анализ ключевых слов и словосочетаний (с учетом веса и коэффициента встречаемости) и создание логико-семантических деревьев, что обеспечивает более глубокий анализ текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аванесов В.С. Проблема соединения тестирования с обучением // Педагогические измерения. – 2013. – № 3. – С. 13-28.
2. Донская Е.Ю. Тестирование как неотъемлемая часть системы дистанционного обучения в высшей школе // Мир науки. Педагогика и психология. – 2020. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/testirovanie-kak-neotemlemaya-chast-sistemy-distantionnogo-obucheniya-v-vysshey-shkole> (дата обращения: 21.04.2023).
3. Авдеева Т.И., Высокос М.И., Зыкова С.И. Применение интерактивных методов в преподавании // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология. – 2017. – №1 (193). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-interaktivnykh-metodov-v-prepodavanii> (дата обращения: 21.04.2023).
4. Блинова О.А. Мультимедийные учебные материалы: проблемы и поиски решений // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2017. – №12-1 (78). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/multimediynye-uchebnye-materialy>

- aly-problemy-i-poiski-resheniya (дата обращения: 21.04.2023).
5. Кожевников В.А., Сабинин О.Ю. Система автоматической проверки ответов на открытые вопросы на русском языке // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2018. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-avtomaticheskoy-proverki-otvetov-na-otkrytye-voprosy-na-russkom-yazyke> (дата обращения: 15.04.2023).
6. Латыпова В.А. Методики проверки работ со сложным результатом в условиях смешанного и дистанционного автоматизированного обучения // Вестник евразийской науки. – 2015. – №3 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-proverki-rabot-so-slozhnym-rezultatом-v-usloviyah-smeshannogo-i-distantsionnogo-avtomatizirovannogo-obucheniya> (дата обращения: 21.04.2023).
7. Östling R., Smolentsov A., Hinnerich B., Höglin E. Automated essay scoring for Swedish // The 2013 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. – 2013. URL: <http://aclweb.org/anthology/W/W13/W13-1705.pdf>
8. Imaki J., Ishihara S. Experimenting with a Japanese automated essay scoring system in the L2 Japanese environment // Papers in Language Testing and Assessment. – 2013. – Vol. 2. – No.2. – P. 28-46.
9. Burrows S., Gurevych I., Stein B. The eras and trends of automatic short answer grading // International Journal of Artificial Intelligence in Education. – 2015. – Vol. 25. – P. 60-117.
10. Werlen E., Bergamin P. Self-evaluation of open answers as a basis for adaptive learning systems // CELDA 2018, 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age. – 2018. – P. 335-340.
11. Horbach A., Palmer A., Pinkal M. Using the text to evaluate short answers for reading comprehension exercises // Proc. of the 2nd Joint Conf. on Lexical and Computational Semantics. Atlanta, USA. – 2013. – Vol. 1. – P. 286-295.
12. Tsvetkov V.Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. – 2014. – Vol. (1). – № 1. – P. 57-64.
13. Карнап Р. Значение и необходимость. Исследование по семантической и модальной логике. М.: Издательство иностранной литературы, 1959.
14. Фреге Г. Логика и логическая семантика: Сборник трудов / Пер. с нем. Б.В. Бирюкова под ред. З.А. Кузичевой: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2000. – 512 с.
15. Витгенштейн Л. Логико-философский трактат. М.: Изд-во ин. лит., 1958. – 133 с
16. Анисов А.М. Проблема реальности в семантической теории истины // Труды научно-исследовательского семинара Логического центра Института философии РАН. Вып. XVII. М., 2004. – 118 с.
17. Уайтхед А., Рассел Б. Основания математики: В 3 т / Под ред. Г.П. Ярового, Ю.Н. Радаева. Самара: Самарский университет, 2005-2006.
18. Dobrynin Vladimir, Mastroianni Michele, Sheveleva Olga. A New Structured Model for ICT Competencies Assessment Through Data Warehousing Software // Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications GEWERBESTRASSE 11, CHAM, CH-6330, SWITZERLAND SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING AG. Vol.419, 2022. – P. 435-446.
19. Dobrynin Vladimir, Mastroianni Michele, Sheveleva Olga. A Data Warehousing System for ICT Competencies. Assessment Journal of Network and Innovative Computing. – 2022. – Volume 10. – P. 36-42.
20. Dobrynin V., Sheveleva O., Goncharova Y. Trajectory shaping to form student's competencies // ICAT'22. – 2022. – P. 103-109.
21. Добрынин В.Н., Шевелева О.Е. Интеллектуально электронно-цифровой университет будущего. Система оценки знаний // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. – 2021. – № 4. – С. 84-95.
22. Добрынин В.Н., Филозова И.А. Создание, поддержка и развитие модели интерпретации смыслов. // CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – С. 189-196.
23. Добрынин В.Н., Филозова И.А. Семантический поиск в научных электронных библиотеках // Информатизация образования и науки. – 2014. – №2(22). – С. 111-127.
24. Добрынин В.Н., Лобачева М.В. Прототип семантической поисковой системы на основе логико-семантической сети «Вопрос-ответ-реакция» // Электронный журнал «Системный анализ в науке и образовании», Международный университет природы, общества и человека «Дубна», кафедра САУ. 2009, Вып. 2. URL: <http://www.sanse.ru/download/30> (дата обращения: 10.04.2023)
25. Добрынин В.Н., Филозова И.А. Поиск в научной электронной библиотеке на основе логико-семантической сети Вопрос-Ответ-Реакция // Труды XII Всероссийской научной конференции RCDL'2010 «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». Казань: Казанский университет. – 2010. – С. 301-308.
26. Goncharova Y., Savchenko T., Sheveleva O. Security Competence as an Integral Part of Competence-Based Learning Approach: Russian and European Experience // Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas. – P. 123-135), Lima, 26 al 28 de octubre del 2021. Universidad de Lima. URL: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/17539/Goncharova-Savchenko-Sheveleva_Security-competence-integral-parte.pdf?sequence=1&isAllowed=y
27. Tomczyk Ł. Skills in the Area of Digital Safety as a Key Component of Digital Literacy among Teachers // Education and Information Technologies. – №25. – 2020. – P. 471-486.
28. Gallego-Arrufat M., Torres-Hernández N., Pessoa T. Competencia de Futuros Docentes en el Área de Seguridad Digital // Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación. – № 61. – 2019. – P. 57-67.
29. Долгих Е.А., Першина Т.А. Статистическое изучение цифровых компетенций студентов // E-Management. – 2019. – № 3. – С. 64-72.
30. Милютина А.А., Никитина Е.Ю. Анкета по определению уровня сформированности медиакомпетенций обучающихся // Глобальный научный потенциал. – 2019. – № 8 (101). – С. 65-71.
31. Дергаева С.С. Цифровые видеогрипы как инструмент формирования коммуникативной компетенции студентов // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2019. – Т. 8. – № 3 (28). – С. 93-96.
32. Asai A., Kasai J., Clark J.H., Lee K., Choi E. and Hajishirzi H. XOR QA: Cross-lingual open-retrieval question answering. // Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2021. URL: <https://aclanthology.org/2021.naacl-main.46.pdf>
33. Riccio V., Jahangirova G., Stocco A. et al. Testing machine learning based systems: a systematic mapping // Empirical Software Engineering. – Volume 25. – Issue 601. – 2020. – P. 5193-5254.

Статья поступила в редакцию 11.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 004.89:004.93

EDN: PQKDRH

ОСОБЕННОСТИ ОКРАШИВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ, СИНТЕЗИРУЕМЫХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ МЕТОДАМИ МАШИННОЙ ГРАФИКИ

© Автор (ы) 2023

SPIN: 2525-0079

AuthorID: 212

ORCID: 0000-0002-4498-9821

ResearcherID: E-8018-2018

ScopusID: 57195506668

РОГАНОВ Владимир Робертович, доцент кафедры «Информационные технологии и системы»

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 6710-9740

AuthorID: 1007495

ORCID: 0000-0002-8560-7199

ResearcherID: HJA-3380-2022

ScopusID: 57216592541

ЕСИМОВА Нурзипа Сапаровна, аспирант кафедры «Информационные технологии и системы»

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 7733-6110

AuthorID: 958273

ORCID: 0000-0002-9983-7067

ScopusID: 57201443964

КУВШИНОВА Ольга Александровна, старший преподаватель

кафедры «Информационно-вычислительные системы»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

(440028, Россия, г. Пенза, улица Германа Титова, д. 28, e-mail: oly791702@mail.ru)

АЛЬ-АМИДИ Мустафа Абдулкадим Дхаир, аспирант кафедры «Информационные системы и технологии»

Тамбовский государственный технический университет

(392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2, e-mail: econom@tstu.ru)

Аннотация. Одной из актуальных задач авиационного тренажёростроения является увеличение учебных ситуаций, разрешенных Заказчиком для обучения лётчика профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата и самолётовождения. Ранее выпускавшиеся авиационные тренажёры были ориентированы на обучение лётчиков решению задач пилотирования летательного аппарата в нормальных и предаварийных условиях. Предполагалось что решение задач самолётовождения разрушается только при полётах «в облаках». Такое положение являлось следствием недостаточного качества имитатора визуальной обстановки, в частности при использовании текстур для окрашивания 3D-моделей реперных объектов их рисунок искажается при изменении оптимальной дистанции наблюдения конкретной текстуры. В статье анализируются известные методы окрашивания 3D-полигонов из которых набираются 3D-модели реперных объектов расположенных на подстилающей поверхности 3D-модели района полётов.

Ключевые слова: машинная графика, авиационный тренажёр, текстура, трёхмерная модель объекта, неплоская модель объекта, 3D-модель района полётов.

PECULIARITIES OF COLORING 3D MODELS SYNTHETIZED IN REAL TIME BY METHODS OF COMPUTER GRAPHICS

© Author(s) 2023

ROGANOV Vladimir Robertovich, associate professor of the Department of Information Technologies

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: vladimir_roganov@mail.ru)

ESIMOVA Nurzipa Saparovna, postgraduate student Department "Information technologies and systems"

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova passage/Gagarina street, 1a/11, e-mail: nurzipa.esimova@mail.ru)

KUVSHINOVA Olga Alexandrovna, senior lecturer of the Department of Information Computing Systems

Penza State University of Architecture and Construction

(440028, Russia, Penza, German Titov street, 28, e-mail: oly791702@mail.ru)

AL-AMEEDEE Mustafa Abdulkadhim Dhahir, postgraduate student

Tambov State Technical University

(392000, Russia, Tambov, Sovetskayast., 106/5, room 2, e-mail: econom@tstu.ru)

Abstract. One of the urgent tasks of aviation simulator building is to increase the training situations allowed by the Customer for training a pilot in professional skills of piloting an aircraft and aircraft navigation. Previously produced aviation simulators were focused on training pilots to solve the problems of piloting an aircraft in normal and pre-accident conditions. It was assumed that the solution to the problems of aircraft navigation is destroyed only when flying "in the clouds". This situation was a consequence of the insufficient quality of the visual environment simulator, in particular, when textures are used to color 3D-models of reference objects, their pattern is distorted when the optimal viewing distance for a particular texture changes. The article analyzes the known methods for coloring 3D-polygons from which 3D-models of reference objects located on the underlying surface of the 3D-model of the flight area are collected.

Keywords: computer graphics, flight simulator, texture, 3D-object model, non-planar object model, 3D-flight area model.

Для цитирования: Роганов В.Р. Особенности окрашивания 3D-моделей, синтезируемых в режиме реального времени методами машинной графики / В.Р. Роганов, Н.С. Есимова, О.А. Кувшинова, М. Аль-Амиду // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 68-72. – EDN: PQKDRH.

Введение. Для увеличения числа учебных ситуаций [1] разрешенных Заказчиком для профессиональной подготовки лётчиков [2] необходимо модернизировать эргатический оптико-программно-технический имитатор (названный «Имитатор визуальной обстановки» (ИВО)) [3], синтезирующий в режиме реального времени 3D-модель района полётов размером не менее чем 400×400 км [4] и обеспечивающий лётчику условия выделения и распознавания 3D-моделей реперных объектов [5] по которым он может визуально ориентироваться в полёте [6]. Ранее решение этой задачи сдерживалось имевшимся техническими характеристиками используемых программно-технических узлов [7] и оптических систем [8], а также доминированием среди учебных ситуаций связанных с обучением профессиональному пилотированию летательного аппарата (ЛА) в нормальных и предаварийных ситуациях [9].

Рывок в области разработки новых и совершенствования имеющихся технических средств [10] позволил размещать на 3D-модели большого района полётов достаточное число 3D-моделей объектов [11], которые с помощью ИВО синтезируются за кабиной авиационного тренажёра и распознаются лётчиком как реперные [12]. При этом возникли новые задачи, на которые ранее не обращали внимания.

Одной из таких задач является окрашивание 3D-полигонов [13] из которых набираются 3D-модели.

Известно два метода окрашивания 3D-полигонов. Первый – монохромный окрасом. Цвет 3D-полигона не меняется при изменении дистанций его наблюдения [14].

Второй – использование разного вида текстур. 3D-полигон окрашенный текстурой смотрится более реалистично и улучшает условия для распознавания 3D-моделей реперных объектов. Однако рисунок текстуры, используемой для окрашивания 3D-полигонов хорошо заметен только на определённой дистанции их наблюдения [15]. Лётчик, во время полёта на авиационном тренажёре видит 3D-модели с принадлежащими им 3D-полигоном, которые окрашены текстурой чёткий рисунок

которой будет виден только на высотах от h до h_{max} . На всех других высотах рисунок текстуры будет расплывчатым. Следовательно, необходимо бороться с этим явлением.

Методология. Назначение ИВО – синтезировать в режиме реального времени (цикл 80 мс) для лётчика 3D-изображение части 3D-модели земной поверхности, попавшей в данный момент времени в камеру наблюдения. Будем считать, что качество получаемого 3D-изображения $Q^{(3D)}(h(t_i))$ должно позволять лётчику профессионально осуществлять поиск 3D-моделей реперных объектов в любой момент времени t_i и тренировать свой глазомер при полётах на авиационном тренажёре на любой высоте $h(t_i)$.

ИВО синтезирует для лётчика 3D-изображение в режиме реального времени с циклом смены очередного кадра $t_i \leq 80$ мс получив от имитатора динамики авиационного тренажёра положение наблюдателя в «мировой системе координат» (в которой отслеживается перемещение модели летательного аппарата) и направление его взгляда (обычно совпадает с продольной осью 3D-модели летательного аппарата). При этом специальная программно-техническая система названная «Компьютерный генератор изображения» (КГИ) обрабатывая разработанную под условия Заказчика базу данных высвечивает на экране изменяемый в каждый такт t_i видеоряд из 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов с качеством $Q^{(2D)}(h(t_i))$. Установленный между человеком и экраном специальный беззачекный одноканальный 3D-индикатор, или в двухканальный 3D-индикатор с диспаратными очками направляют световой поток от экрана в глаза человека одновременно воздействуя на заданные составляющие его зрительного аппарата. В итоге человек считает, что t_j момент времени при полёте на высоте $h(t_j)$ он видит 3D-модели M_k всех k -ых объектов, которые он может распознать как реперные объекты. Разность вероятностей распознавания k -ой наблюдаемой 3D-модели M_k реперного k -ого объекта $P(Q_{M_k}^{(3D)}(h(t_j)))$ в сравнении с вероятностью распознаванием реального k -ого реперного объекта

$P(Q_{R_k}^{(V)}(h(t_j)))$ найденного лётчиком при полёте на реальном летательном аппарате должна стремиться к «0»:

$$\left| P(Q_{R_k}^{(V)}(h(t_j))) - P(Q_{M_k}^{(2D)}(h(t_j))) \right| \approx 0.$$

И в каждый t_j момент времени

$$P(Q_{M_k}^{(3D)}(h(t_j))) = F^{(2D)}(Q_{M_k}^{(2D)}(h(t_j)), O_u^{(3D)}, C_{(3D)}^V(T_m))$$

зависит:

- от качества видеорядов из 2D-проекции 3D-моделей реперных объектов $Q_{M_k}^{(2D)}(h(t_j))$;

- от технических характеристик оптической системы $O_u^{(3D)}$;

- от подготовленности определённых составляющих когнитивной модели m -го лётчика $C_{(3D)}^V(T_m)$ находить на общем фоне требуемый реперный объект, что зависит от времени его налёта T_m (как при полётах на реальном летательном аппарате, так и при полётах на авиационном тренажёре) [16].

Исследования показали, что при выборе метода окрашивания 3D-полигонов из которых набираются все 3D-модели: монохромным цветом, или текстурой, последний предпочтителен, так как улучшает условия распознавания 3D-модели как реперного объекта. Однако, при нарушении заданной дистанции наблюдения 3D-полигона окрашенного текстурой, её рисунок искажается, что ухудшает условия распознавания синтезированной 3D-модели как реперного объекта.

Для улучшения условий наблюдения 3D-модели 3D-полигоны которой окрашены текстурами программная часть КГИ разрешает использование нескольких 3D-подмоделей $M_k(l_n)$ одной и той же 3D-модели M_k , где l_n – ряд из дискретных интервалов $n \in 1..N$, на которых при синтезе изображения наблюдаем конкретную $M_k(l_n)$ с хорошим качеством (такая подмодель $M_k(l_n)$ конструктивно разработана для её наблюдения на n -ом интервале и окрашена текстурой разработанной для этого интервала). Заданная дистанция наблюдения каждой $M_k(l_n)$, является частью атрибута её описаний в базе данных и позволяет автоматически вызывать её на обработку при опадании подвижного наблюдателя на n -ую дистанцию. Учитывая, что в начале каждого такта режиме реального времени t_j полностью обновляется файл на обработку в КГИ всех примитивов, из которых методами машинной графики синтезируется видимая часть 3D-модели района полётов это означает, что имеется возможность в зависимости от изменения дистанции наблюдения независимо обрабатывать одну 3D-подмодель, или другую. Каждая 3D-подмодель должна иметь свой рисунок текстуры, который характерен для реперного объекта и разработан для окраса именно той подмодели $M_k(l_n)$, которая в данный момент обрабатывается.

Тогда появляется задача разработки множества текстур для окрашивания конкретной 3D-подмодели с указанием дистанции наблюдения для этой текстуры.

Исследования показали, что текстура всегда разрабатывается на основании фотографии реперного

объекта. Для окрашивания конкретной 3D-подмодели используются два метода подготовки текстуры:

- рассчитав необходимую дистанцию наблюдения фотографируют с наиболее удачной позиции реперный 3D-объект (при этом телесный угол фотокамеры должен совпадать с телесным углом выбранного 3D-индикатора, что обычно составляет 30 градусов по вертикали и 40 градусов по горизонтали) затем выделяют на фотографии наиболее характерный для данного реперного объекта рисунок (квадрат заданного для данного программного обеспечения КГИ), который становится базовой текстурой $I_k(l_n)$ для окрашивания всех 3D-полигонов $M_k(l_n)$;

- рассчитав лучшую дистанцию наблюдения выбранного объекта, фотографируют его с наиболее удачной позиции (при этом телесный угол фотокамеры должен совпадать с телесным углом 3D-индикатора, что обычно составляет 30 градусов по вертикали и 40 градусов по горизонтали) затем выделяют на фотографии наиболее характерный для данного реперного объекта рисунок (квадрат заданного для данного программного обеспечения КГИ), который становится исходную текстуру $I_k^{(b)}$, разработанную для $M_k(l_n)$, на базовой дистанции наблюдения, тогда для окрашивания 3D-полигонов $M_k(l_n)$, наблюдаемых на других дистанциях используются текстуры, разработанные на основе исходной текстуры $I_k(l_n) = F(I_k^{(b)}, l_n)$.

В компьютерных играх допускается вариант пересчёта $I_k^{(b)}$ при изменении дистанции наблюдения $M_k(l_n)$ [16]. В авиационных тренажёрах такой подход, как правило недопустим. Исследования показали, что в этом случае целесообразно разрабатывать ряд необходимых текстур, считая что за основу её смены надо брать расстояние, когда четыре пикселя $I_k^{(b)}$ (расположенных в квадрате):

- при удалении начинают конкурировать за один пиксель и цвет этого пикселя принимается равным цвету самого яркого пикселя из этих четырёх (при взятии за основу их характеристик в основных цветах R, G, B);

- при приближении один пиксель $I_k^{(b)}$ их базой $M_k(l_n)$ окрашивает в свои цвета четыре пикселя приближенной к наблюдателю ближе базовой дистанции.

Второй метод позволяет уменьшить затраты на разработку текстур, но первый даёт более реалистичное изображение $M_k(l_n)$ на всех дистанциях наблюдения. В большинстве КГИ такой подход дополнительно поддерживается делением всего 3D-района полётов сначала на сегменты первого уровня, затем каждый сегмент первого уровня делится на четыре сегмента второго уровня и т.д. [17] Тогда разрабатываются столько $M_k(l_n)$, на какое количество вложенных друг в друга сегментов делится сегмент первого уровня [18].

Результаты. Показано, что при использовании текстур имеются два порога [18], ограничивающих их применение для окрашивания 3D-полигонов.

Первый порог – минимальная дистанция наблюдения 3D-полигона с текстурой $L_1^{(A_i)}$ (где A_i – характеристики рисунка i -ой текстуры). На дистанции ближе $L_1^{(A_i)}$ рисунок A_i расплывается на пиксели [19], второй порог – максимальная дистанция наблюдения $L_2^{(A_i)}$ [20]. На дистанции далее $L_2^{(A_i)}$ рисунок текстуры не читается из-за конкуренции цветовых пятен за пиксели экрана [21]. Так как лётчик летает на модели летательного аппарата над 3D-моделью местности на разных высотах, необходимо обеспечить возможность наблюдения чёткого рисунка текстуры на разных дистанциях наблюдения, в любой момент времени t_j при всех допустимых высотах полётов $h(t_j)$, разрешенных для данного типа летательного аппарата (ЛА) $H_{min}^{(ЛА)} \leq h(t_j) \leq H_{max}^{(ЛА)}$.

Число $M_k(l_n)$ должно соответствовать число вложенных друг в друга сегментов на которые делится сегмент первого уровня.

Обсуждение. В настоящее время нет методики, позволяющей объективно оценить возможности КГИ для моделирования в реальном масштабе времени конкретной 3D-модели земной поверхности размером более чем 400×400 км чтобы позволить Заказчику задавать новые учебные ситуации с решением навигационных задач, ориентируясь по наблюдаемым 3D-моделям реперных объектов на всему маршруту полёта. Однако, результаты проведённых исследований показывают, что разделив всю 3D-модель района полётов на сегменты первого и последующего уровней (причём деление объективно зависит от числа $M_k(l_n)$ разработанных с учётом их окраса текстурами, а их число зависит от дистанции наблюдения и от разрешающей способности экрана на который синтезируется 2D-проекция 3D-подмоделей реперных объектов).

Выводы. Необходимо разработать методику и алгоритмы формирования текстур для окрашивания 3D-подмоделей реперных объектов объединённых в один сегмент соответствующего уровня, а также разработать метод деления 3D-модели района полётов на сегменты первого уровня и вложенных в него сегментов следующих уровней, так чтобы при изменении высоты полёта на авиационном тренажёре лётчик всегда видел чёткий окрас 3D-полигонов из которых набраны все наблюдаемые 3D-подмодели реперных объектов.

*Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 23-21-10046, [https://
rscf.ru/project/23-21-10046/](https://rscf.ru/project/23-21-10046/)*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шукшунув, В.Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Под ред. В.Е. Шукшунува // М.: Машиностроение, 1986.– 240 с.
2. Красовский, А.А. Авиационные тренажеры / А.А. Красовский, В.И. Лопатин и др. // М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1992.– 320 с.
3. Роганов В.Р. Совершенствование эргатических

программно-технических комплексов "Авиационный тренажер" за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетовождения / В.Р. Роганов, О.А. Кувшинова, Н.С. Есимова, Е.А. Асмолова, Л.А. Тюрина // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 2 (30). – С. 96-105.

4. Roganov V.R. "Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator" / V.R. Roganov, A.B. Sagyndyk, R.F. Akhtarieva, A.K. Beisenbayeva., S.I. Sannikova // in International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – N 15. – P. 5207-5213.

5. Прокофьев О.В., Савочкин А.Е. Моделирование системы обнаружения предаварийной ситуации на основе нечеткой когнитивной карты // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – №2 (22). – С. 73-79.

6. Марчук В.И. Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов / В.И. Марчук, Т.А. Глебова, О.А. Кувшинова, Н. Есимова // Надежность и качество сложных систем. – 2021. – №3 (35). – С. 80-86.

7. Михеев М.Ю. Некоторые аспекты качества синтеза 3D-изображений для специализированных когнитивных обучающих сред / М.Ю. Михеев, Е.Н. Мещерякова, Л.А. Найнши, О.А. Кувшинова // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4(24). – С. 100-107.

8. Нгуен Т.Л. К проблеме формирования облика перспективных беспилотных летательных аппаратов / Т.Л. Нгуен, Н.А. Кузин, Н.К. Юрков. // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – №1 (37). – С. 55-66.

9. Мамонтов Е.В. Некоторые проблемы повышения эффективности систем управления воздушным движением // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 1(37). – С. 5-8.

10. Дарьина А.Н. Отказоустойчивые системы управления динамическими объектами специального назначения / А.Н. Дарьина, И.В. Прокопьев // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 4 (40). – С. 82-88.

11. Roganov V. "Features of the formation of an "Information flight model" by simulators of an aviation simulator" / V. Roganov, M. Chetvergova, L. Remontova // in Journal of Physics: Conference. Ser. 2. 2022. – P. 012099.

12. Роганов В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные имитаторами авиационного тренажёра // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 12. – С. 32-39.

13. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Методы интерактивного моделирования и визуализации функционально заданных объектов для 3D веб-приложений // Автометрия. – 2022. – Т. 58. – № 1. – С. 111-118.

14. Roganov V. "Main provisions for formation of cognitive model of visually observable environment synthesized for aircraft simulator" / V. Roganov, M. Miheev, E. Roganova, B.I. Nurgozhin, V. Fillipenko // Advances in Engineering Research. – 2017. – Vol. 133. – P. 671.

15. Вяткин С.И. Отображение текстуры на плоские и криволинейные поверхности, свободные формы и объемы / С.И. Вяткин, Б.С. Долговесов, Н.Р. Каипов // Автометрия. – 2002. – № 1. – С. 17-24.

16. Роганов В.Р. Управление ресурсами специализированной системы синтеза изображения района полетов для авиационного тренажера / В.Р. Роганов, М.Ю. Михеев // Авиакосмическое приборостроение, 2023. – № 3. – 48-60.

17. Цифровая фотография. Борьба с шумом фотографий: учебное пособие для бакалавров/ Г. П. Катунин.// Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 387 с.

18. Вяткин С.И., Гимаутдинов О.Ю., Долговесов Б.С., Каипов Н.Р., Чижик С.Е. Архитектурные особенности системы визуализации реального времени на основе сигнальных процессоров//Автометрия. – 1999. – № 1. – С. 110-119.

19. Вяткин С.И., Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Рожков А.Ф. Эффективный метод растривания изображений для компьютерных систем визуализации реального времени // Автометрия. – 1993. – № 5. – С. 45-50.

20. Вяткин С.И., Долговесов Б.С., Валетов А.Т. Геометрические операции для функционально заданных объектов с применением функций возмущения // Автометрия. – 2004. – Т. 40. – № 1. – С. 65-73.

21. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. "Compression of geometric data with the use of perturbation functions" in Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2018. – Vol. 54. – № 4. – P. 334-339.

Статья поступила в редакцию 25.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 641.561+637.521

EDN: FXOTLT

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ КИНОА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНИЕМ
МЯСНЫХ РУБЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 8142-7290

AuthorID: 622386

ORCID: 0000-0002-4552-8007

БОЧКАРЕВА Зенфира Альбертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: bochkarievaz@mail.ru)*

SPIN: 1812-1327

AuthorID: 629762

ORCID: 0000-0002-3395-4586

ПЧЕЛИНЦЕВА Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: pchelincevaon@yandex.ru)*

ORCID: 0000-0002-0338-7496

КУДРЯ Анна Николаевна, магистрант кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: omelette07@yandex.ru)*

Аннотация. Расширяется ассортимент альтернативных продуктов, состоящих из мяса и растительного сырья, т.к. технологический производственный процесс схож с производством обычных рубленых полуфабрикатов, ценовой фактор также создает преимущество в реализации изделий. Разработка мясных рубленых изделий с использованием муки из киноа разнообразит ассортимент мясорастительных изделий. В работе обоснована рациональная доза внесения муки киноа для внесения в мясные рубленые изделия и повышения пищевой и биологической ценности – 15% по отношению к массе мяса. Установлено оптимальное количество минеральной воды Donat путем проведения эксперимента для выявления влагоудерживающей способности муки киноа. Оптимальное соотношение муки киноа и минеральной воды Donat – 1:1,5. Установлено, что в изделиях с добавлением муки киноа и минеральной воды Donat содержание магния относительно контрольного образца в образцах №1, 2, 3 выше на 75%, 125% и 176% соответственно. Улучшаются органолептические показатели в сравнении с контрольным образцом. Продукт становится сочным, что связано с хорошей влагоудерживающей способностью муки из киноа.

Ключевые слова: изделия, мясные, рубленые, киноа, мука, минеральная вода, магний.

**THE USE OF QUINOA FLOUR FOR MAGNESIUM ENRICHMENT
OF MINCED MEAT PRODUCTS**

The Author(s) 2023

BOCHKAREVA Zenfira Albertovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department "Food Production"**PCHELINTSEVA Olga Nikolaevna**, candidate of technical sciences,
associate professor of the department "Food Production"**KUDRYA Anna Nikolaevna**, master's student of the department "Food Production"
*Penza State Technological University**(440039, Russia, Penza, Baidukova Passage/ul. Gagarina, 1a/11,
e-mails: bochkarievaz@mail.ru, pchelincevaon@yandex.ru, omelette07@yandex.ru)*

Abstract. The range of alternative products consisting of meat and vegetable raw materials is expanding, because the technological production process is similar to the production of conventional chopped semi-finished products, the price factor also creates an advantage in the sale of products. The development of minced meat products using quinoa flour diversifies the range of meat products. The paper substantiates the rational dose of quinoa flour for introduction into minced meat products and increasing the nutritional and biological value – 15% relative to the mass of meat. The optimal amount of Donat mineral water was determined by conducting an experiment to identify the moisture-retaining ability of quinoa flour. The optimal ratio of quinoa flour and Donat mineral water is 1:1.5. It was found that in products with the addition of quinoa flour and Donat mineral water, the magnesium content relative to the control sample samples No. 1, 2, 3 is 75%, 125% and 176% higher, respectively. Organoleptic parameters are improved in comparison with the control sample. The product becomes juicy, which is due to the good moisture-retaining ability of quinoa flour.

Keywords: products, meat, chopped, quinoa, flour, mineral water, magnesium.

Для цитирования: Бочкарева З.А. Использование муки киноа для обогащения магнием мясных рубленых изделий / З.А. Бочкарева, О.Н. Пчелинцева, А.Н. Кудря // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 73-78. – EDN: FXOTLT.

Введение. Увеличивается спрос на продукцию, которая отвечает требованиям быстрого питания. К таким блюдам относятся в том числе изделия из мяса – быстрые и легкие в приготовлении, а также доступные для людей с различным достатком. Актуальность научных разработок в области проектирования комбинированных мясных изделий обусловлена следующими факторами: дефицит отечественного мясного сырья; высокая доля низкокачественного импортного мяса; постоянно повышающаяся стоимость мяса.

Однако в составе классических мясных рубленых изделий наблюдается дефицит пищевых волокон, некоторых минеральных веществ и витаминов. В связи с этим существует необходимость разработки новых с добавлением растительного сырья для обогащения мясных рубленых изделий [1].

Крупа киноа – является одним из популярных полезных продуктов, в котором не содержится глютен. Киноа (*Chenopodium quinoa Willd*) считается псевдозернистой крупой, была признана полноценным продуктом питания благодаря качеству белка, который обладает отличным балансом аминокислот [2]. Кроме того, крупа киноа считается масличной культурой с достаточной долей полиненасыщенных жирных кислот, где содержание линолевой кислоты (С18:2) составляет от 41,95 до 45,35%, линоленовой (С18:3) от 6,12 до 7,89% [3]. Доля нерастворимых пищевых волокон в крупе киноа выше в 2 раза по сравнению с гречневой мукой [4]. Кроме того, киноа богата магнием, калием, фосфором, клетчаткой, витаминами группы В и Е, а также содержит все незаменимые аминокислоты [5-12]. Содержание крахмала в киноа придает функционально-технологическое свойство, как гидрофильность при применении муки из данной крупы в технологии мясных рубленых изделий.

Для повышения содержания магния в изделиях предложено замачивание муки киноа не в воде, а в минеральной воде. Исследование минерализации воды по содержанию магния показало, что лидером по содержанию Mg среди минеральных вод является Донат Mg.

Donat Mg – это природная минеральная углекислая магниевое-натриево-гидрокарбонатно-сульфатная вода из источников Рогашка-Слатины в Словении с минерализацией 13 г/л. Вода стало особа популярной благодаря высокому содержанию магния (1030 мг/л). Остальные марки, такие как Стэлмас, Сулинка, Нарзан, Эссендуки №17 имеют концентрацию магния не превышающую 500 мг/л.

В связи с этим, исследования, связанные с применением муки из киноа и минеральной воды *Donat* в рецептуре мясных рубленых изделий, являются актуальными и направлены на использование нетрадиционного растительного сырья и расширение

ассортимента продукции. В научной литературе отсутствуют данные о разработке мясных рубленых изделий с использованием муки из киноа и минеральной воды *Donat*.

Учеными было изучено влияние других видов муки на мясные рубленые изделия и полуфабрикаты [13-19]. Проведены разработки с мукой гречневой, кукурузной, рисовой из отечественных видов сырья [15, 20, 21].

Принимая во внимание вышеизложенное, актуальным становится разработка мясных рубленых изделий с использованием круп в качестве нетрадиционного сырья и источника ценных питательных веществ за счет их высокой пищевой ценности.

Методология. Целью работы являлась разработка технологии изготовления изделий из рубленого мяса с мукой киноа и минеральной водой *Donat* для обогащения изделий минеральными веществами.

Объектами исследования были выбраны: мука из крупы киноа от компании АгроАльянс по ТУ 10.61.32-017-87345472-2017; минеральная вода *Donat* по ГОСТ Р 54316-2020 [9]; мясное сырье (говядина по ГОСТ 33818-2016, свинина по ГОСТ 31778-2012, жирсырец по ГОСТ 25292-2017); котлеты «Домашние» из сборника рецептов блюд и кулинарных изделий по рецептуре №611 были приняты за контрольный образец [10], мясорастительные рубленые изделия с добавлением 10% (образец №1), 15% (образец №2), 20% (образец №3) муки киноа к количеству мяса.

Цвет, запах и вкус муки киноа определяют согласно методу, описанному в ГОСТ 27558-87. Цвет муки определяют визуальным при рассеянном дневном свете, а также при освещении лампами накаливания или люминесцентными лампами. Влажность муки киноа определяют согласно методу, описанному в ГОСТ 9404-88. Влажность определяют в двух параллельных навесках.

Органолептические показатели и объем воды в бутылках определяют методом, описанным в ГОСТ 23268.1-91. Содержание ионов магния в минеральной воде определяют методом, описанным в ГОСТ 23268.5-78.

Общие условия проведения органолептической оценки регламентируются ГОСТ 9959-2015.

Согласно поставленной цели, было произведено компьютерное моделирование рецептуры мясорастительного рубленого изделия.

Результаты. В качестве растительной добавки использовали муку из крупы киноа, гидратированную в минеральной воде *Donat*.

Согласно ГОСТ 5526-2015 киноа относится к продовольственным зерновым культурам.

Органолептическая характеристика муки киноа представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические показатели муки киноа

Показатель	Норма
Внешний вид	Мука имеет однородную консистенцию, без посторонних примесей.
Цвет	Светло-желтый или белый с желтоватым оттенком
Запах	Свойственный муке из киноа, не плесневелый, не затхлый
Наличие минеральной примеси	При разжевывании муки не должно ощущаться хруста

По внешнему виду мука киноа схожа с мукой пшеничной первого сорта, но есть все же и различия по цвету и вкусу. Лабораторные исследования химического состава муки киноа показали небольшое отличие от проведенных другими авторами исследований химического состава, содержание магния указано в соответствии с литературными данными [22]. Химический состав муки киноа представлен на рисунке 1.

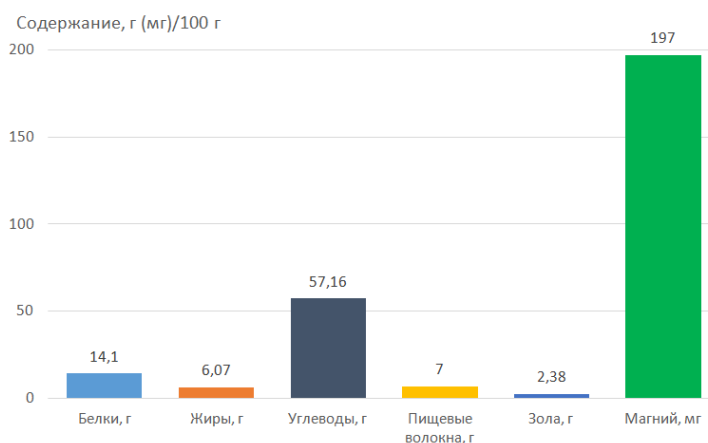


Рисунок 1 – Химический состав муки киноа

Согласно ГОСТ Р 54316-2020 минеральная вода *Donat* – это минеральная лечебная вода, со степенью минерализации 13,2 г/л. Она является магниевно-натриево-гидрокарбонатно-сульфатной и высокоминерализованной. Вода используется в курсовом лечении гастроэнтерологических и эндокринных заболеваний, при дефиците магния в организме, также *Donat Mg* пригодна для ежедневного употребления.

Перед использованием муки киноа в технологии производства изделий был проведен эксперимент для определения ее влагоудерживающей способности. К муке добавляли минеральную воду в соотношении 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5 и изготавливали образцы изде-

лий с добавлением гидратированной муки в данных соотношениях. Согласно полученным данным наиболее качественные показатели у готовых изделий были выявлены при соотношении муки и жидкости 1:1,5. Полученные данные были использованы при проектировании рецептуры.

Благотворное влияние на организм оказывает наличие в составе крупы киноа магния, являющегося дефицитным элементом в питании человека. Значительное количество этого макроэлемента содержится в растительной пище [23]. Изменение содержания минеральных веществ в готовых изделиях при добавлении муки киноа, гидратированной минеральной водой отобразено на рисунке 2.

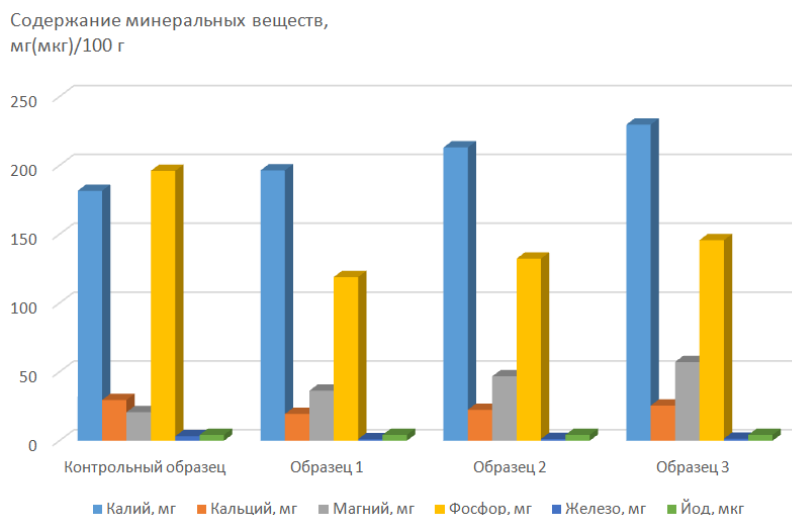


Рисунок 2 – Изменение содержания минеральных веществ в мясных рубленых изделиях в зависимости от добавления наполнителя

Благодаря высокому содержанию магния в киноа, содержание данного минерального вещества при добавлении растительного наполнителя увеличилось. Так, относительно контрольного образца в опытных образцах №1,2,3 содержание магния выше на 75%, 125% и 176% соответственно. Это обусловлено тем, что содержание магния в киноа на 80% выше, чем в пшеничном хлебе. Кроме того, мука перед внесением в фарш смешивается с минеральной водой *Donat*, в которой содержание магния на 61% выше, чем в пшеничном хлебе. В связи с этим, при добавлении муки киноа, гидратированной минеральной водой *Donat* изделия по содержанию магния приближаются к функциональным.

Также увеличивается содержание калия. Содержание калия в разрабатываемых мясных рубленых изделиях выше на 8%, 17% и 26% соответственно в сравнении с котлетами домашними.

В образце №1 содержание кальция ниже на 34% в сравнении с контрольным образцом, в образце №2 – на 24%, а в образце №3 на 13%. Учитывая аннигиляцию магния и кальция, такое изменение не является отрицательным.

Содержание фосфора также увеличивается, но не достигает отметки контрольного образца при

добавлении определенного содержания наполнителя. Так, контрольный образец превосходит опытные на 39%, 32% и 25%. Это связано с тем, что в пшеничном хлебе содержится на 71% больше данного минерального вещества, чем в муке киноа и совсем отсутствует в минеральной воде. В то же время фосфор является избыточным веществом в питании человека.

Т.к. в киноа содержится небольшое количество, а в минеральной воде *Donat* отсутствует железо, то при добавлении этих ингредиентов снижается его содержание. В процентном соотношении в исследуемых образцах №1, 2, 3 содержание данного минерального вещества ниже на 64%, 60% и 54%.

Человеческому организму необходим полноценный белок. При введении растительного сырья в рецептуру мясных продуктов важно соотношение содержания аминокислот путем соответствующих расчетов – расчета аминокислотного сора. Белок, который содержится в крупе киноа имеет высокую биологическую ценность. Анализ данных контрольного образца свидетельствует о том, что белок в нем является неполноценным. Изменение аминокислотного сора при добавлении растительного наполнителя отобразено на рисунке 3.

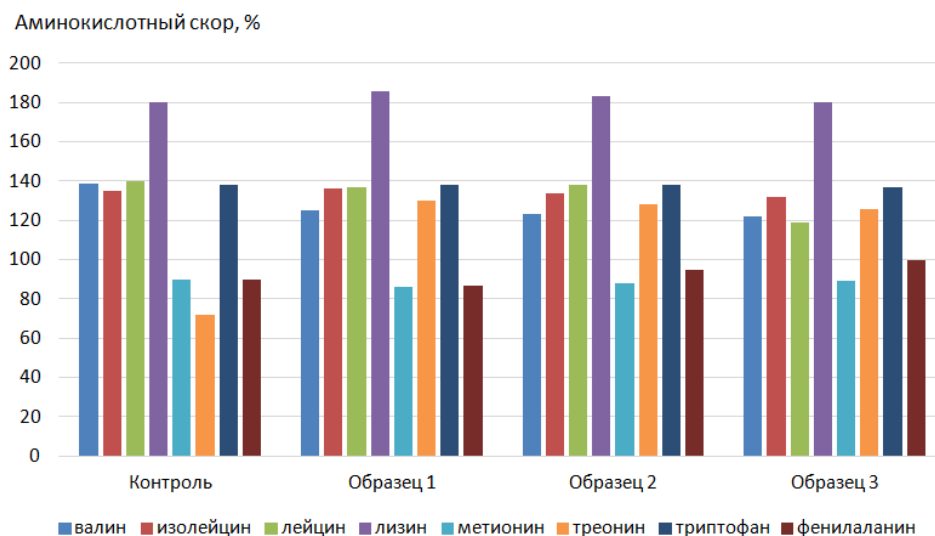


Рисунок 3 – Изменение аминокислотного сора при добавлении разного количества растительного наполнителя

В представленных образцах белок является неполноценным. В этих изделиях присутствуют лимитирующие кислоты, которые будут понижать ценность всего продукта. Такие изделия желателно комбинировать с другими продуктами, содержащими в достаточном количестве лимитирующую аминокислоту.

Лимитирующими аминокислотами в контрольном образце являются метионин, треонин, фенилаланин; но в разрабатываемых образцах содержание треонина резко увеличивается, лимитирующей аминокислотой остается только метионин. В образце под номером 3 белок близок к полноценному. Такие изделия могут обеспечить организм необходимым соотношением аминокислот.

В процессе проведения эксперимента были определены потери массы при тепловой обработке. Сформованные и панированные полуфабрикаты взвешивали, затем жарили основным способом с доведением в жарочном шкафу. После тепловой обработки изделия снова взвешивали.

Результаты исследований в виде диаграммы отобразены на рисунке 4.

На основании проведенного эксперимента было выявлено, что процент потерь при тепловой обработке с добавлением наполнителя – муки киноа и минеральной воды *Donat* значительно уменьшается.

В сравнении с контролем, в образце №1 потери ниже на 30%, у образца №2 на 36%, а у образца №3 на 47%.

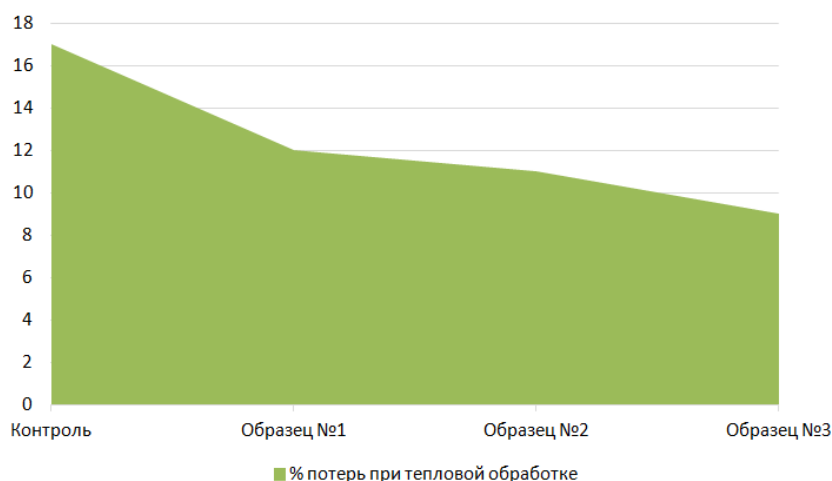


Рисунок 4 – Потери при тепловой обработке мясных рубленых изделий с мукой киноа

Обсуждение. Установлено, что в изделиях с добавлением муки киноа и минеральной воды *Donat* содержание магния относительно контрольного образца образцах №1, 2, 3 выше на 75%, 125% и 176% соответственно. Но одним из важнейших критериев является сохранение органолептических показателей. Органолептические показатели в сравнении с контрольным образцом улучшаются. Продукт становится сочным, что связано с хорошей влагоудерживающей способностью муки из киноа. При добавлении 20% муки киноа консистенция котлет становилась менее упругой, на поверхности появлялись трещины. Вкус котлет был менее мясной, чувствовалось практически только киноа. В результате был выбран образец с добавлением 15% муки киноа и минеральной воды *Donat* с суммарным количеством баллов 4,9. Выбранные изделия имели высокие потребительские свойства; вид фарша на разрезе представлял комбинацию мясной и растительной части светлого оттенка из-за муки киноа; запах – ароматный, специфический для мясных изделий; вкус – мясной, с оттенком киноа. Все изделия обладали высокой сочностью, связанной с хорошей влагоудерживающей способностью муки киноа.

Выводы. Состав крупы киноа привлек внимание научного сообщества за счет высокой питательной ценности поскольку он богат белками, липидами, клетчаткой, витаминами и минералами с исключительным балансом незаменимых аминокислот. В разрабатываемых мясных рубленых изделиях улучшается аминокислотный скор по сравнению с контрольным образцом, содержание треонина резко увеличивается, лимитирующей аминокислотой остается только метионин. В образце под номером 3 белок близок к полноценному. Такие изделия могут обеспечить организм необходимым соотношением аминокислот. Установлено, что в изделиях с добавлением муки киноа и минеральной воды *Donat* содержание магния относительно контрольного образца в образцах №1, 2, 3 выше на 75%, 125% и

176% соответственно. В работе установлено оптимальное количество муки киноа для внесения в мясные рубленые изделия – 15% по отношению к массе мяса. Введение муки киноа положительно влияет на повышение водоудерживающей способности рубленых мясных масс, что способствует увеличению выхода готовых изделий. Изделия с добавлением муки киноа и минеральной воды *Donat* улучшают органолептические показатели в сравнении с контрольным образцом. Замена пшеничного хлеба на муку киноа позволяет использовать их больным целиакией, так как киноа не содержит глютен. Разработка рецептур мясорастительных рубленых изделий с мукой киноа с учетом пищевой и биологической ценности показала, что разрабатываемые изделия могут быть отнесены к функциональным при условии доказательства их физиологической полезности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бочкарева З.А. Сравнительная характеристика мясных рубленых изделий с продуктами переработки овса. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 85-91.
2. Samira Dakhili, Leyla Abdolalizadeh, Seyede Marzieh Hosseini, Saeedeh Shojae-Aliabadi, Leila Mirmoghadaie Quinoa protein: Composition, structure and functional properties \ foodchem. – 2019. – Nov 30. – 299:125161. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125161.
3. Елисеева Л.Г. Исследование жирнокислотного состава семян киноа различных торговых марок /Л.Г. Елисеева, Е.В. Жиркова, Д.С. Кокорина/ ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.М. Горбачева. – 2018. – № 1. – С. 79-80.
4. Маркова Ю.М. Зерновые продукты из амаранта, киноа и гречихи: роль в питании человека и поддержании кишечного микробиома / Ю.М. Маркова Ю.М., Ю.С. Сидорова// Вопросы питания. – 2022. – Т. 91. – № 6. – С. 17-29. – DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-6-17-29>
5. Filho AM, Pirozi MR, Borges JT, Pinheiro Sant'Ana HM, Chaves JB, Coimbra JS. Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. \ Food Science & Nutrition. – 2017. – May 24. – Vol. 57. – № 8. – P.1618-1630. – doi: 10.1080/10408398.2014.1001811.
6. Nowak V, Du J, Charrondièrre UR. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) \ Food

Chemistry. – 2016. – Feb 15 – 193 – P. 47-54. – doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.111.

7. Lin M, Han P, Li Y, Wang W, Lai D, Zhou L. Quinoa Secondary Metabolites and Their Biological Activities or Functions. *Molecules*. – 2019. – Jul 9. – 24(13):2512. – doi: 10.3390/molecules24132512.

8. Pathan S, Siddiqui RA. Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*. – 2022 Jan 27. – 14(3):558. – doi: 10.3390/nu14030558.

9. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan / Y. Hirose [et al.] // *Food Chem*. – 2010. – Vol. 119. – N 4. – P. 1300-1306.

10. Maughan P. J., Bomfacio A. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) // *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. – 2007. – Vol. 3. – P. 148-158.

11. Nowak V, Du J, Charrondière UR Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chem*. – 2016 Feb 15. – 193:47-54. – doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.111.

12. Пырьева Е.А., Гурченкова М.А., Нетунаева Е.А., Скидан И.Н. Киноа – новый вид растительного сырья для производства продуктов питания для детей раннего возраста // *Вопросы детской диетологии*. – 2019. – 17(4): 24-32. – DOI: 10.20953/1727-5784-2019-4-24-32

13. Вайтанис А.М., Ходырева З.Р. Использование конопляной муки при производстве мясных рубленых полуфабрикатов. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 1(166). – С. 126-133.

14. Рудницкая Ю.И., Березовикова И.П. Пищевая ценность мясных рубленых изделий с добавлением муки льняной/ *Техника и технология пищевых производств*. – 2010. – № 4(19). – С. 42-45.

15. Вайтанис М.А. Исследование качества мясного фарша при внесении чечевичной и рисовой муки. *Ползуновский вестник*. – 2019. – № 2. – С.32-37.

16. Наумова Н.Л., Лукина А.А., Люлькович В.С. / Использование муки из семян кунжута в технологии мясного продукта/ *Ползуновский вестник*. – 2018. – №3. – С 41-44.

17. Кененбай Ш.Ы., Петченко В.И. Растительные добавки в мясных рубленых изделиях. *Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ВНИИПП. Ржавки, 2019.* – ВНИИПП. – С.111-115.

18. Патракова И.С. и Халуева А.Д./ Использование полбяной муки в технологии рубленых полуфабрикатов/ *Материалы Инновационного конвента "Кузбасс, образование, наука, инновации". Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк).* – 2019. – С. 182-183.

19. Алексеев А.Л. и Алексеева Т.В. Использование в технологии мясных рубленых полуфабрикатах муки пророщенных семян из нута. // *Вестник КРАСГАУ*. – 2019. – С. 139-145.

20. Гумарова А.К. Использование гречневой муки в мясных полуфабрикатах/А.К. Гумарова., Т.А. Булеков, Ф.Х. Суханбердина., М.С. Тулиева.//*Евразийский союз ученых*. – 2015. – № 11-3 (20). – С.50-53.

21. Чижикова О. Использование муки кукурузной в производстве мясного рубленого полуфабриката /Чижикова О., Самченко О., Коршенко Л., Савчук А.В. сборнике: *Приморские зори – 2015. Сборник научных трудов*. – 2015. – С. 339-342.

22. Бед Ю.А., Наумова Н.Л. Разработка сдобного изделия с применением цельнозерновой муки киноа белой // *Вестник КамчатГТУ*. – 2020. – №51. – С. 35-39.

23. Rebellato AP, Grazielle Siqueira Silva J, Probio de Moraes P, Trajano B, Azevedo Lima Pallone J. Static in vitro digestion methods for assessing essential minerals in processed meat products. *Food Res Int*. 2022 May. – 155:111121. – doi: 10.1016/j.foodres.2022.111121.

Статья поступила в редакцию 25.03.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 664.685.6

EDN: DWEGXY

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАФАБЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДЕСЕРТОВ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 6828-5791

AuthorID: 1186452

ORCID: 0009-0006-2344-1396

КЛИМЕНКО Андрей Андреевич, магистрант*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: DronH1999@mail.ru)*

SPIN: 4545-4765

AuthorID: 269452

ORCID: 0000-0001-8716-4806

БАРСУКОВА Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент,

доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: barsukova_nv@spbstu.ru)*

SPIN: 8528-0207

AuthorID: 748695

ORCID: 0000-0002-5224-7182

ФЕДИНИШИНА Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук,

доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: fedinishina_eyu@spbstu.ru)*

SPIN: 5578-7593

AuthorID: 1189238

ORCID: 0009-0004-1508-0768

ШАМИЛОВ Шамиль Асхабович, магистрант*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: Achabovich@yandex.ru)*

Аннотация. Пищевая аллергия – одна из главных проблем современного общества. Куриное яйцо – наиболее распространенный продукт, вызывающий патологическую реакцию у больных. За счет пенообразующих и эмульгирующих свойств широко применяется в изготовлении кондитерских изделий, которые популярны среди населения РФ. Использование растительных аналогов позволяет создать специализированные десерты для диетического питания. В статье представлен анализ пенообразующих показателей аквафабы отечественных производителей. Практически обосновано влияние сдвига pH в сторону кислой среды для улучшения характеристик пены продуктов переработки бобовых культур. Добавление к отвару бобовых 50% раствора лимонной кислоты в количестве 0,5% от всего объема аквафабы позволило сократить продолжительность взбивания на 20-30% и увеличить кратность и устойчивость пены на 20-30% и 3-7 %, соответственно, по сравнению с образцами с естественной средой pH. Разработаны рецептуры крема, мусса, безе, определены значения плотности и пищевой ценности. По результатам органолептической оценки внедрение растительного аналога яйцепродуктов положительно отразилось на показателях кондитерских изделий. По результатам исследований рекомендовано использование аквафабы промышленного производства «Гала-Гала» вместе с лимонной кислотой в качестве альтернативы куриному яйцу при производстве специализированных десертов.

Ключевые слова: аллергия на яйца, овумокоид, растительные аналоги яйца, аквафаба, сублимированный отвар бобовых, пенообразователи, десерты, крем белковый, фруктовый мусс, безе.

USE OF AQUAFABA IN THE PRODUCTION OF SPECIALIZED DESSERTS

© Author(s) 2023

KLIMENKO Andrey Andreevich, master's student*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya street, 29, e-mail: DronH1999@mail.ru)***BARSUKOVA Natalia Valerievna**, candidate of Technical Sciences, docent,

associate professor Graduate School of Biotechnology and Food Sciences

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya street, 29, e-mail: barsukova_nv@spbstu.ru)***FEDINISHINA Ekaterina Yuryevna**, candidate of Technical Sciences,

associate professor Graduate School of Biotechnology and Food Sciences

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya street, 29, e-mail: fedinishina_eyu@spbstu.ru)

SHAMILOV Shamil Askhabovich, master's student

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya street, 29, e-mail: Achabovich@yandex.ru)

Abstract. Food allergies are one of the main problems of modern society. Chicken egg is the most common product that causes a pathological reaction in patients. Due to foaming and emulsifying properties, it is widely used in the manufacture of confectionery products, which are popular among the population of the Russian Federation. The use of vegetable analogues allows you to create specialized desserts for dietary nutrition. The article presents an analysis of the foaming performance of aquafaba produced by domestic manufacturers. Practically substantiated the effect of shifting pH towards an acidic environment to improve the characteristics of the foam products of the processing of legumes. Adding a 50% solution of citric acid to the decoction of legumes in an amount of 0.5% of the total volume of aquafaba made it possible to reduce the whipping time by 20-30% and increase the expansion and stability of the foam by 20 – 30% and 3-7%, respectively, compared with samples with natural pH. Formulas for cream, mousse, meringue have been developed, density and nutritional values have been determined. According to the results of an organoleptic evaluation, the introduction of a vegetable analogue of egg products had a positive effect on the performance of confectionery products. According to the research results, the use of commercially produced aquafaba "Gala-Gala" together with citric acid is recommended as an alternative to chicken eggs in the production of specialized desserts

Keywords: egg allergy, ovumokoid, vegetable analogues of eggs, aquafaba, freeze-dried legume decoction, foaming agents, desserts, protein cream, fruit mousse, meringue.

Для цитирования: Клименко А.А. Использование аквафабы в производстве специализированных десертов / А.А. Клименко, Н.В. Барсукова, Е.Ю. Фединишина, Ш.А. Шамилов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 79-84. – EDN: DWEGXY.

Введение. За последнее десятилетие перед всем мировым сообществом встала глобальная проблема, связанная с увеличением численности населения, страдающего пищевыми аллергиями. Все больше индивидуумов имеют генетическую предрасположенность иммунитета воспринимать вещества белковой природы, как потенциально опасные элементы [1]. Пищевой продукт, в составе которого есть определённые протеины, попадая в организм больного, провоцирует выработку иммуноглобулинов Е. Данные антитела начинают связываться с клетками респираторного, желудочно-кишечного трактов, кожи и других органов. В результате появляются такие симптомы аллергии, как ринит, тошнота, атопический дерматит и анафилактический шок [2].

В нашей стране популярны следующие продукты, способные вызывать патологическую реакцию: коровье молоко, злаки, куриные яйца, орехи и арахис [3]. На сегодняшний день куриное яйцо стало одним из самых распространенных пищевых аллергенов. У 0,5 – 2,0% детей аллергия проявляется в возрасте от 1 до 6 лет. К 4 годам у молодого организма может возникнуть толерантность в 4% случаях, а к 6 годам – в 12% [4,5]. Однако чаще всего болезнь с возрастом не проходит. В курином яйце содержатся следующие антигены: кональбумин, овальбумин, леветин и овомукоид [6]. Последний из них устойчив к термической обработке и действию пищеварительных ферментов. Поэтому основой лечения пищевых аллергий является полное исключения из рациона больного продукта и изделий, в состав которых он входит.

При этом куриное яйцо обладает пенообразующими, эмульгирующими свойствами, необходимыми

в кондитерской отрасли. Данное направление пищевой промышленности является одним из самых востребованных среди населения Российской Федерации. С 2019 по 2022 год объемы производства десертов стабильно увеличивались от 1,0 до 2,5%. В 2022 году было произведено около 3960 тонн кондитерских изделий. Согласно маркетинговым исследованиям, данный показатель будет превышен на 1,5% в 2023 г [7].

Поэтому актуальной задачей является создание специализированных десертов для людей с пищевыми ограничениями. Для решения данного вопроса важно использовать растительные аналоги куриного яйца в рецептурах изделий. Одним из таких заменителей является аквафаба – это вязкая жидкость, полученная после отваривания бобовых семян. За счет содержания крахмальных и пектиновых веществ, белков и сапониновых комплексов обладает пенообразующими, загущающими свойствами [8]. Исследования отечественных и зарубежных ученых направлены на изучение отваров из нута, гороха, фасоли, чечевицы, люпина, маша или использование жидкости от консервированных бобовых культур [9-11]. Оценивают органолептические, физико-химические показатели данных растворов. Затем применяют в производстве безе, пастилы, суфле, зефиром [12-14]. Однако, как показывает практика, использование консервированной жидкости негативно отражается на качестве готовых изделий за счет характерного вкуса бобовых [15,16]. А приготовление собственного отвара имеет ряд недостатков: продолжительность с учетом замачивания, тепловой обработки, охлаждения и фильтрования составляет более 14 ч; трудности с использованием готовых бобовых после отваривания в предприятиях, специализирующихся

на выпуске кондитерских изделий. Поэтому большим преимуществом обладают сублимированные отвары. В настоящий момент на мировом и отечественном рынках данные товары находятся в широком доступе для потребителей. Но наряду с этим научных материалов по анализу промышленных образцов аквафабы не обнаружено.

Методология. Целью данного исследования являлась оценка эффективности пенообразующих свойств сублимированных растворов аквафабы разных производителей для использования в разработке специализированных десертов.

В рамках эксперимента оценивали пенообразующие свойства сублимированных отваров бобовых отечественного производства (Образец №1 – «Гала-Гала» СТО 47488077-004-2020), (Образец №2 – «Фаба-Фаба» ТУ 01.11.73.110-003-754360462020) и отвара из нута собственного приготовления. Белок куриного яйца использовали в качестве контрольного образца. Растворы подготавливали по рекомендациям производителей: 5 г порошка образца №1 соединяли с 45 мл теплой воды ($t = 40-45^{\circ}\text{C}$) и размешивали до однородного состояния; 4 г порошка образца №2 соединяли с 40 мл теплой воды ($t = 40-45^{\circ}\text{C}$) и размешивали до однородного состояния. Собственный отвар из нута изготавливали следующим образом: 50 г нута замочили на 9 ч в воде ($t = 8-12^{\circ}\text{C}$), затем отварили в течение 2 ч при $t = 90^{\circ}\text{C}$ (гидромодуль 1:4), отвар (60 мл) охладили до $t = 30-40^{\circ}\text{C}$ и профильтровали через сито [17]. В растворах аквафабы (эквивалентных одному куриному яйцу) установили концентрацию водородных ионов рН-метром HI97102. В ходе литературного анализа определили, что в пределах значений рН от 3 до 5 в бобовых системах наблюдается рост пенообразующей способности [18]. Для этого в параллельные образцы внесли 50%-ный раствор лимонной кислоты в количестве 0,5% от общего объема жидкости. Все объекты исследования взбивали с помощью планетарного миксера *Gastromix* В 5 ЕСО на максимальной скорости до образования характерного рисунка на поверхности масс, затем оценивали следующие пенообразующие показатели: время взбивания (мин), плотность ($\text{г}/\text{см}^3$), кратность и устойчивость пены (%). Плотность пены определяли, как отношение массы раствора аквафабы к объему пены после его взбивания. Показатель кратности вычисляли путем деления объема пены на объем

раствора аквафабы. Устойчивость, выраженная в %, вычислялась следующим образом: зафиксировали значения объема пены сразу после взбивания, затем повторно через 3 часа. Результаты второго замера разделили на результаты первого замера, полученное значение перевели в проценты путем умножения на 100. Все показатели обработали в соответствии с ГОСТ Р 8.736 [19].

Наиболее эффективный образец использовали в качестве замены куриному яйцу в классических рецептурах фруктового мусса, крема белкового заварного и безе. Далее в соответствии с ГОСТ ISO 6658 проводилась органолептическая оценка качества опытных изделий с аквафабой с использованием дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа [20, 21]. В качестве контрольных объектов использовали оригинальные десерты с яичным белком. Дегустация проводилась комиссией из пяти сотрудников Высшей школы биотехнологий и пищевых производств СПбПУ, которые оценивали внешний вид, цвет, вкус, запах, консистенцию изделий. Далее было определено среднее арифметическое значение каждого единичного показателя качества. Комплексный показатель качества с использованием коэффициента весомости вычисляли по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n X_i * m_i = X_1 * m_1 + \dots + X_n * m_n \quad (1)$$

Где $X_1 \dots X_n$ – средние арифметические значения единичных показателей качества;

$m_1 \dots m_n$ – коэффициенты весомости единичных показателей. Для внешнего вида – 0,20; вкуса – 0,25; запаха – 0,20; консистенции – 0,20; цвета – 0,15; n – число единичных показателей.

Затем провели оценку плотности готовых продуктов, расчетным методом определили пищевую ценность [22].

Результаты. В процессе исследования установили, что рН растворов аквафабы соответствуют слабнокислой среде (от 4,8 до 5,5). Добавление лимонной кислоты позволило снизить значения рН до 3,6-4,0. При определении времени взбивания были получены следующие данные: у растворов аквафабы с естественной концентрацией водородных ионов устойчивые пики появлялись в промежутке от 1 мин 45 сек до 1 мин 55 сек, а у объектов с лимонной кислотой в интервале от 1 мин 20 сек до 1 мин 25 сек. Значения плотности, кратности и устойчивости пены указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика пенообразующих свойств объектов исследования

Объекты исследования	Характеристика пены		
	Кратность	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Устойчивость, %
Яичный белок (контроль)	9,40 ± 0,15	0,11 ± 0,01	89 ± 2
Яичный белок (контроль) с лимонной кислотой	10,70 ± 0,14	0,12 ± 0,01	94 ± 1
Аквафаба «Гала-Гала»	5,55 ± 0,17	0,13 ± 0,01	87 ± 2
Аквафаба «Гала – Гала» (с лимонной кислотой)	7,30 ± 0,16	0,11 ± 0,01	94 ± 2
Аквафаба «Фаба-Фаба»	6,83 ± 0,15	0,10 ± 0,01	83 ± 1
Аквафаба «Фаба – Фаба» (с лимонной кислотой)	6,60 ± 0,16	0,08 ± 0,01	80 ± 1
Отвар из нута	4,65 ± 0,14	0,16 ± 0,01	82 ± 1
Отвар из нута с лимонной кислотой	6,26 ± 0,17	0,14 ± 0,01	85 ± 1

Наилучшие пенообразующие свойства были выявлены у яичного белка с лимонной кислотой. Максимально приближенным к эталонным значениям оказался образец аквафабы «Гала-Гала» с данной кислотой. Поэтому для замены куриного яйца в рецептурах безе, крема и фруктового мусса использовали сублимированный отвар. В процессе взбивания добавляли 50% раствор кислоты в количестве 0,5% от объема аквафабы для повышения эффективности пенообразования. Внешний вид кондитерских изделий с аквафабой представлен на рисунке 1.

Результаты органолептической оценки (рис. 2) показали, что внесение в рецептуры аквафабы не ухудшило вкусовые качества готовых изделий. Более

того, у мусса и крема с растительным аналогом была более нежная консистенция, чем у контрольных образцов. Также преимуществом опытных образцов изделий является отсутствие тонкого привкуса сырого яйца, который был отмечен у классических изделий. Оба образца безе по качественной экспертизе не отличались. Изделия имели одинаковый внешний вид и консистенцию. Отмечены только небольшие отличия по вкусу и запаху, которые обусловлены разными составляющими рецептуры.

Внедрение в рецептуры аквафабы промышленного производства повлияло на значения пищевой ценности изделий и показателей плотности мусса и крема (табл. 2).



а) б) в)
Рисунок 1 – Внешний вид фруктового мусса (а), крема (б), безе с аквафабой

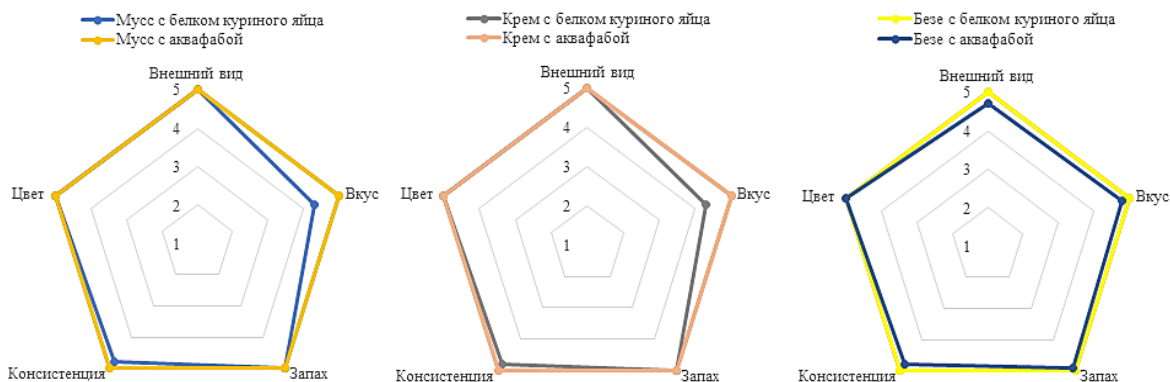


Рисунок 2 – Органолептическая оценка качества кондитерских изделий

Таблица 2 – Характеристика показателей качества кондитерских изделий

Наименование изделия	Комплексный органолептический показатель	Плотность, г/см ³	Пищевая и энергетическая ценность в 100 г
Фруктовый мусс (контроль)	4,83	0,50 ± 0,01	белки – 4 г; жиры – 12 г; углеводы – 38 г; калорийность – 280 ккал
Фруктовый мусс с аквафабой	5,00	0,45 ± 0,01	белки – 3,5 г; жиры – 11 г; углеводы – 40 г; калорийность – 270 ккал
Крем (контроль)	4,81	0,20 ± 0,01	белки – 4 г; углеводы – 60 г; калорийность – 260 ккал
Крем с аквафабой	5,00	0,14 ± 0,01	белки – 3 г; углеводы – 70 г; калорийность – 290 ккал
Безе (контроль)	5,00	0,06 ± 0,01	белки – 7 г; углеводы – 45 г; калорийность – 210 ккал
Безе с аквафабой	4,89	0,06 ± 0,01	белки – 5 г; углеводы – 52 г; калорийность – 230 ккал

Плотность фруктового мусса и крема с аквафабой ($0,45 \pm 0,01$ г/см³; $0,14 \pm 0,01$ г/см³) оказалась ниже, чем в контрольных образцах ($0,50 \pm 0,01$ г/см³; $0,20 \pm 0,01$ г/см³). Это соотносится с результатами органолептической оценки, которая показала что десерты с растительным аналогом яйца имеют менее плотную и достаточно нежную текстуру. Плотность обоих образцов безе одинакова и составила $0,06 \pm 0,01$ г/см³.

Расчет показателей пищевой ценности показал, что в классических десертах количество белков выше на 10-25%, а количество углеводов ниже на 5-15%, чем в опытных образцах с аквафабой. В среднем значения энергетической ценности в специализированных десертах выше на 4-12%.

Обсуждение. Изучив полученные данные, можно отметить, что использование аквафабы в кондитерском производстве позволяет не только расширить ассортимент, но и удовлетворить спрос на специализированные изделия для людей с пищевыми ограничениями. Оценка пенообразующих свойств показала эффективность сублимированных отваров промышленного производства. Более того, в ходе эксперимента по сдвигу *pH* бобовых систем в сторону кислой среды были отмечены значительные улучшения всех пенообразующих показателей. Продолжительность взбивания аквафабы с лимонной кислотой уменьшилась на 20-0%. Кратность и устойчивость пены выросли на 20-30% и 3-7%, соответственно. Наиболее эффективный образец (№1, СТО 47488077-004-2020) вместе с лимонной кислотой использовали в качестве замены куриному яйцу в классических рецептурах фруктового мусса, крема, безе. По результатам оценки качества данные изделия имели высокие показатели. Более того, внедрение аквафабы не повлияло на вкус изделий в худшую сторону, а только улучшило консистенцию фруктового мусса и крема.

Выводы. Таким образом, данное исследование подтверждает высокую эффективность аквафабы промышленного производства, как растительного аналога куриного яйца. Использование данного продукта позволит решить важные социальные задачи, связанные с удовлетворением спроса на десерты людей, страдающих от аллергии. Специализированные десерты по результатам органолептической оценки имеют более высокие показатели, чем традиционные изделия. Фруктовый мусс, крем и безе на аквафабе могут использоваться как самостоятельно, так и в составе многокомпонентных десертов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Leung A.S.Y., Wong G.W.K., Tang M.L.K. Food allergy in the developing world // *J. Allergy Clin. Immunol.* 2018. – Vol. 141. – N. 1. – P. 76-78.e1. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.008>
2. Sicherer S.H., Sampson H.A. Food allergy: a review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management // *J. Allergy Clin. Immunol.* 2018. – Vol. 141. – N 1. – P. 41–58. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.003>
3. Союз педиатров России. Клинические рекомендации «Пищевая аллергия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/deystvuyushchie-klinicheskie-rekomendatsii/> (дата обращения: 23.03.2023). – Текст: электронный

23.03.2023). – Текст: электронный

4. Tham E.H., Leung D.Y.M. How different parts of the world provide new insights into food allergy // *Allergy Asthma Immunol. – Res.* 2018. – Vol. 10. – N 4. – P. 290-299. DOI: <http://doi.org/10.4168/aa.2018.10.4.290>

5. Пампура А.Н., Есакова Н.В. Анафилаксия у детей. М.: ИД «МЕДИПРАКТИКА-М», 2020. – С. 84-139.

6. Смолкин Ю.С., Масальский С.С., Чебуркин А.А., Горланов И.А. Роль пищевой аллергии в развитии атопического дерматита. Позиционная статья Ассоциации детских аллергологов и иммунологов России. Педиатрия. Приложение к журналу *Consilium Medicum.* – 2020; (1): 26-32.

7. Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2019-2022 г. Прогноз на 2023-2026 г.: [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://businessstat.ru/images/demo/confectionery_russia_demo_businessstat.pdf (дата обращения: 30.12.2022). – Текст: электронный.

8. Макарова Н.В., Воронина М.С., Гуляева А.Н., Нистерюк Д.И., Шляпникова Э.Н. Анализ содержания сухих веществ, белка и титруемой кислотности в отварах бобовых // *Индустрия питания* Food Industry. 2021. – Т. 6. – № 3. – С. 51-57. DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-3-6

9. Fuentes Choya P, Combarros-Fuertes P, Abarquero Camino D, Renes Bañuelos E, Prieto Gutiérrez B, Tornadijo Rodríguez ME, Fresno Baro JM. Study of the Technological Properties of Pedrosillano Chickpea Aquafaba and Its Application in the Production of Egg-Free Baked Meringues. *Foods.* – 2023; 12(4):902. <https://doi.org/10.3390/foods12040902>

10. Портная Е.В., Буланникова Е.И., Канова А.И. Растительные аналоги яичных белков // *Будущее науки* – 2020: сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, в 5-х томах. Курск. – 2020. – С. 43-45.

11. Aquafaba from Korean Soybean I: A Functional Vegan Food Additive [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://en.x-mol.com/paper/article/1448461547534610432?recommendPaper=5803004/> (дата обращения: 30.05.2022). – Текст: электронный.

12. Yazici, G.N.; Ozer, M.S. A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties. *Trends Food Sci. Technol.* 2021. – 111. – P. 346-359. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.071>

13. Aslan, M.; Ertas, N. Possibility of using “chickpea aquafaba” as egg replacer in traditional cake formulation. *Harran Tarim Gıda Bilim. Derg.* – 2020. – 24. – P. 1-8. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.569397>

14. He, Y.; Meda, V.; Reaney, M.J.T.; Mustafa, R. Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2021. – 111. – P. 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.035>

15. Shim, Y.Y., Mustafa, R., Shen, J., Ratanapariyanuch, K., & Reaney, M. J. T. (2018). Composition and properties of aquafaba: Water recovered from commercially canned chickpeas. *Journal of Visualized Experiments*, 2018(132). – P. 1-14. <http://dx.doi.org/10.3791/56305> PMID:29553544

16. Губковская В.В., Плотникова И.В. Исследование пенообразующей способности растворов из различных бобовых культур для получения сбивных сахаристых изделий // *Материалы студенческой научной конференции за 2019 год в 2 частях.* Воронежский государственный университет инженерных технологий. – 2019. – С. 6-7.

17. Клименко А.А., Барсукова Н.В. Исследование пенообразующих свойств аквафабы // *Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий: сборник материалов I Международного конгресса.* Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Кемерово, 2022. – С. 165-168. DOI: 10.21603/-I-IC-52

18. Царева Н.И. Бобовые в технологии продуктов питания со взбивной структурой: монография / Н.И. Царева, Е.Н. Артемова. Орел: ФГБОУ «Госуниверситет - УНПК», 2014. – 133 с.

19. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2011. – 23 с.

20. ГОСТ ISO 6658-2016 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. Изд. офиц. М.:

Стандартинформ, 2016. – 20 с.

21. Чугунова О.В. Использование методов дегустационного анализа при моделировании рецептур пищевых продуктов с заданными потребительскими свойствами: монография / О.В. Чугунова, Н.В. Заворохина. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. экономического ун-та, 2010. – 148 с.

22. Скурихин, И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник/ под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. – 127 с.

Статья поступила в редакцию 01.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 637.1

EDN: WDJZDS

СЫВОРОТОЧНЫЙ ЭКСТРАКТ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *UNDARIA PINNATIFIDA* КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАПИТКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

©Автор(ы) 2023

SPIN: 9119-9229

AuthorID: 447231

ORCID: 0000-0002-7068-911X

ResearcherID: D-4719-2017

ScopusID: 56737195500

ТАБАКАЕВА Оксана Вацлавовна, доктор технических наук, доцент,
профессор базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии 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 базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии
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 базовой кафедры пищевой и клеточной
инженерии 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)

SPIN: 5007-6822

AuthorID: 289144

ORCID: 0000-0000-0002-921X

ВЛАДЫКИНА Татьяна Васильевна, кандидат медицинских наук, доцент,
доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии 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: vladikina.tv@dvfu.ru)

Аннотация. В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к разработке продуктов из натурального сырья с направленностью на повышение их пищевой и биологической ценности, обогащению различными биологически-активными веществами и соответственно потребностям различных групп населения. Большую роль в питании населения играют безалкогольные напитки из природного и растительного сырья, оказывающие положительное физиологическое воздействие на организм человека. Производство сывороточных напитков является всегда актуальным, так как молочная сыворотка является основным побочным продуктом переработки молока после производства творога, казеина и сыров. Комплексные исследования позволяют использовать биологически активные вещества качестве функциональных ингредиентов для обогащения напитков. Перспективными источниками уникальных биологически активных веществ морского генеза являются бурые водоросли. Ундария перистонадрезанная (*Undaria pinnatifida*), произрастающая у берегов Дальнего Востока, служит богатым и легко возобновляемым сырьевым источником интересных по структуре и биологической активности веществ. В данной статье дана характеристика сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* для дальнейшей разработки нового функционального сывороточного напитка. Сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* по органолептическим характеристикам имел светлый желто-зелёный оттенок, характерный незначительный запах водорослей и слегка солоноватый вкус. Полученный сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* характеризовался определенным содержанием

биологически активных соединений (альгиновая кислота, маннит, сульфатированный гетерополисахарид фукоидан, фенольные соединения, эссенциально важный микроэлемент йод). Показатели безопасности сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* соответствовали требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: молочная сыворотка, бурые водоросли, экстракт, *Undaria pinnatifida*.

WHEY EXTRACT OF BROWN ALGAE *UNDARIA PINNATIFIDA* AS A BASE FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL BEVERAGES

© Author(s) 2023

TABAKAEVA Oksana Vatslavovna, doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the base department of food and cell engineering, Institute of Biotechnology, Bioengineering, and Food Systems

VALEVICH Anastasia Leonidovna, postgraduate student base department of food and cell engineering of the Institute of Biotechnology, Bioengineering, and Food systems

TABAKAEV Anton Vadimovich, associate professor of the base department of food and cell engineering Institute of Biotechnology, Bioengineering, and Food systems

VLADYKINA Tatyana Vasilievna, associate professor of the base department of food and cell engineering Institute of Biotechnology, Bioengineering, and Food systems

Eastern Federal University

(690000, Russia, Primorskii Krai, Vladivostok, p. Ajax, 10,

e-mails: yankovskaya68@mail.ru, valevich_al@dvfu.ru, tabakaev92@mail.ru, vladikina.tv@dvfu.ru)

Abstract. Currently, worldwide there is an increased interest in the development of products from natural raw materials with a focus on increasing their nutritional and biological value, enrichment with various biologically active substances and meeting the needs of various population groups. An important role in the nutrition of the population is played by soft drinks made from natural and vegetable raw materials, which have a positive physiological effect on the human body. The production of whey drinks is always relevant, as whey is the main by-product of milk processing after the production of cottage cheese, casein and cheeses. Comprehensive studies allow the use of biologically active substances as functional ingredients for the enrichment of drinks. Brown algae are promising sources of unique biologically active substances of marine origin. Pinnate *Undaria* (*Undaria pinnatifida*), growing off the coast of the Far East, serves as a rich and easily renewable raw material source of substances of interest in structure and biological activity. This article describes the characteristics of the whey extract of the brown algae *Undaria pinnatifida* for the further development of a new functional whey drink. The whey extract of the brown algae *Undaria pinnatifida*, according to organoleptic characteristics, had a light yellow-green hue, a characteristic slight smell of algae and a slightly salty taste. The resulting whey extract of the brown alga *Undaria pinnatifida* was characterized by a certain content of biologically active compounds (alginic acid, mannitol, sulfated heteropolysaccharide fucoidan, phenolic compounds, the essential trace element iodine). The safety indicators of the whey extract of the brown algae *Undaria pinnatifida* met the requirements of regulatory documentation.

Keywords: milk serum, brown algae, extract, *Undaria pinnatifida*.

Для цитирования: Табакаева О.В. Сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria Pinnatifida* как основа для производства напитков функционального назначения / О.В. Табакаева, А.Л. Валевиц, А.В. Табакаев, Т.В. Владыкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 85-90. – EDN: WDJZDS.

Введение. Дальневосточные моря России характеризуются широким спектром флоры (водорослей и морских трав), в частности достаточно значительными запасами крупных бурых водорослей – съедобных и потенциально съедобных *Saccharina japonica*, *Fucus vesiculosus*, *Sargassum pallidum*, *Sargassum miyabei*, *Undaria pinnatifida*, *Costaria costata*. Максимальные запасы бурых водорослей, являющихся промысловыми и потенциально промысловыми определены в Дальневосточном регионе у побережья острова Сахалин, Камчатского полуострова, Приморского края [1]. Биомасса бурых водорослей характеризуется сложным биохимическим составом, включающим полисахариды, маннит и альгинаты, минеральные вещества и др. [2].

Полисахариды являются одним из преобладающих классов соединений в составе бурых водорослей,

что обуславливает применение отдельных представителей как сырья для получения полисахаридов, присутствующих только данному классу водорослей. Это в частности касается сульфатированного гетерополисахарида – фукоидана, который проявляет различные виды биологической активности – антикоагулянтные, противовирусные, противоопухолевые свойства [3]. Полисахариды бурых водорослей оказывают положительные терапевтические эффекты не только на кровеносную и пищеварительную системы организма человека, но и на метаболические процессы обмена веществ, в первую очередь удаляя холестерин и тяжелые металлы, а также ингибируют процессы воздействия радиоактивных элементов [4].

Среди множества представителей бурых водорослей привлекает внимание *Ундария перистонадрезанная* (*Undaria pinnatifida*), в связи с высоким содержа-

нием полисахаридов, достигающих 74% сухой массы. Данная водоросль является богатым и легко возобновляемым сырьевым источником полисахаридов, что активно используется в марикультуре, в частности она выращивается в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, в основном в Японии, где является одним из важнейших пищевых продуктов.

Undaria pinnatifida традиционно имеет пищевое использование в качестве ингредиента таких пищевых систем как салаты, но также перспективным является извлечение уникальных биологически активных веществ из биомассы путем экстракции и применение полученных экстрактов в различных пищевых системах, в частности в сывороточных напитках.

На предприятиях молочной промышленности производстве сычужных сыров и творога в значительных объемах образуется побочный продукт – молочная сыворотка, относящийся к вторичному молочному сырью [5]. Переработка побочных продуктов производства, в том числе и молочного, является актуальной, так как позволяет решать сразу несколько проблем – ресурсоэффективности, рационального и комплексного использования сырья, экологичности [6]. На современном этапе сформировано устойчивое убеждение, что молочная сыворотка является ценным пищевым сырьем, которое должно использоваться только на пищевые цели [7]. Это обуславливается в первую очередь богатым химическим составом молочной сыворотки – содержится около 250 различных соединений, составляющих до 50% сухих веществ молока. В основном это азотсодержащие вещества, молочный жир, минеральные соли, лактоза, витамины, ферменты, органические кислоты [8]. Помимо доказанной пищевой ценности молочной сыворотки, пищевые системы на ее основе имеют диетическое и лечебное значение [9].

В Российской Федерации ежегодный объем производства молочной сыворотки составляет свыше 3,5 млн т. Переработка такого значительного объема является сложной и актуальной задачей, позволяющей решить проблему дефицита белкового сырья [10].

В то же время, сыворотка может являться перспективным экстрагентом для извлечения различных БАВ, в том числе и из водорослей [11].

Целью исследования является характеристика сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida*.

Методология. Объектом исследования являлся сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida*. Для получения экстракта использовались сухие талломы бурой водоросли *Undaria pinnatifida* и молочная сыворотка, соответствующая ГОСТ 34352-2017. Получение сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* с использованием соотношения сырье : молочная сыворотка (1:3) включало следующие основные операции:

- измельчение талломов бурой водоросли ножевой мельницей до размеров 1-3 мм;
- экстрагирование измельченного сырья в термо-

стате в течение 8 ч при температуре 60°C, с перемешиванием каждые 2 часа;

- охлаждение до температуры 20°C;
- центрифугирование и фильтрация.

Титруемая кислотность определялась титриметрическим методом в соответствии ГОСТ 3624-92. Измерение *pH* осуществлялось потенциометрическим методом согласно ГОСТ 32892-2014.

Определение массовой доли сухого вещества в экстракте проводилось рефрактометрическим методом. Плотность была измерена с помощью ротационного вискозиметра *Fungilab EXPERT*, следуя точной инструкции.

Содержание йода согласно ГОСТ 26185-84. Содержание альгиновой кислоты титриметрически [12]. Содержание маннита по ГОСТ EN 15086-2015 методом ВЭЖХ. Количество фукозы определяли спектрофотометрически используя цветную реакцию с *L*-цистеином и серной кислотой [13].

Содержание суммы фенольных соединений определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу с использованием сканирующего спектрофотометра *UV-1800* (Shimadzu, Япония), перерасчет на дубильную кислоту [14].

Оценку безопасности изучаемого сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* проводилась в соответствии с ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013 [15, 16].

Результаты. Полученный сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* в дальнейшем планируется использовать в качестве основы для сывороточного напитка. Исходя из этого необходимо дать оценку качества по органолептическим, физико-химическим показателям, а также оценить безопасность, согласно требованиям нормативной документации. Органолептическая характеристика сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* – цвет светло-желтый с зеленоватым оттенком, с характерным незначительным запахом водорослей и слегка солоноватым вкусом.

В таблице 1 представлены основные физико-химические показатели полученного сывороточного экстракта из бурой водоросли *Undaria pinnatifida* на основе молочной сыворотки.

В процессе экстрагирования традиционно происходит переход части биологически активных веществ из растительной матрицы в экстракт. В сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* происходит накопление следующих биологически активных соединений, характерных для бурых водорослей – альгиновой кислоты, манниты, сульфатированного гетерополисахарида фукоидана, фенольных соединений, эссенциально важного микроэлемента йода.

Содержание БАВ в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* представлено на рисунке 1.

Кроме оценки качества и содержания БАВ, немаловажным критерием является безопасность полученного сывороточного экстракта бурой водоросли

Undaria pinnatifida. Полученные результаты содержания потенциально опасных веществ в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* соответствуют нормам ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и представлены в таблице 2.

В сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* выявлены токсичные элементы и

активные радионуклиды, но в количествах, допустимых ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»,

Так же были рассмотрены микробиологические показатели безопасности изучаемого сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida*, которые представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Физико-химические показатели сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida*

Показатель	Молочная сыворотка (творожная) ГОСТ 34352-2017	Сывороточный экстракт <i>Undaria pinnatifida</i>
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	5,5	10,6±1,04
Массовая доля лактозы, %, не менее	3,5	3,4±0,1
Массовая доля белка, %, не менее	0,5	1,0±0,05
Кислотность, °Т, не более	70	68±2
рН	до 4,6	4,54±0,22
Плотность, г/м ³	0,1021	0,1040±0,0060

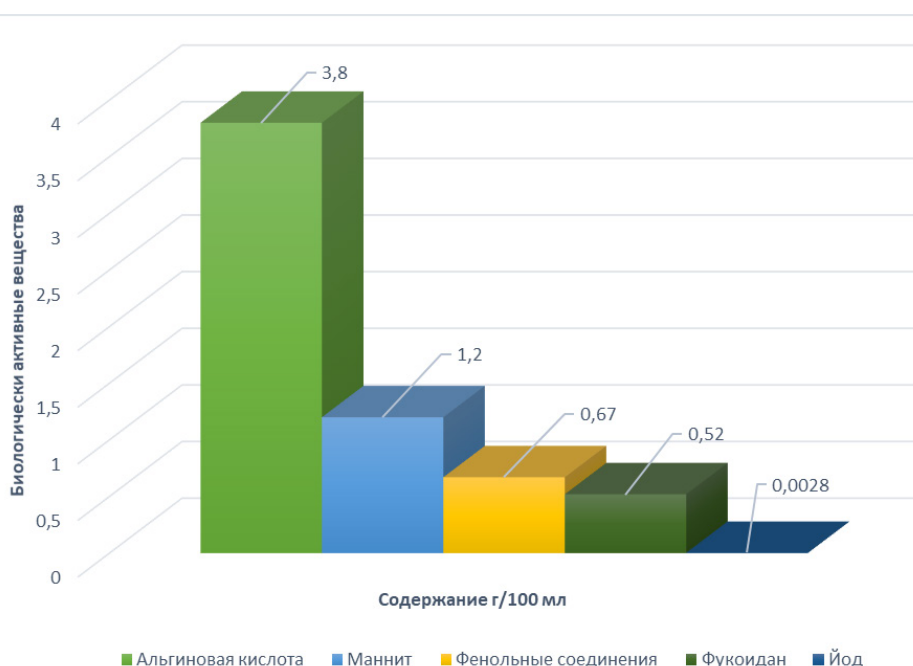


Рисунок 1 – Содержание БАВ в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida*

Таблица 2 – Содержание потенциально опасных веществ в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida*

Показатель	Величина допустимого уровня по ТР ТС 021/2011, не более	Сывороточный экстракт бурой водоросли <i>Undaria pinnatifida</i>
Токсичные элементы, мкг/кг (л)		
Свинец	0,1	0,02
Мышьяк	0,05	0,007
Кадмий	0,03	0,012
Ртуть	0,005	Менее 0,0001
Активные радионуклиды, Бк/кг (л)		
Цезий – 137	100	1,12
Стронций – 90	25	0
Пестициды, мг/кг (л)		
ГХЦГ (гексахлорциклогексан), α, β, γ-изомеры	0,05	не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	0,05	не обнаружено
Антибиотики, мг/кг (л), не более		
Левомецитин (хлорамфеникол)	Не допускается	не обнаружено
Тетрациклиновая группа	Не допускается	не обнаружено
Стрептомицин	Не допускается	не обнаружено
Пенициллин	Не допускается	не обнаружено
Афлотоксины, мг/кг (л), не более		
Афлотоксин М1	0,0005	не обнаружено

Таблица 3 – Микробиологические показатели сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida*

Наименование показателя	Нормы	Сывороточный экстракт бурой водоросли <i>Undaria pinnatifida</i>
КМАФАнМ, КОЕ в 1 см ³ продукта, не более	1·10 ⁵	1·10 ⁵
БГКП (колиформы)	не допускается в 0,01 см ³ продукта	не обнаружено
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	не допускается в 25 см ³ продукта	не обнаружено
Дрожжи (Д), плесени (П), КОЕ, см ³ (г), не более	-	-

Микробиологические показатели безопасности сывороточного экстракта бурой водоросли отвечают требованиям нормативной документации согласно ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции».

Обсуждение. Данные таблицы 1 демонстрируют, что показатель массовая доля сухих веществ в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* практически в 2 раза превышает нормативный показатель для молочной (творожной) сыворотки за счет перехода части сухих веществ из водоросли в экстракт. Также необходимо отметить увеличение массовой доли белка (на 100%). Массовая доля лактозы в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* практически сопоставима с сывороткой, то же самое касается и кислотности. Экспериментально определено увеличение плотности сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* в сравнении с сывороткой.

Согласно представленным на рисунке 1 данным, содержание йода в сывороточном экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida* составляет не менее 0,0028 г/100 мл. Эссенциальный микроэлемент йод характеризуется широкой биологической активностью путем влияния на метаболизм белков, липидов, углеводов, контроля баланса процессов синтеза и катаболизма в организме человека, участия в нормальном функционировании щитовидной железы, обеспечении синтеза гормонов (тироксина и трийодтиронина) [17].

Сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* характеризуется достаточно высоким содержанием (не менее 0,52 г/100 мл) одного из уникальных веществ бурых водорослей – фукоидана, с широким спектром биологических активностей. Многочисленными исследованиями установлено, что фукоидан проявляет противоопухолевые [18], иммуномодулирующие [19], антибактериальные [20], противовоспалительные [21, 22] и другие свойства.

Альгиновая кислота является преобладающим биологически активным веществом в экстракте бурой водоросли *Undaria pinnatifida*. Альгиновая кислота и ее соли находят широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности в качестве загустителя, в медицине в качестве антацида и др. [23].

Кроме того, сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* характеризуется достаточно высоким содержанием еще одного класса БАВ – фенольных соединений. Растительные фенольные соединения характеризуются высокой биологической активностью, в первую очередь антиоксидантными свойствами [24]. Содержание фенольных соединений

в сывороточном экстракте *Undaria pinnatifida* составляет 670 мг дубильной кислоты/100 мл экстракта.

Выводы. Таким образом, сывороточный экстракт бурой водоросли *Undaria pinnatifida* является источником важных биологически активных соединений, таких как эссенциальный микроэлемент йод, фукоидан, альгиновая кислота, маннит и фенольные соединения, и может являться перспективной основой для создания обогащенных сывороточных напитков. Показатели качества и безопасности сывороточного экстракта бурой водоросли *Undaria pinnatifida* соответствуют требованиям нормативной документации.

Работа выполнена при финансировании Российского научного фонда (грант РНФ № 22-76-0000-8)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Суховеева М.В., Подкорытова А.В., Промысловые водоросли и травы Дальневосточных морей: биология, распространение, запасы, технологии переработки. – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2006. – 243 с.
2. Аминина, Н.М. Основные направления переработки бурых водорослей Дальневосточного региона / Н.М. Аминина // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами: экосистемный подход: тезисы докладов междунар. конф. – Владивосток: ТИПРО-центр, 2003. – С. 215-217.
3. Гурулева О.Н. Особенности аминокислотного и жирнокислотного составов *Saccharina japonica* Охотского и Японского морей / О.Н. Гурулева, Е.Л. Конева, Т.И. Вишневецкая, И.А. Кадникова, К.Г. Павел, Н.М. Аминина // Вопросы современной альгологии. 2014. № 2 (6).
4. Коровкина Н.В. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью их дальнейшей переработки / Н.В. Кутакова // Химия Растительного сырья. – 2008. – №4. – С. 167–169.
5. Храмов А.Г. Научно-технические основы биотехнологии молочных продуктов нового поколения: учебное пособие / А.Г. Храмов, Б.М. Синельников, И. А. Евдокимов [и др.]. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2002. – 56 с.
6. 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.
7. Шевелев К. Сыворотка – ценный субпродукт // Молочная промышленность. – 2005. – №1.
8. 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.
9. Евдокимов Е.А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность. – 2006. – №2
10. Свириденко Ю.Я., Кравченко Э.Ф., Яковлева О.А. Экологические и экономические аспекты переработки молочной сыворотки // Переработка молока. – 2006. – №7.
11. Храмов А.Г. Молочная сыворотка [Текст] / А.Г. Храмов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
12. Сиренко Л.А., Сакевич А.И., Осипов Л.Ф. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: HCalado J., Albert?o

P.A., de Oliveira аукова думка, 1975. – 253 с.

13. Смирнова А.И., Ключкова Н.И. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки // Биоорганическая химия 2001. – Т. 27. – № 6. – С. 444-448.

14. ОФС 1.5.3.0008.15. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. URL: http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_2/HTML/#417/z

15. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011). – Введен 2011.12.09. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2012. – 242 с.

16. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013). – Введен 2013.10.09. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 108 с.

17. Лукьянчук В.Д., Кравец Д.С., Коробков А.А. Биологическая роль йода и фармакокоррекция его недостаточности (Методические рекомендации) // Современная педиатрия. – 2006. – № 2(11). – С. 88-94.

18. Алексеенко Т.В., Жанаева С.Я., Венедиктова А.А. Противоопухолевая и антиметастатическая активность сульфатированного полисахарида фукоидана, выделенного из бурой водоросли Охотского моря *Fucus evanescens* // Бюл. Эксперим. Биологии и медицины. – 2007. – Т. 143. – №. 6. – С. 675-677.

19. Запорожец Т.С., Беседнова Н. Н. Иммуноактивные биополимеры из морских гидробрионтов // Известия ТИПРО-центра 2007. – С. 219-227.

20. Макаренкова И.Д., Запорожец Т.С., Беседнова Н.Н. Изучение возможности снижения адгезивной активности дифтерийных бактерий биополимерами природного происхождения // Антибиотики и химиотерапия. – 1999. – №. 3. – С. 11-15.

21. Бовин Н.В., Усов А.И., Ушакова Н.А. Сульфатированные полисахариды как ингибиторы рецепторной активности Рселектина и Р-селектинзависимого воспаления // Вопр. Мед. химии. – 1998. – №. 2. – С.135-141.

22. Усов А.И., Ушакова Н.А., Нифантьев Н.Э. Сульфатированные полисахариды из морских водорослей: структура и биологическая активность // Биомед. Химия. – 2008. – №.5. – С. 597-606.

23. Дильбарханов Р.Д., Ярошенко Е.Б., Унербаев Б.В. Альгинаты и их возможности применения в фармацевтической практике // Мед. журн. Казахстана. – 1978. – № 1. – С. 40-43.

24. Барабой В.А. Биологическое действие растительных фенольных соединений, Киев: Наук.думка. 1979. 264 с.

Статья поступила в редакцию 15.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 633.88:665.5

EDN: SNXVBH

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ
НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7857-0301

AuthorID: 299690

ORCID: 0000-0002-5870-2350

ResearcherID: ABF-9586-2020

ScopusID: 6507308304

ГОЛУБ Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: golubov@sfscs.ru)*

SPIN: 1724-7360

AuthorID: 862479

ORCID: 0000-0003-4981-717X

ResearcherID: L-6991-2016

ScopusID: 51194267464

ПАЙМУЛИНА Анастасия Валерияновна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: paymulinaav@sfscs.ru)*

SPIN: 1217-7717

AuthorID: 388694

ORCID: 0000-0003-2298-3549

ResearcherID: B-4298-2017

ScopusID: 57190976959

МОТОВИЛОВ Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: motovilovok@sfscs.ru)*

SPIN: 5772-0950

AuthorID: 732575

ORCID: 0000-0002-5870-2350

ScopusID: 57441112000

МАЗАЛЕВСКИЙ Виктор Борисович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: mazalevskiyvb@sfscs.ru)*

SPIN: 5986-0739

AuthorID: 717905

ORCID: 0000-0002-7302-106X

ResearcherID: C-1147-2018

ScopusID: 57214137007

НИЦИЕВСКАЯ Ксения Николаевна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: nitsievskayakn@sfscs.ru)*

SPIN: 9260-3132

AuthorID: 618751

ORCID: 0000-0003-4350-085X

ScopusID: 57216352786

БОРОДАЙ Елена Валерьевна, старший научный сотрудник*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук**(630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, e-mail: borodayev@sfscs.ru)*

Аннотация. Экстракты из растительного сырья широко используются при изготовлении пищевой продукции с целью формирования оригинальных органолептических характеристик и обогащения биологически активными соединениями. Следовательно, исследования по интенсификации процесса экстрагирования растительного сырья в настоящее время являются актуальными. Цель работы – исследовать влияние природы растворителя и параметров ультразвуковой обработки на качественные характеристики экстрактов из листьев мяты перечной. Объекты исследований – качественные характеристики экстрактов из листьев мяты перечной. Методы исследований – стандартные. В результате проведенных исследований установлено, что на формирование органолептических характеристик экстрактов оказывали влияние природа растворителя, а также ультраз-

вуковое воздействие. Органолептические показатели экстрактов на основе сыворотки молочной - непрозрачная жидкость; темно-коричневого цвета с опалесцирующим оттенком; хорошо выраженными, мятно-сладко-молочными запахом и вкусом. Ультразвуковое воздействие оказывало положительное влияние на внешний вид, запах и вкус экстрактов. В результате проведенных исследований установлено, что использование ультразвукового воздействия при экстрагировании листьев мяты, позволило увеличить при использовании в качестве растворителя воды питьевой и сыворотки молочной соответственно: массовую долю растворимых сухих веществ на 8,0 и 13,2%; коэффициент набухания листьев на 51,5 и 50,5%; вязкость на 9,0 и 15,0%. Ультразвуковая экстракция позволила увеличить содержание биологически активных веществ в экстрактах вне зависимости от природы растворителя – флавоноидов в 1,4 раза, водорастворимых антиоксидантов в 1,1 раз, витамина С в 2,9 раз, катионов натрия в 1,9 раз, магния и кальция в 1,8 раз, калия в 1,5 раз. На основании проведенных исследований установлены рациональные параметры ультразвуковой экстракции листьев мяты - мощность 220 Вт/100см³, температура 43°C при использовании воды питьевой в течение 5 мин, сыворотки молочной в течение 10 мин.

Ключевые слова: метод экстракции, природа растворителя, *Mentha piperita*, сыворотка молочная, ультразвуковое воздействие, органолептические показатели, физико-химические показатели, биологически активные вещества, качественные характеристики.

INFLUENCE OF THE NATURE OF THE SOLVENT AND ULTRASONIC EXTRACTION ON THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF EXTRACTS FROM PEPPERMINT LEAVES

© The Author(s) 2023

GOLUB Olga Valentinovna, doctor of technical sciences, professor, chief researcher

PAYMULINA Anastasia Valeriyonovna, candidate of technical sciences, leading researcher

MOTOVILOV Oleg Konstantinovich, doctor of technical sciences, associate professor, chief researcher

MAZALEVSKIY Viktor Borisovich, candidate of technical sciences, leading researcher

NITSIEVSKAYA Ksenia Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor, leading researcher

Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

(630501, Russia, Novosibirsk region, Novosibirsk region working village Krasnoobsk, e-mails: golubov@sfsc.ru,

paymulinaav@sfsc.ru, motovilovok@sfsc.ru, mazalevskiyvb@sfsc.ru, nitsievskayakn@sfsc.ru)

BORODAI Elena Valerievna, senior researcher of

Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

(630501, Russia, Novosibirsk region, Novosibirsk region working village Krasnoobsk, e-mail: borodayev@sfsc.ru)

Abstract. Extracts from vegetable raw materials are widely used in the manufacture of food products in order to form original organoleptic characteristics and enrichment with biologically active compounds. Therefore, research on the intensification of the process of extracting plant materials is currently relevant. The purpose of this work is to investigate the influence of the nature of the solvent and the parameters of ultrasonic treatment on the qualitative characteristics of extracts from peppermint leaves. The objects of research are the qualitative characteristics of extracts from peppermint leaves. Research methods are standard. As a result of the studies, it was found that the nature of the solvent, as well as ultrasonic exposure, influenced the formation of the organoleptic characteristics of the extracts. Organoleptic characteristics of extracts based on milk whey – opaque liquid; dark brown with an opalescent tint; well-defined, minty-sweet-milky smell and taste. Ultrasonic exposure had a positive effect on the appearance, smell and taste of the extracts. As a result of the research, it was found that the use of ultrasonic exposure when extracting mint leaves made it possible to increase, when using drinking water and milk whey as a solvent, respectively: the mass fraction of soluble solids by 8,0 and 13,2%; leaf swelling coefficient by 51,5 and 50,5%; viscosity by 9,0 and 15,0%. Ultrasonic extraction made it possible to increase the content of biologically active substances in extracts, regardless of the nature of the solvent - flavonoids by 1,4 times, water-soluble antioxidants by 1,1 times, vitamin C by 2,9 times, sodium cations by 1,9 times, magnesium and calcium 1,8 times, potassium 1,5 times. Based on the research, rational parameters of ultrasonic extraction of mint leaves were established – power 220 W/100 cm³, temperature 43 °C using drinking water for 5 minutes, whey for 10 minutes.

Keywords: extraction method, solvent nature, *Mentha piperita*, milk whey, ultrasonic treatment, organoleptic parameters, physicochemical parameters, biologically active substances, qualitative characteristics.

Для цитирования: Голуб О.В. Влияние природы растворителя и ультразвуковой экстракции на качественные характеристики экстрактов из листьев мяты перечной / О.В. Голуб, А.В. Паймулина, О.К. Мотовилов, В.Б. Мазалевский, К.Н. Ницеевская, Е.В. Бородай // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 91-97. – EDN: SNXVBH.

Введение. Экстракция, как технологическая операция по извлечению растворителями экстрактивных, в том числе биологически активных, веществ из различных видов сырья, широко используется при изготовлении пищевой продукции. Существует множество методов экстракции, выбор которых зависит от множества факторов (анатомического (или гистологического) строения сырья; степени и характера

измельчения сырья; температурного режима; длительности экстракции; природы и вязкости растворителя; поверхностно-активных веществ и пр.). Специалисты считают, что традиционные методы экстракции (мацерация, ремацерация, перколяция и пр.) устарели и имеют множество недостатков (например, потеря биологически активных веществ, низкий выход продукции, высокое потребление энергии и пр.), и необходимо рассматривать другие, инновационные (например, с помощью ферментов, под давлением, в сверхкритической жидкости и пр.) [1-3]. Использование ультразвука частотой 18-100 кГц и мощностью 1-1000 Вт/см² при изготовлении экстрактов представляет собой одну из передовых технологий, поскольку относится к нетермическим методам, позволяющим интенсифицировать получение пищевой продукции с высокими качественными характеристиками, в том числе содержанием значительного количества физиологических компонентов нативного сырья [4, 5].

Молочная промышленность ежегодно производит миллионы тонн побочных продуктов, в том числе сыворотку, представляющую собой источник ценных пищевых веществ. Однако, из-за различных экономических, технологических, социальных и других причин, существует проблема ее утилизации. Специалисты пищевой промышленности на протяжении многих лет разрабатывали различные направления переработки сыворотки молочной [6-8]. В частности, сыворотку молочную рассматривали как растворитель при изготовлении экстрактов из растительного сырья [9-11].

Необходимо отметить, что при изготовлении пищевой продукции, обладающей органолептическими характеристиками и содержащей биологически активные вещества, широко используется мята перечная (*Mentha piperita L.*), в том числе в виде экстрактов. [12-13]. Специалистами пищевой промышленности проводятся исследования по интенсификации процес-

са экстракции мяты перечной с целью максимальной сохранности нативных компонентов и создания новых ароматизируемых соединений [14-16].

Однако в настоящее время количество исследований, посвященных совместному использованию ультразвуковой обработки и сыворотки молочной в качестве растворителя с целью получения экстрактов из растительного сырья, содержащих физиологически и технологически ценные компоненты, в том числе из листьев мяты перечной, ограничено.

Цель работы – исследовать влияние природы растворителя и параметров ультразвуковой обработки на качественные характеристики экстрактов из листьев мяты перечной.

Методология. Объекты исследований – качественные характеристики экстрактов из листьев мяты перечной.

Материалы исследований: экстракты из листьев мяты перечной (*M. piperita L.*) на воде питьевой и сыворотке молочной (подсырной несоленой), полученные методом классической экстракции и с использованием ультразвука.

Технологии получения экстрактов из листьев мяты перечной (*M. piperita L.*):

– классическая (согласно ОФС.1.4.1.0018.15 «Настои и отвары»): измельчение сырья (до размера частиц 1-2 мм), заливка растворителем (сырье:растворитель – 1:20; температура растворителя 21±1°C), мацерация (при температуре 95-98°C в течение 15 мин), охлаждение (до 21±1°C в течение 45 мин);

– с использованием ультразвука (табл. 1): измельчение сырья (до размера частиц 1-2 мм), заливка растворителем (сырье:растворитель – 1:20; температура растворителя 21±1°C), экстрагирование на УЗ-аппарате «Алена» (Россия) с частотой механических колебаний 22±1,65 кГц и интенсивностью излучения не менее 10 Вт/см² кГц, охлаждение (до 21±1°C).

Таблица 1 – Варианты экстрактов листьев мяты перечной, полученные методом экстракции с использованием ультразвука (для всех видов растворителей)

Вариант экстракта	Уровень мощности, Вт/100 см ³	Температура, °С	Продолжительность, мин
1	66	≈ 40	5
2			7
3			10
4	143	≈ 41	5
5			7
6			10
7	220	≈ 43	5
8			7
9			

Испытания проводили в трехкратной повторности. Статистический анализ проводили с использованием программы *Excel* и *Statistica12*. С использованием методики центрального композиционного планирования, основанной на двухфакторном анализе, было проведено моделирование процесса экстрагирования листьев мяты перечной с помощью ультразвука с использованием разных растворителей. В качестве переменных факторов выбраны мощность

ультразвукового воздействия и его продолжительность. Контролируемым параметром являлась массовая доля растворимых сухих веществ, определяемая согласно ГОСТ 6687.2-90 «Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения сухих веществ». Также в экстрактах определяли – активную кислотность согласно ГОСТ 26188-2016 «Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH», коэф-

фициент набухаемости листьев мяты перечной [17], вязкость (методом камертонной вибрации согласно паспорту на вибровискозиметр серии SV-1A, Япония). Органолептические показатели экстрактов оценивали балловым методом согласно ГОСТ 8756.1-2017 «Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема». Массовую долю витамина С и катионов (калия, натрия, магния, кальция) определяли согласно ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С» и ГОСТ Р 56374-2015 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция методом капиллярного электрофореза», массовую долю суммы флавоноидов (по рутину) и водорастворимых антиоксидантов (в пересчете на аскорбиновую кислоту) – спектрофотометрическими методами [18, 19].

При выполнении исследований использовали следующее оборудование: баня водяная LOIP LB-163 (Россия), весы аналитические Ohaus PA214 (Китай), весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай), вибровискозиметр серии SV-1A (Япония), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), лабораторная зерновая мельница ЛЗМ-1 (Россия), магнитная мешалка Biosan MSH-300 (Латвия), система капиллярного электрофореза «Капель 105М» (Россия), спектрофотометр СФ-102 (Россия), печь муфельная SNOL (Литва), рефрактометр ИРФ-454 Б2М (Россия), центрифуга Termo SL 40R (Германия), шкаф сушильный ШС-80 (Россия).

Результаты. Первоначально осуществляли исследование влияния природы растворителя и параметров ультразвуковой обработки на органолептические характеристики экстрактов из листьев мяты перечной. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Органолептическая оценка экстрактов из листьев мяты перечной, балл (n=5)

Метод экстракции /растворитель /вариант экстракта	Показатель			
	внешний вид	цвет	запах	вкус
Классический /вода питьевая /-	4,6±0,5	4,8±0,4	4,8±0,4	5,0±0,0
Классический /сыворотка подсырная несоленая /-	4,4±0,5	4,6±0,5	4,4±0,5	4,6±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /1	3,0±0,0	3,0±0,0	2,8±0,4	2,4±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /2	4,2±0,4	4,6±0,5	4,0±0,0	3,6±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /3	4,6±0,5	4,6±0,5	4,2±0,4	4,2±0,4
С использованием ультразвука /вода питьевая /4	3,4±0,5	3,6±0,5	3,2±0,4	3,0±0,0
С использованием ультразвука /вода питьевая /5	4,2±0,4	4,6±0,5	4,0±0,0	3,6±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /6	4,6±0,5	4,8±0,4	4,6±0,5	4,6±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /7	4,6±0,5	4,8±0,4	4,6±0,5	4,4±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /8	4,6±0,5	4,8±0,4	4,6±0,5	4,6±0,5
С использованием ультразвука /вода питьевая /9	4,6±0,5	4,8±0,4	4,6±0,5	4,6±0,5
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /1	3,4±0,5	3,2±0,4	2,4±0,5	2,6±0,5
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /2	4,0±0,0	4,0±0,0	3,4±0,5	3,0±0,0
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /3	4,2±0,4	4,6±0,5	4,2±0,4	4,0±0,0
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /4	4,0±0,0	4,0±0,0	3,4±0,5	3,0±0,0
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /5	4,2±0,4	4,2±0,4	4,0±0,0	3,6±0,5
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /6	4,2±0,4	4,6±0,5	4,2±0,4	4,0±0,0
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /7	4,0±0,0	4,0±0,0	3,6±0,5	3,2±0,4
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /8	4,2±0,4	4,6±0,5	4,2±0,4	4,0±0,0
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /9	4,4±0,5	4,6±0,5	4,4±0,5	4,2±0,4

Установлено, что экстракты из листьев мяты перечной, полученных классическим методом экстракции с использованием в качестве растворителя воды питьевой содержали 2,4% растворимых сухих веществ, сыворотки подсырной несоленой – 7,6%. На рисунке 1 представлены поверхности отклика зависимости массовой доли растворимых сухих веществ от режимов ультразвукового воздействия экстрактов из листьев мяты перечной, полученных с использованием разных растворителей.

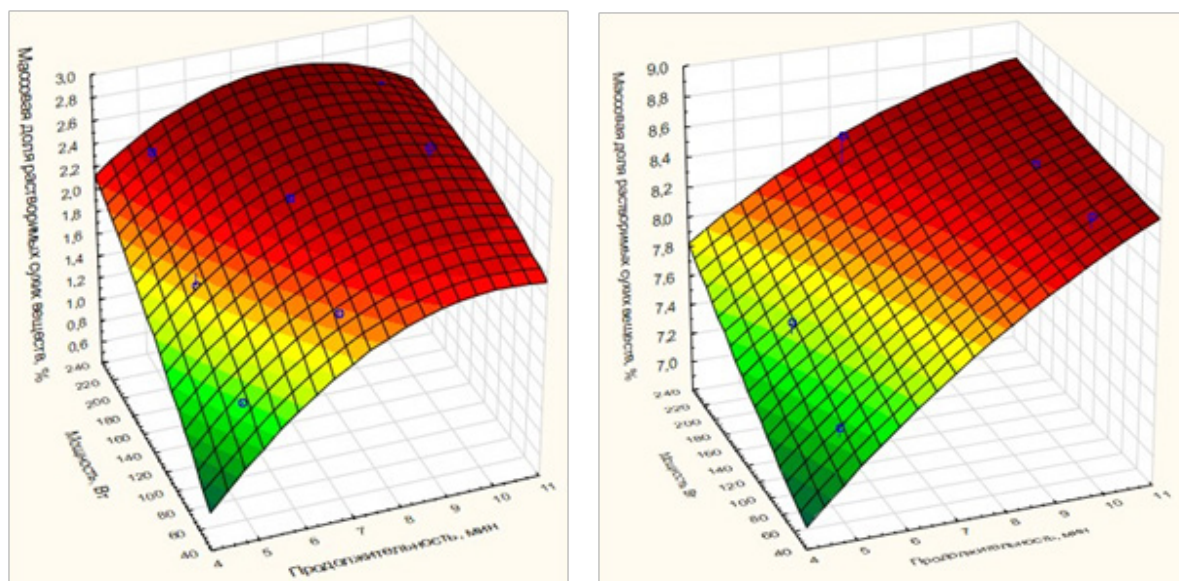
Влияние ультразвука и природы растворителя на массовую долю растворимых сухих веществ экстрактов из листьев мяты перечной описывается следующими уравнениями:

$$z_1 = -2,215 + 0,794x + 0,013y - 0,038x^2 - 0,001xy - 1,124 \cdot 10^{-5} y^2 \quad (1)$$

$$z_2 = 5,265 + 0,432x + 0,006y - 0,012x^2 - 0,001xy + 2,811 \cdot 10^{-6} y^2 \quad (2)$$

где z_1 – массовая доля растворимых сухих веществ при использовании в качестве растворителя воды питьевой, %; z_2 – массовая доля растворимых сухих веществ при использовании в качестве растворителя сыворотки подсырной несоленой, %; x – продолжительность ультразвукового воздействия, мин; y – мощность ультразвукового воздействия, Вт/100 см³

В таблице 3 представлены результаты исследований физико-химических показателей экстрактов из листьев мяты перечной в зависимости от исследуемых факторов (природы растворителя и технологии получения), таблице 4 – биологически активных веществ.



а) вода питьевая (контроль)

б) сыворотка подсырная несоленая

Рисунок 1 – Поверхности отклика зависимости массовой доли растворимых сухих веществ от режимов ультразвукового воздействия экстрактов из листьев мяты перечной, полученных с использованием разных растворителей

Таблица 3 – Физико-химические показатели экстрактов из листьев мяты перечной

Метод экстракции /растворитель /вариант экстракта	Активная кислотность, ед. рН	Коэффициент набухания	Вязкость, мПа·с
Классический /вода питьевая /-	6,17±0,11	3,62	1,39±0,15
Классический /сыворотка подсырная несоленая /-	5,57±0,11	3,44	1,68±0,15
С использованием ультразвука /вода питьевая /1	6,20±0,12	3,92	1,10±0,11
С использованием ультразвука /вода питьевая /2	6,18±0,10	4,76	1,11±0,12
С использованием ультразвука /вода питьевая /3	6,17±0,10	4,92	1,14±0,11
С использованием ультразвука /вода питьевая /4	6,18±0,11	4,60	1,12±0,10
С использованием ультразвука /вода питьевая /5	6,17±0,11	4,90	1,14±0,11
С использованием ультразвука /вода питьевая /6	6,16±0,10	5,36	1,16±0,14
С использованием ультразвука /вода питьевая /7	6,18±0,10	5,88	1,13±0,14
С использованием ультразвука /вода питьевая /8	6,17±0,10	5,88	1,15±0,12
С использованием ультразвука /вода питьевая /9	6,15±0,10	5,94	1,20±0,12
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /1	6,17±0,12	3,88	1,32±0,12
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /2	6,16±0,11	4,58	1,41±0,12
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /3	6,11±0,10	4,70	1,45±0,11
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /4	6,16±0,11	4,46	1,39±0,13
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /5	6,15±0,10	4,58	1,42±0,12
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /6	6,11±0,10	5,48	1,50±0,10
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /7	6,16±0,14	5,66	1,41±0,10
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /8	6,15±0,14	5,84	1,45±0,11
С использованием ультразвука /сыворотка подсырная несоленая /9	6,10±0,13	5,84	1,52±0,14

Таблица 4 - Биологически активные вещества экстрактов из листьев мяты перечной

Биологически активное вещество	Растворитель			
	вода питьевая		сыворотка подсырная несоленая	
	Метод экстракции			
	классический	с использованием ультразвука	классический	с использованием ультразвука
Массовая доля суммы флавоноидов (по рутину), %	0,13±0,005	0,17±0,006	0,27±0,008	0,40±0,006
Массовая доля витамина С, мг/100 г	4,322±0,247	20,153±0,421	26,723±0,327	30,263±0,347
Массовая доля водорастворимых антиоксидантов (в пересчете на аскорбиновую кислоту), мг/г	2,407±0,147	2,447±0,121	3,393±0,132	3,664±0,168
Массовая доля катионов, мг/дм ³ :				
– калия	11,633±0,704	16,380±0,907	21,512±1,107	34,220±2,082
– натрия	18,802±1,172	31,430±2,016	18,838±1,165	38,675±2,474
– магния	2,793±0,108	5,118±0,312	3,242±0,104	5,634±0,325
– кальция	10,078±0,657	16,251±1,042	23,418±1,456	47,113±3,072

Обсуждение. В результате проведенных исследований органолептических показателей экстрактов из листьев мяты перечной, полученных классическим методом (табл. 2), установлено, что: по внешнему виду они все представляли жидкость прозрачную (на воде питьевой) или непрозрачную (на сыворотке молочной); они обладали чистым (на воде питьевой) или опалесцирующим оттенком (на сыворотке молочной) темно-коричневого цвета; гармоничным, чистым, мятным запахом обладали образцы, изготовленные на воде, а изготовленные на сыворотке молочной – молочные тона; гармоничным, мятно-травянистым вкусом обладали образцы на воде питьевой, во вкусе экстрактов на сыворотке молочной выявлены сладко-молочные оттенки.

Выявлено, что на формирование органолептических характеристик экстрактов из листьев мяты перечной, вне зависимости от вида растворителя, оказывало наибольшее влияние уровень мощности ультразвукового воздействия, а также его продолжительность (табл. 2). Так уже при 7 мин ультразвуковой обработки при мощности 220 Вт/100см³ или 10 мин ультразвуковой обработки при мощности 143 Вт/100см³ суммарная оценка экстрактов была равна 18,6 баллов на воде питьевой, 17,0 баллов сыворотке молочной. При низком уровне мощности ультразвукового воздействия (66 Вт/100см³) вышеуказанную суммарную оценку у экстрактов, вне зависимости от используемого растворителя, получали только при обработке, которая составляла не менее 10 мин. Увеличение продолжительности ультразвукового воздействия оказывало, прежде всего, влияние на формирование таких органолептических характеристик экстрактов, вне зависимости от уровня мощности и вида растворителя, как «внешний вид» - он становился более привлекательным, по сравнению с экстрактами, полученными классическим методом, «запах» - насыщенным, «вкус» – более мягкий, мятный, менее кислый.

Результаты исследований основных физико-химических показателей экстрактов из листьев мяты перечной (табл. 3) показали различия, обусловленные химическим составом используемого растворителя.

Установлено, что использование ультразвукового воздействия при экстрагировании листьев мяты перечной позволило увеличить содержание массовой доли растворимых сухих веществ в экстрактах по сравнению с контрольным образцом (классический метод). При этом стоит отметить, что с увеличением мощности и продолжительности ультразвукового воздействия при использовании в качестве растворителя воды питьевой происходило наращивание количества растворимых сухих веществ на 8 % при мощности 220 Вт/100 см³ в течение 7 мин, или при мощности 143 Вт/100 см³ в течение 10 мин), а сыворотки молочной – на 13,2% при мощности 220 Вт/100 см³ в течение 10 мин (рис. 1). На наш взгляд, увеличение выхода растворимых сухих веществ при использовании ультразвукового воздействия обу-

словлено тем, что происходило ускорение пропитки растительного сырья растворителем, разрушение клеточных структур и пр. [4, 5].

Активная кислотность экстрактов из листьев мяты перечной, полученных методом экстракции с использованием ультразвука, с увеличением продолжительности и мощности воздействия последнего, незначительно снижались во всех образцах – изменения статистически не значимы.

С увеличением мощности и продолжительности обработки ультразвуком увеличивался коэффициент набухания листьев мяты перечной при использовании в качестве растворителя воды питьевой на 51,5%, сыворотки молочной на 50,5%. Акустическая кавитация приводит к высоким силам сдвига и турбулентности в растворителе. При распространении ультразвуковой волны в растворителе происходило образование, рост и схлопывание пузырьков. Взрыв пузырьков на поверхности листьев мяты перечной создавал высокоскоростные струи растворителя на поверхности и вызывал повреждение его ударной волной. Это, возможно, и привело к эрозии и набуханию растительного материала. Визуально на поверхности листа наблюдали – сильное гофрирование поверхности и разрыв.

При увеличении мощности и продолжительности обработки ультразвуком при получении экстрактов из листьев мяты перечной наблюдали незначительное увеличение их вязкости: при использовании в качестве растворителя воды питьевой – на 9%; сыворотки подсырной – на 15%.

На основании проведенных исследований органолептических и физико-химических показателей экстрактов из листьев мяты перечной, выявлены наилучшие условия их получения методом экстракции с использованием ультразвука, растворитель: вода питьевая – уровень мощности 220 Вт/100см³, температура ≈43°C в течение 5 мин; сыворотка подсырная несоленая – уровень мощности 220 Вт/100см³, температура ≈43°C в течение 10 мин.

Данные таблицы 4 свидетельствуют, что использование в качестве растворителя сыворотки подсырной несоленой и экстрагирования с помощью ультразвука позволило получить экстракты из листьев мяты перечной с большим количеством биологически активных веществ.

В результате проведенных исследований установлено, что экстракты из листьев мяты перечной на сыворотке подсырной несоленой, вне зависимости от используемого метода экстракции, содержали большее количество биологически активных веществ, по сравнению с водными экстрактами: в 3,9 раза витамина С, 2,6 раза кальция, 2,3 раза суммы флавоноидов, 2,0 раза калия, 1,5 раза водорастворимых антиоксидантов, 1,2 раза магния и 1,1 раза натрия.

Содержание биологически активных веществ в экстрактах из листьев мяты перечной больше в образцах, изготовленных методом экстракции с использованием ультразвука, вне зависимости от вида растворителя, в отличие от классического – в 2,9 раза витамина

С, 1,9 раза натрия, 1,8 раза магния и кальция, 1,5 раза калия, 1,4 раза суммы флавоноидов, 1,1 раз водорастворимых антиоксидантов.

Выводы. В результате проведенных комплексных исследований установлено, что при изготовлении экстрактов из листьев мяты перечной целесообразно использовать побочный продукт переработки молока - сыворотку подсырную несоленую. Применение метода экстракции с использованием ультразвука (мощность 220 Вт/100см³, температура ≈43°C, продолжительность 10 мин), позволило получить экстракты из листьев мяты перечной с повышенным содержанием биологически активных веществ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0533-2021-0019)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор) /И.А. Абашкин, Ю.А. Елев, Е.Н. Глухан и др. //Химия и технология органических веществ. – 2021. – № 2(18). – С. 43-59. – DOI 10.54468/25876724_2021_2_43.
2. Oreopoulou A., Tsimogiannis D. and Oreopoulou V. Extraction of polyphenols from aromatic and medicinal plants: an overview of the methods and the effect of extraction parameters. *Polyphenols in plants*, 2019: 243-259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00025-6>.
3. Usman I., Hussain M., Imran A., Afzaal M., Saeed F., Javed M. et al. Traditional and innovative approaches for the extraction of bioactive compounds. *International journal of food properties*, 2022; 25(1): 1215–1233 <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2074030>.
4. Погоржельская Н.С. Ультразвуковая обработка растительного сырья в производстве ликероводочных изделий /Н.С. Погоржельская, И.М. Абрамова, В.Л. Кудряшов // Пищевая промышленность. – 2019. – № 10. – С. 84-88. – DOI 10.24411/0235-2486-2019-10166.
5. Li S., Lei D., Zhu Z., Cai J., Manzoli M., Jicsinszky J. et al. Complexation of maltodextrin-based inulin and green tea polyphenols via different ultrasonic pretreatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021; 74: 105568. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105568>.
6. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) /А.Г. Храмцов, А.А. Борисенко, И.А. Евдокимов и др. // Современная наука и инновации. – 2021. – № 2(34). – С. 129-139. – DOI 10.37493/2307-910X.2021.2.12.
7. Pires A.F., Marnotes N.G., Rubio O.D., Garcia A.C. and Pereira C.D. Dairy By-Products: A Review on the Valorization of Whey and Second Cheese Whey. *Foods*, 2021; 10(5): 1067. <https://doi.org/10.3390/foods10051067>
8. Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L., Badiger S., Miyagusuku-Cruzado G. et al. Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 2021; 104(2): 1262-1275. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19038>
9. Гаврилова А.Н. Разработка ферментированного сывороточного напитка с добавлением растительного сырья /А.Н. Гаврилова, А.В. Борисова //Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 1(178). – С. 212-220. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-1-212-220.
10. Разработка технологии получения комбинированных экстрактов из терна и дикой черешни на основе молочной сыворотки / Т.Н. Даудова, Л.А. Даудова, Т.А. Исригова и др. //Проблемы развития АПК региона. – 2022. – № 3(51). – С. 173-176. – DOI 10.52671/20790996_2022_3_173.
11. Термодинамика неизоотермической диффузии при экстрагировании из люпина подсырной сывороткой /Ю.И. Шишацкий, А.С. Белозерцев, А.М. Барбашин, С.А. Никель //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81. – № 3(81). – С. 39-42. – DOI 10.20914/2310-1202-2019-3-39-42.
12. Изучения возможности использования продуктов лекарственных растений – кипрея узколистного и мяты перечной в технологии производства пряничных изделий /А.Г. Беляев, Е.И. Быковская, Е.Д. Ткачева, А.Г. Зуева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 3. – С. 8-16.
13. Gholamipourfard K., Salehi M. and Banchio E. Mentha piperita phytochemicals in agriculture, food industry and medicine: Features and applications. *South African Journal of Botany*, 2021; 141: 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.014>.
14. Воздействие СВЧ-излучения на получение экстрактов из растительного сырья / Т.С. Копысова, А.Б. Спиридонов, К.В. Анисимова, С.В. Владимиров // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2(62). – С. 62-70. – DOI 10.48012/1817-5457_2020_2_62.
15. Карпенко Д.В. Метод интенсификации экстракции растительного сырья в производстве напитков /Д.В. Карпенко, Е.В. Крюкова, Е.В. Щербачева //Пиво и напитки. – 2019. – № 4. – С. 46-50. – DOI 10.24411/2072-9650-2019-10009.
16. Athanasiadis V., Palaogiannis D., Bozinou E., Lalas S.I. and Makris D.P. β -Cyclodextrin-Aided Aqueous Extraction of Antioxidant Polyphenols from Peppermint (*Mentha × piperita* L.). *Oxygen*. – 2022. – 2(4): 424-436. <https://doi.org/10.3390/oxygen2040029>.
17. Коэффициенты водопоглощения и набухания лекарственного растительного сырья / И.А. Самылина, А.А. Сорокина, Н.В. Молчан, И.П. Рудакова // Фармация. – 2012. – № 4. – С. 3-5.
18. Хисматуллина Д.И. Содержание флавоноидов в растительном сырье и их сохранность после термической обработки /Д.И. Хисматуллина, А.А. Нигматьянов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5(67). – С. 222-224.
19. Методы оценки антиоксидантного статуса растений /отв. ред. Н.В. Чукина. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2012. – 72 с.

Статья поступила в редакцию 20.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 664.951.014:597.553.1

EDN: QTYVFB

ТЕХНОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАСПИЙСКИХ КИЛЕК И ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 6208-9267

AuthorID: 1031619

ORCID: 0000-0002-1546-2801

ХАРЧЕНКО Наталья Николаевна, руководитель группы стандартизации и нормирования

*Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии («КаспНИРХ»)*

(414056, Россия, Астрахань, улица Савушкина, 1, e-mail: natalyushka_lolo@mail.ru)

SPIN: 2381-0720

AuthorID: 850339

ORCID: 0000-0002-6604-7421

РОМАНЕНКОВА Елена Николаевна, специалист группы стандартизации и нормирования

*Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии («КаспНИРХ»)*

(414056, Россия, Астрахань, улица Савушкина, 1, e-mail: pk7kaspnirh@mail.ru)

SPIN: 8190-4477

AuthorID: 1114042

ORCID: 0000-0001-7833-4009

ГЕРЛОВА Юлия Робертовна, старший специалист группы стандартизации и нормирования

*Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии («КаспНИРХ»)*

(414056, Россия, Астрахань, улица Савушкина, 1, e-mail: hard_music@bk.ru)

Аннотация. В последние годы, в связи с изменением сырьевой базы, заметно возрос интерес к производству пищевой рыбной продукции из каспийских килек, технохимические характеристики и пищевая ценность которых активно изучались в середине прошлого столетия, когда основу промысла составляла килька анчоусовидная. На современном этапе основу промышленных уловов составляет килька обыкновенная, ранее вылавливаемая в незначительных количествах, что обуславливает отсутствие данных по способам переработки данного вида сырья, с учетом особенностей вида. В статье приведены современные технологические показатели кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной, добываемых в Каспийском море с 2019 по 2022 гг. в зависимости от периода промысла. Установлены различия в размерно-массовом составе данных видов рыб. В ходе проведения исследований отмечено увеличение размерно-массовых характеристик кильки обыкновенной, при стабильных показателях для кильки анчоусовидной. Проведенный анализ химического состава мышечной ткани показал, что по содержанию белка килька обыкновенная относится к высокобелковой рыбе, по содержанию жира, в зависимости от сезона, – к среднежирной (весной) и жирной (осенью и зимой), аналогичные показатели присущи для кильки анчоусовидной. Содержание белка в мышечной ткани кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной находится на высоком уровне (18,1 – 20,2%). Сезонные колебания содержания белка не так значительны, как изменения жира. На основании анализа значений функционально-технологических свойств обоснованы рациональные способы переработки данного вида сырья. Установлено, что килька обыкновенная и килька анчоусовидная могут служить сырьем для изготовления консервов, пресервов, малосоленой продукции в вакуумной упаковке, копченой и вяленой продукции. При этом, продукция, изготовленная из сырья осеннего и зимнего периода промысла, будет иметь более высокие потребительские характеристики.

Ключевые слова: Каспийское море, килька обыкновенная, килька анчоусовидная, технохимические характеристики, размерно-массовый состав, функционально-технологические свойства, пищевая рыбная продукция.

TECHNOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CASPIAN SPRAT AND FACTORS AFFECTING THEIR CHANGE

© Author(s) 2023

KHARCHENKO Natalya Nikolaevna, head of Standardization and Rationing Group

ROMANENKOVA Elena Nikolaevna, specialist of the group of standardization and rationing

GERLOVA Yuliya Robertovna, senior specialist of the group of standardization and rationing

Volga-Caspian branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography («CaspNIRKH»)

(414056, Russia, Astrakhan, street Savushkina, 1,

e-mails: natalyushka_lolo@mail.ru, pk7kaspnirh@mail.ru, hard_music@bk.ru)

Abstract. In recent years, due to changes in the raw material base, the interest in the production of food fish products from Caspian sprat, technochemical characteristics and food value of which were actively studied in the middle of the

last century, when anchovy-like sprat formed the basis of fishing, has noticeably increased. At the present stage, the basis of commercial catches is common sprat, which was earlier caught in insignificant quantities, which determines the absence of data on the methods of processing of this type of raw material, taking into account the peculiarities of the species. The modern technological parameters of common sprat and anchovy caught in the Caspian Sea from 2019 to 2022, depending on the period of fishing are represented in the article. Differences in the dimensional-mass composition of these fish species were established. During the research, an increase in the dimensional-mass characteristics of common sprat, with stable indicators for anchovy sprat was noted. The analysis of the chemical composition of muscle tissue showed that in terms of protein content common sprat belongs to high-protein fish, in terms of fat content, depending on the season - to medium-fat (spring) and fat (autumn and winter), similar indicators are inherent for anchovy sprat. Protein content in the muscle tissue of common sprat and anchovy sprat is at a high level (18.1-20.2%). Seasonal fluctuations of protein content are not as significant as the changes of fat content, which must be taken into account when choosing the processing methods. Based on the analysis of values of functional and technological properties the rational ways of processing of this type of raw material have been justified. It has been established that common sprat and anchovy can serve as a raw material for the production of canned fish, preserves, low-salted products in vacuum packaging, smoked and dried products. At the same time, products made from raw materials of the autumn and winter fishing period will have higher consumer characteristics.

Keywords: the Caspian sea, caspian sprats, technochemical characteristics, size and mass composition, functional and technological properties, food fish products.

Для цитирования: Харченко Н.Н. Технохимические характеристики каспийских килек и факторы, влияющие на их изменение / Н.Н. Харченко, Е.Н. Романенкова, Ю.П. Герлова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 98-104. – EDN: QTYVFB.

Введение. В рамках реализации Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов до 2030 г. большое внимание уделяется вопросам восстановления утраченной рыбохозяйственной инфраструктуры морского рыболовства в Волжско-Каспийском рыбохозяйственном бассейне, чему в значительной степени способствуют возобновление и развитие промысла каспийских килек в открытых пространствах Среднего и Южного Каспия.

Известно, что в водах Каспийского моря обитают три вида килек: обыкновенная (*Clupeonella cultriventris caspia* Svetovidov, 1941), анчоусовидная (*Clupeonella engrauliformis* Borodin, 1904) и большеглазая (*Clupeonella grimmii* Kessler, 1877). В середине прошлого столетия основу промысла составляла килька анчоусовидная, активно изучались ее технохимические характеристики, разрабатывался широкий спектр технологий переработки и ассортимента продукции, изготавливаемой из нее. Исследования кильки обыкновенной проводились редко, в связи с отсутствием ее в уловах, вследствие чего практически нет данных по ее технохимическому составу.

Впервые каспийские кильки были предложены для промышленной переработки М.Н. Богдановым в 1874 г. Во время экспедиции на Каспии в 1885 г. под руководством доктора О.А. Гримма были проведены первые опытные работы по посолу каспийских килек с применением технологии, используемой для килек Балтийского моря [1]. Промысел килек на Каспии начался в 1925 г. в дельте реки Волга мелководными волокушами, у берегов Дагестана – черноморскими скипастями. В 1928 г. кильку стали ловить у берегов Казахстана, через год – в Азербайджане и Туркменистане. В дальнейшем скипасты были

заменены ставными неводами. До 1940 г. промысел в море был исключительно прибрежным, основанным на весеннем подходе кильки обыкновенной к берегам. С 1940 г. у восточных берегов Среднего Каспия начался активный летне-осенний промысел кильки малыми кошелевыми неводами (аламанами). Основным промысловым объектом в то время была килька обыкновенная. Анчоусовидная килька составляла незначительный прилов в размере до 5% и перерабатывалась вместе с килькой обыкновенной без учета особенностей вида. В различные годы отмечалось непостоянство подхода косяков кильки обыкновенной к восточным берегам моря. В результате с 1943 г. уловы сильно колебались (от 7,4 до 0,1 тыс. тонн) и рыболовные суда простаивали.

Проф. Г.П. Борисовым в 1946 г. был предложен новый способ лова с помощью подводного электроосвещения, который оказался эффективным, позволив ловить кильку в течение всего года в различных районах моря с тех глубин, где в этот период времени килька держится в большом количестве [2]. В результате внедрения нового способа лова на свет, количество вылавливаемой кильки с 1951 г. резко увеличилось. При этом изменился видовой состав, так как основу уловов стала составлять килька анчоусовидная с незначительным приловом (до 10%) кильки обыкновенной [2, 3].

В дальнейшем (1960-1990 гг.), с заменой конусных сетей на рыбонасосные установки, уловы резко возросли и в среднем составляли 250-270 тыс. тонн с преобладанием кильки анчоусовидной (до 90%). В 1971 г. технология вылова на электросвет обеспечивала добычу килек в открытых районах моря до 444 тыс. тонн [4]. Вместе с тем, в уловах начала появляться большеглазая килька. В отдельные периоды количество большеглазой кильки стало

составлять до 50% от общего улова.

В начале 2000 г. произошло сокращение популяции каспийских килек, что связано с геодинамической активностью дна моря. Вселение гребневика мнемнопсиса (*Mnemiopsis leidy Agassiz, 1865*) является еще одним фактором, действие которого привело к гибели эндемичных видов килек (2000-2001 гг.) [5]. Промысел рыбонасосами стал нерентабельным и практически прекратил свое существование.

В период с 2011 по 2019 гг. вылов каспийских килек варьировал от 0,89 до 3,6 тыс. тонн, или 1,2-3,8% от рекомендованного объема. Основу улова (99%) стала составлять килька обыкновенная [6].

В 2020 году добыча кильки в Волжско-Каспийском бассейне выросла в 4,7 раза по сравнению с 2019 г. По подсчетам ученых, ее запасы составляли 450-500 тыс. тонн. В 2021 г. рекомендованный вылов находился на уровне 98,5 тыс. тонн. В 2022 г. рекомендованный вылов составил уже 106,47 тыс. тонн.

Для выбора направления переработки и изготовления высококачественной пищевой рыбной продукции из каспийских килек были изучены ретроспективные данные изменений их размерно-массовых характеристик, химического состава и ассортимента изготавливаемой продукции [7].

Изменения размерно-массовых характеристик каспийских килек. Длина кильки обыкновенной в период с 1941 по 1952 гг. составляла в среднем 91 мм, при средней массе одной рыбы 7,9 грамм, что позволяло направлять данный вид сырья на изготовление консервов типа «Шпроты в масле» по ГОСТ 280-41 на рыбзаводах Даггосрыбтреста [8]. В 1954 г. консервы перестали вырабатывать, так как на переработку стала поступать половозрелая, но мелкая по размеру килька, в среднем от 75 мм и весом 5 грамм.

С 1960 г. основу промысла составляла килька анчоусовидная, что оказало влияние на направления научных исследований ее технохимических характеристик. Исследования 70-х г. показывают, что средняя масса кильки анчоусовидной в зимних уловах составляла 6,2 грамм, большеглазой – 6,6 грамм. В летний период вес возрастал до 8,2 грамм у анчоусовидной и до 7,0 грамм у большеглазой [9]. В тех же исследованиях приводятся данные по выходу съедобной части (мяса с кожей) для кильки анчоусовидной 61,1-65,8% в зимний период.

По результатам исследований разрабатывались новые способы консервирования, рекомендации по ее рациональному использованию. Были предложены технологии переработки кильки анчоусовидной для изготовления консервов в томатном соусе и масле (из подсушенной рыбы типа сардины), консервов рыбных с растительными гарнирами, солено-пряных (без добавления уксусной кислоты) и маринованных пресервов (с добавлением уксусной кислоты, сахара и соли), бочковой пряной продукции. Кроме того,

из кильки вырабатывалась пищевая рыбная мука, тонкоизмельченный фарш, пищевые автолизаты и гидролизаты [10].

Снижение объемов вылова и изменения размерно-массовых характеристик килек в начале 2000-х г. привело к значительному сокращению вышперечисленного ассортимента. Из широкого ассортимента разработанной ранее продукции изготавливали в основном консервы из кильки в томатном соусе обжаренной и без применения процесса обжаривания. Более крупные экземпляры килек направляли на выпуск консервов «Сардины каспийские».

Изменения химического состава каспийских килек. Изменения размерно-массовых характеристик сырья отражались на его химическом составе и на способах переработки. Литературные данные свидетельствуют, что в уловах у берегов Дагестана до 1940 г. преобладала крупная килька обыкновенная, содержащая свыше 10% жира [11]. В ранних исследованиях килек указано, что жирность целых экземпляров составляла 11,75%, в отмеченных хороших кормовых условиях водоема [12]. В августе 1955 г. в районе Кызыл-Узень аламаном была поймана большая партия кильки обыкновенной с повышенным содержанием жира (16%) [11].

Анализ литературных данных показывает, что на изменения химического состава каспийских килек оказывали влияние различные факторы. В период с 1941 по 1956 гг. было отмечено снижение содержания жиров в химическом составе кильки обыкновенной, что, вероятнее всего, вызвано изменениями кормовой базы: в 1930-1956 гг. наблюдалось падение уровня Каспийского моря более чем на два метра, произошло зарегулирование стока реки Волги в 1955 г. у г. Самары и г. Волгограда, что привело к уменьшению концентрации фосфатов в море, а в связи с этим снизилась и биомасса зоопланктона, которым питалась килька обыкновенная [2]. В последующие годы содержание жира в кильке обыкновенной продолжало оставаться на достаточно низком уровне (4,0%).

В связи с изменением основного промыслового вида с кильки обыкновенной на кильку анчоусовидную и большеглазую, с 1960 г. началось активное изучение их химического состава и пищевой ценности. Отмечались достаточно стабильные среднегодовые показатели содержания жира и воды и их изменения в зависимости от сезона вылова [13, 14]. В технологических исследованиях 70-х г. данные по химическому составу кильки обыкновенной не приводятся [11, 14, 15].

Изменения химического состава отмечены исследователями в начале 2000 г. у анчоусовидной и большеглазой килек: стали проследиваться уменьшение длины и массы, снижение накормленности, жирности, понизилась устойчивость к воздействию негативных факторов среды [5, 15-18]. Дополнительно изменение технохимических характерис-

тик каспийских килек обусловлено изменением основного объекта питания. После 1999 г. из состава зоопланктона Среднего и Южного Каспия исчезли эндемики Каспийского моря – массовые виды *Eurytemora grimmeri* и *E. minor*, составлявшие ранее основу их питания [19, 20]. По результатам исследований в 2012–2016 гг., доминирующими кормовыми объектами кильки обыкновенной были представители отряда *Copepoda* (веслоногие ракообразные) и личинки усоногих рачков [21].

В процессе проведения научных работ специалистами КаспНИРХа с 2009 г. в уловах отмечено увеличение численности кильки обыкновенной (90,4%), с достаточно высоким содержанием жира и белка в летний период [22]. С учетом того, что промысел каспийских килек в данный период практически отсутствовал, исследования технико-химических характеристик не проводились, продукция из каспийской кильки не выпускалась рыбоперерабатывающими предприятиями.

В настоящее время в связи с восстановлением промысла каспийских килек перед специалистами рыбохозяйственного комплекса встала задача разработки направлений переработки и расширения ассортимента выпускаемой пищевой продукции.

Изучение технико-химических характеристик килек в современных экологических условиях Каспийского моря с обоснованием способов ее рациональной переработки определили цель настоящей работы.

Методология. Из промышленных уловов в весенний и осенний периоды с 2019 по 2022 гг. отбирались пробы каспийских килек и в свежемороженом виде доставлялись для исследований в лабораторных условиях. Образцы целой рыбы и мышечной ткани анализировались на содержание воды, липидов, минеральных веществ. Исследовались соотношение масс отдельных частей тела рыбы, измерялись длина и масса целой рыбы.

При проведении исследований было использовано лабораторное оборудование и инструмен-

тальная база Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»). Отбор образцов осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 31339-2006. Размерно-массовый состав определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 1368-2003. Общий химический состав устанавливали по общепринятым методикам по ГОСТ 7636-85. Техно-химические и функционально-технологические характеристики определяли расчетным методом [7].

В работе использовались аналитические методы исследований: анализ, систематизация, обобщение и интерпретация экспериментальных данных.

Результаты исследований обрабатывались современными методами расчета статистической достоверности с использованием компьютерных программ *Microsoft Excel*. Эксперименты проводились в 3 кратной повторности.

Результаты. Современные технико-химические характеристики каспийских килек были установлены по нескольким показателям. Первым этапом исследования было определение размерно-массовых характеристик кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной в период с 2019 по 2022 гг. Результаты изучения размерно-массовых характеристик приведены в таблице 1.

Параллельно проводились исследования химического состава сырья в весенний и осенний периоды промысла с целью выбора рационального способа переработки. Среднегодовые значения химического состава кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной представлены в таблице 2.

На третьем этапе, на основании данных общего химического состава сырья, были определены функционально-технологические характеристики каспийских килек (табл. 3) в зависимости от сезона промысла: коэффициент оводненности (K_o), коэффициент созревания ($K_{созр}$), белково-водный коэффициент ($БВК$), коэффициент пищевой насыщенности ($K_{ми}$) и влагоудерживающая способность сырья (BVC) [7].

Таблица 1 – Среднегодовые размерно-массовые характеристики каспийских килек

Годы	Килька обыкновенная		Килька анчоусовидная	
	средний размер кильки, мм	средний вес кильки, г	средний размер кильки, мм	средний вес кильки, г
2019	85-89	6,6-7,0	111-117	12,3-12,7
2020	86-90	6,5-6,9	108-114	12,6-13,0
2021	98-102	8,0-8,4	109-115	12,3-12,7
2022	100-104	7,9-8,2	108-114	11,4-11,8

Таблица 2 – Среднегодовые значения химического состава каспийских килек

Годы	Содержание, %			
	воды	белка	липидов	мин. в-в
килька обыкновенная				
2019	72,5-76,9	17,1-20,0	3,0-8,2	2,0-2,7
2020	66,4-77,6	14,0-17,0	4,8-16,0	2,2-2,9
2021	67,2-72,4	14,5-18,3	4,2-15,8	2,1-2,9
2022	67,1-79,1	16,8-19,5	2,1-13,9	0,5-2,9
килька анчоусовидная				
2019	76,4-80,4	17,2-20,6	2,1-3,8	1,9-2,3
2020	66,5-74,0	18,0-19,3	3,6-4,1	2,0-2,4
2021	67,6-75,2	17,5-18,9	3,5-4,6	1,9-2,4
2022	70,4-78,7	18,5-20,5	1,8-10,3	0,1-0,5

Таблица 3 – Функционально-технологические характеристики мышечной ткани каспийских килек

Наименование объекта исследования	K_0	$K_{\text{созр}}$	БВК	$K_{\text{пл}}$	ВУС
Килька обыкновенная, весенний улов	4,3-4,5	0,12-0,14	22,3-22,7	0,23-0,27	83,3-87,7
Килька обыкновенная, осенний улов	4,3-4,5	0,12-0,14	22,7-23,1	0,23-0,27	82,1-84,1
Килька анчоусовидная, весенний улов	4,7-4,9	0,1-0,12	22,8-23,2	0,24-0,26	80,1-82,1
Килька анчоусовидная, осенний улов	4,0-4,2	0,12-0,14	23,5-25,5	0,26-0,28	78,2-80,3

Обсуждение. Проведенные исследования размерно-массовых характеристик каспийских килек в период с 2019 по 2022 гг. показывают, что средний размер кильки обыкновенной составляет 95 мм, что значительно выше, чем минимальный разрешенный промышленный размер (60 мм). При этом более крупная килька преобладает в осенних уловах. Стабильное увеличение размерно-массовых характеристик кильки обыкновенной за период исследований с 2019 по 2022 гг. свидетельствует об улучшении состояния популяции и возможности возобновления промышленной переработки данного вида рыб. Колебания средних величин размера и массы анчоусовидной кильки невелики, что свидетельствует о стабильном состоянии популяции данных видов рыб.

Особый интерес для рыбоперерабатывающих предприятий в настоящее время представляет килька обыкновенная, в связи с чем определен размерно-массовый состав тела в современных уловах. Внутренности кильки обыкновенной составляют порядка 5-7%, голова – 2%, кости и плавники – 2,5% от массы тела. Наибольшей составляющей частью кильки обыкновенной является мышечная ткань (около 60% от общей массы), что подтверждает целесообразность ее направления на производство пищевой рыбной продукции, разделанной на тушку. Образующие отходы могут быть использованы для изготовления продукции кормового назначения. Соотношение масс отдельных частей тела кильки анчоусовидной незначительно отличаются от кильки обыкновенной. Внутренности кильки анчоусовидной составляют 2-3%, голова – 5%, кости и плавники – 5%, мышечная ткань – 50% от общей массы тела. Установленные различия выхода мышечной ткани обусловлены особенностями строения тела данных видов рыб.

Данные, характеризующие химический состав мышечной ткани (табл. 2), указывают, что килька обыкновенная относится к высокобелковой рыбе, по содержанию жира, в зависимости от сезона, – к среднежирной и жирной поскольку в период с весны и до зимы содержание жира в мышечной ткани существенно увеличивается. Килька анчоусовидная несколько уступает обыкновенной по жирности и содержанию воды. Сравнительный анализ химического состава каспийских килек указывает, что наибольшей пищевой ценностью обладает килька обыкновенная: она более крупная, содержание жира и белка выше, чем у анчоусовидной, имеет наименьшую оводненность мышечной ткани. Как показали

исследования, достаточно высокое содержание жира определяет нежную консистенцию мышечной ткани кильки обыкновенной и позволяет рекомендовать данный вид сырья для изготовления подвяленной и слабосоленой созревающей продукции.

Вместе с тем, рассчитанные функционально-технологические характеристики (табл. 3) указывают на возможность дальнейшего использования кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной для получения пищевой продукции широкого ассортимента. Коэффициент пищевой насыщенности ($K_{\text{пл}}$) данных видов рыб характеризует сырье как средне-насыщенное, т.е. имеющего пищевую ценность.

При поиске технологических решений переработки кильки обыкновенной и кильки анчоусовидной следует учитывать сезон вылова: с увеличением в мышечной ткани массовой доли жира возрастает калорийность. Расчет степени оводнения белка и жира показал, что данные характеристики не зависят от сезона вылова, в отличие от влагоудерживающей способности сырья (BVC), которая выше в мышечной ткани рыб весеннего вылова.

Вкус и консистенция мышечной ткани рыб в значительной степени характеризуется белково-водным коэффициентом ($БВК$), который показывает общее количество белка в граммах, приходящееся на 100 г воды. При его высоких значениях мышечная ткань рыбы после тепловой обработки становится сухой и плотной, при низких значениях – дряблой и водянистой [7]. Рассчитанные значения белково-водного коэффициента мышечной ткани каспийских килек позволяют сделать вывод, что после тепловой обработки продукция из данного вида сырья будет иметь нежную консистенцию. Таким образом, одним из рациональных направлений переработки является изготовление термически обработанной продукции – консервов, копченой рыбы. Кроме того, коэффициент оводненности (K_0) указывает на достаточно сочную и плотную консистенцию мышечной ткани, даже после тепловой обработки сырья. Липидно-белковый коэффициент ($K_{\text{созр}}$) характеризует сырье как среднесозревающее, подходящее для изготовления сушено-вяленой, вяленой продукции. Исходя из вышеуказанных факторов и учитывая, что килька обыкновенная и килька анчоусовидная относятся к созревающим видам рыб, можно сделать вывод о возможности направления на изготовление пресервов [23].

Выводы. С начала промысла килек в экосистеме

Каспийского моря, вследствие различных факторов, происходили перемены: заменялись объекты питания данных видов рыб, значительно изменялся уровень моря, температура и химический состав воды в следствии сейсмических явлений. Изменяющиеся условия обитания каспийских килек оказывали влияние на химический состав мышечной ткани, теххимические характеристики, что отражалось на вырабатываемом ассортименте продукции, изготавливаемой из них.

В настоящее время килька обыкновенная и килька анчоусовидная являются перспективным видом сырья для изготовления пищевой рыбной продукции широкого ассортимента. При выборе способов переработки необходимо учитывать период промысла и вид добываемой рыбы для выработки продукции высокого качества.

Размерно-массовые характеристики кильки обыкновенной указывают на возможность изготовления продукции из нее в разделанном виде, поскольку выход мышечной ткани составляет около 60%. Образующие отходы могут быть использованы для изготовления продукции кормового назначения. Кильку анчоусовидную рекомендуется перерабатывать без разделки.

На основании изучения химического состава установлено, что в зависимости от периода вылова в кильке обыкновенной и кильке анчоусовидной существенно изменяется содержание жира, при относительно постоянном уровне содержания белка. Так, в весенний период промысла содержание жира в мышечной ткани кильки обыкновенной минимальное. Изменения химического состава оказывают влияние и на функционально-технологические свойства.

Таким образом, принимая во внимание результаты исследований, можно сделать вывод, что килька обыкновенная и килька анчоусовидная могут служить сырьем для изготовления консервов, пресервов, малосоленой продукции в вакуумной упаковке, копченой и вяленой продукции. При этом продукция, изготовленная из сырья осеннего и зимнего периода промысла, будет иметь более высокие потребительские характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Книпович Н.М. Каспийское море и его промыслы. – Берлин: ГИЗ РСФСР, 1923. – 87 с.
- Подсевалов В.Н., Скрутова Н.И. Приготовление копчено-мороженой кильки [Текст]: отчет о НИР: 109Т / ВНИРО; Астрахань, 1955. – 36 с.
- Горохов М.Н. КаспНИРХ в новом веке / М.Н. Горохов, С.В. Шипулин, В.В. Барабанов, Е.А. Клюкина, Г.Р. Макарова, А.В. Михайлова, О.В. Пятикопова, Н.Н. Харченко // Труды ВНИРО. 2022. Т. 190. С. 193-197.
- Мирзоян А.В. Современное состояние промысловых запасов и резервы промысла морских рыб Каспийского моря / А.В. Мирзоян, В.А. Калмыков, С.В. Канатъев, Р.П. Ходоревская // Труды ВНИРО. 2018. Т. 171. С. 141-156.
- Асейнова А.А., Ходоревская Р.П., Абдусаматов А.С. Современное состояние запасов обыкновенной кильки (*Clupeonella cultriventris caspia*) в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2012. 7(4):32-39. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2012-4-32-39>

org/10.18470/1992-1098-2012-4-32-39

- Канатъев С.В. Современное состояние и перспективы развития промысла каспийских килек / С.В. Канатъев, В.А. Калмыков, Ю.А. Парицкий, А.А. Асейнова, С.П. Разинков, Т.В. Помогаева, И.Б. Балченков // Материалы XIX Международной научной конференции с элементами научной школы молодых ученых «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России», посвященной 75-летию со дня рожд. докт. биол. наук Г.М. Абдурахманова (г. Махачкала, 4–7 ноября 2017г.) – Махачкала, 2017. С. 644-645.
- Кизеветтер И.В. Биохимия сырья водного происхождения: монография. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 424 с.
- Харченко Н.Н., Винокур М.Л., Токмакова И.В., Андрюхин А.В. О возможности изготовления консервов «Шпроты в масле» из каспийских килек // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: Сборник трудов IX Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященная 140-летию ВНИРО, Москва, 11-12 ноября 2021 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2021. – С. 186-189.
- Калантарова М.В., Максимова М.В. Приготовление сардин в масле из анчоусовидной кильки (внедрение в промышленность) [Текст]: отчет о НИР: 550 Т / КаспНИРО; Астрахань, 1956. – 41 с.
- Никитин Б.П. Хранение рыбы и рыбных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1987. – 175 с.
- Калантарова М.В., Максимова М.В. Приготовление сардин в масле из анчоусовидной кильки (внедрение в промышленность) [Текст]: отчет о НИР: 550 Т / КаспНИРО; Астрахань, 1956. – 41 с.
- Ловецкая А.А. Каспийские кильки и их промысел. Пищепромиздат, 1951. – 47 с.
- Подсевалов В.Н., Скрутова Н.И. Разработка технологии приготовления копчено-мороженой продукции из мелкой рыбы (килька каспийская) [Текст]: отчет о НИР: 107Т / ВНИРО; Астрахань, 1954. – 24 с.
- Чемеренко Н.В. Повышение качества пресервов «Килька пряного посола» [Текст]: отчет о НИР: 883Т / КаспНИРХ; Астрахань, 1971. – 53 с.
- Чемеренко Н.В. Повышение качества пресервов «Килька пряного посола» [Текст]: отчет о НИР: 854Т / КаспНИРХ; Астрахань, 1970. – 49 с.
- Парицкий Ю.А. Современное состояние каспийских килек / Ю.А. Парицкий, А.А. Асейнова, В.П. Разинков, Т.В. Помогаева, А.М. Камакин // Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию Татарского отделения ГОСНИОРХ (Казань, 24–29 октября 2016 г.) Казань, 2016. – С. 810-816.
- Osipov, V.V., Dgebuadze, Y.Y. Variability of Black and Caspian Sea sprat *Clupeonella cultriventris* (Clupeidae) growth in the contemporary range. *J. Ichthyol.* 56, 767–774 (2016). <https://doi.org/10.1134/S003294521605009X>
- Канатъев С.В. Предпосылки, организация и развитие килечного тралового промысла в Среднем Каспии / С.В. Канатъев, Т.В. Помогаева, В.А. Калмыков, В.П. Разинков, Ю.А. Парицкий, И.Б. Балченков, А.М. Камакин, С.В. Шипулин // Труды ВНИРО. 2022. Т. 190. С. 22-35.
- Парицкий Ю.А., Канатъев С.В., Асейнова А.А., Разинков В.П. Некоторые особенности поведения и распределения каспийской обыкновенной кильки *Clupeonella delicatula caspia* Svetovidov // Вестник АГТУ: Серия Рыбное хозяйство: 2018. № 3. – С. 27-38.
- Камакин А.М., Ходоревская Р.П. Влияние популяции вселенца *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 на рыбное население Каспийского моря // Биология внутренних вод. 2018. № 2. С. 51-56.
- Никулина Л.В., Азаренко М.Н., Михайлова А.В. Многолетняя динамика развития зоопланктона и оценка трофологического состояния обыкновенной кильки на акватории лицензионного участка «Центрально-Каспийский» // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений» (13 октября 2017 г., Астрахань). – Астрахань: КаспНИРХ, 2017. – С. 190-197.

22. Абдулаева Д.Р., Каниева Н.А. Морфологические и биохимические показатели каспийской трюльки (*Clupeonella cultriventris caspia*) // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2010. №2 – С. 84-87.

23. Харченко Н.Н., Мукатова М.Д. Разработка технологии слабосоленой кильки Каспийской мороженой в мелкой расфасовке для массового потребления // 63-я международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 25-летию Астраханского государственного технического университета, Астрахань, 22-26 апреля 2019 года. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2019. – С. 54.

Статья поступила в редакцию 04.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 613.292

EDN: ZPEHVV

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ СОРБЕТА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES BOULARDII*

© Автор(ы) 2023

SPIN: 2686-7613

AuthorID: 1182382

ORCID: 0000-0001-9037-0133

БАРБОТИН Вадим Романович, магистрант*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)*
(125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: exoforc@yandex.ru)

SPIN: 7547-4851

AuthorID: 329699

ORCID: 0000-0003-1993-8333

ИВАНОВА Людмила Афанасьевна, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза»*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)*
(125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: biotech@mgupp.ru)

Аннотация. В последние годы всё больше людей сталкивается с заболеваниями желудочно-кишечного тракта. Причинами являются условия жизни и окружающей среды, особенности организма, неправильное питание и приём антибиотиков. Одновременно растёт количество людей, заинтересованных в здоровом образе жизни, вместе с чем увеличивается спрос на продукты, обладающие функциональными свойствами. Разработка нового функционального продукта с пробиотическими свойствами позволяет удовлетворить потребности потребителей в полезном питании. Пробиотические свойства положительно влияют на иммунитет и способствуют профилактике и лечению заболеваний кишечника. В данной научной работе разрабатывался функциональный продукт на основе замороженного десерта – сорбета с добавлением пробиотических дрожжей *Saccharomyces boulardii*. Их преимуществом, по отношению к бактериальным пробиотикам, является устойчивость к антибиотикам, а дрожжевая природа исключает возможность переноса резистентности. Полученный десерт можно рекомендовать людям, принимающим антибиотики, для поддержания микрофлоры кишечника, предотвращения или ослабления связанной с лечением диареи. В статье описана рецептура двух видов продукта и их энергетическая ценность, позволяющая отнести данные десерты к низкокалорийной категории продуктов. Была проанализирована устойчивость данного штамма к антибиотикам и выживаемость клеток в условиях искусственной желудочной среды. Представлены результаты по сохранности жизнеспособных клеток при хранении продукта в морозильной камере.

Ключевые слова: функциональные продукты, сорбет, диетическое питание, пробиотики, пробиотические дрожжи, *Saccharomyces boulardii*, холодные десерты, функциональные десерты, здоровье, антибиотика резистентность.

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL PRODUCT BASED ON SORBET WITH THE ADDITION OF PROBIOTIC YEAST *SACCHAROMYCES BOULARDII*

© The Author(s) 2023

BARBOTIN Vadim Romanovich, master's student*Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)*
(125080, Moscow, Volokolamsk highway, 11, e-mail: exoforc@yandex.ru)**IVANOVA Lyudmila Afanasyevna**, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of department of « Biotechnology and technology of bioorganic synthesis products»*Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)*
(125080, Moscow, Volokolamsk highway, 11, e-mail: biotech@mgupp.ru)

Abstract. In recent years, more and more people are facing diseases of the gastrointestinal tract. The reasons are living conditions and the environment, the characteristics of the body, improper nutrition and taking antibiotics. At the same time, the percentage of people interested in a healthy lifestyle is growing, along with which the demand for products with functional properties is increasing. The development of a new functional product with probiotic properties allows us to meet the needs of consumers for healthy nutrition, and probiotic properties have a positive effect on immunity and contribute to the prevention and treatment of intestinal diseases. In this scientific work, a functional product based on a frozen dessert – sorbet with the addition of a probiotic yeast *Saccharomyces boulardii* was developed. Their advantage, in relation to bacterial probiotics, is antibiotic resistance, and the yeast nature excludes the possibility of transferring resistance. The resulting dessert can be recommended to people taking antibiotics to maintain the intestinal microflora, prevent or alleviate treatment-related diarrhea. The article describes the formulation of two types of product and their energy value, which allows these desserts to be attributed to the low-calorie category of products. The resistance of this

strain to antibiotics and cell survival in an artificial gastric environment were analyzed. The results on the preservation of viable cells during the storage of the product in the freezer are presented.

Keywords: functional foods, sorbet, dietary nutrition, probiotics, probiotic yeast, *Saccharomyces boulardii*, cold desserts, functional desserts, health, antibiotic resistance.

Для цитирования: Барботин В.Р. Разработка функционального продукта на основе сорбета с добавлением пробиотических дрожжей *Saccharomyces boulardii* / В.Р. Барботин, Л.А. Иванова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 105-111. – EDN: ZPEHVV.

Введение. По данным ВОЗ в России за последние 5 лет выросло число случаев заболеваний, связанных с желудочно-кишечным трактом (ЖКТ). Глобальное эпидемиологическое исследование показало, что больше 40% взрослого населения страдают функциональными расстройствами ЖКТ [1]. Причинами этих заболеваний могут являться бактериальные инфекции, приём антибиотиков, ослабленный иммунитет и микробиота кишечника. Также, различные дисбактериозы кишечника способны влиять и на когнитивные функции, что отрицательно сказывается на настроении и поведении [2]. Для лечения и профилактики болезней ЖКТ людей применяют пробиотики. Они нормализуют микрофлору кишечника за счёт образования биоплёнок на стенках кишечника, антагонистической активности по отношению к патогенным микроорганизмам и образования полезных метаболитов [3, 4]. Они способны расти при 37°C, выживать в условия высокой кислотности в присутствии пищеварительных ферментов. Рынок пробиотической продукции продолжает развиваться, вместе с этим появляются новые виды пробиотиков и содержащие их продукты. Рост интереса к этой теме можно наблюдать по количеству новых статей на эту тему, индексируемых в *PubMed*, число публикаций в год за последние 7 лет увеличилось в 2 раза [5, 6].

Saccharomyces boulardii – это одни из немногих не бактериальных пробиотиков. Его преимуществом является то, что он устойчив к антибиотикам, что позволяет применять его параллельно вместе с лечением антибиотиками для поддержания микрофлоры ЖКТ и предотвращения диареи вызванной терапией. Также он показали свою эффективность при использовании в терапии пациентов с новой коронавирусной инфекцией *COVID-19*, проходящих антибактериальную терапию, снижали частоту развития диареи и её тяжесть [7]. *S. boulardii* являются генетически близкими к модельными дрожжами *S. cerevisiae*, но несмотря на родство отличаются в ряде метаболических функций. *S. boulardii* не образуют аскоспоры, не используют галактозу, не образуют гаплоидную форму, они лучше переносят высокую температуру и низкий *pH* среды, что позволяет использовать их в качестве пробиотика [8]. К их функциям, оказывающим влияние на ЖКТ относятся: регуляция и стимуляция иммунитета, антагонистическая активность по отношению к патогенным микроорганизмам, таким как *Helicobacter pylori*, *Clostridium difficile*, *Candida albicans*, *Yersinia enterocolitium*, *Salmonella typhimurum*, поддержание целостности стенок кишечника, проявление анти-

оксидантной активность и трофический эффект [9,10,11]. Положительные свойства дрожжевых пробиотиков являются причиной новых исследований по выделению, изучению пробиотических свойств и анализу безопасности других дрожжевых штаммов, для дальнейшего их использования в лечении патологий. Например, *S. boulardii* RC009 при апробации на мышах не показал токсических эффектов, также они способны сорбировать афлатоксин B_1 [12, 13].

Образ жизни и неправильное питание также называются на здоровье человека. Избыток или недостаток определённых веществ, поступающих с пищей, может вести к нарушению метаболизма, что влечёт за собой развития заболеваний [14]. Эту проблему помогают решить функциональные продукты (ФП) за счет добавления или увеличения концентрации полезного для человека ингредиента или замещение вредного другим или его удаление. Функциональный продукт – это продукт, который имеет вид традиционной пищи и оказывает положительное физиологическое влияние на организм и/или снижает риск заболеваний [15]. Всё больше людей придерживаются здорового образа жизни, в связи с этим растёт спрос на функциональные продукты. Рыночная ниша ФП расширяется, компании заинтересованы в новых разработках в данной области [16]. Если речь идёт о ФП на основе пробиотиков, пребиотиков и синбиотиков, то особое внимание уделяется стратегиям повышения выживаемости клеток и сохранения жизнеспособных клеток в течение всего срока годности продукта. Одним из возможных подходов для решения этой задачи является использование немолочных и не ферментированных продуктов [17].

Прошлые исследования по использованию *S. boulardii* в качестве добавки в функциональных продуктах показали, что они могут поддерживать свою жизнеспособность в йогуртах за счет содержащихся в нём компонентов, при этом образование ими спирта или газа не наблюдалось. Также они способны расти, питаясь органическими кислотами, производимыми молочнокислыми бактериями в кисло-молочных продуктах [18].

Недавние работы показали, что мороженное является удачным носителем пробиотических культур *S. boulardii* и *L. rhamnosus GG*, при хранении при $t=-18^{\circ}\text{C}$ живые пробиотические клетки сохранялись в течение 28 дней в удовлетворительном количестве [19]. Другое исследование на мороженном показало, что использование инулина вместе с *S. boulardii* способствует увеличению срока годности до 120 дней

при хранении при $t = -18^{\circ}\text{C}$, на протяжении этого времени продукт сохранял минимальное необходимое число жизнеспособных клеток пробиотика согласно требованиям ВОЗ [20].

Целью данной работы была разработка функционального продукта на основе сорбета с добавлением пробиотических дрожжей *Saccharomyces boulardii*. Сорбет должен сохранять необходимое количество жизнеспособных клеток на протяжении длительного времени, при этом внесение дрожжевой биомассы не должно отрицательно сказываться на органолептических свойствах продукта. Сорбет – ягодный или фруктовый, замороженный десерт с массовой долей сухих веществ фруктов, овощей или ягод от 2,0% до 4,0%.

Методология. В работе использовались дрожжи *Saccharomyces boulardii* из коллекции Российского биотехнологического института, сахарный песок, лимон Узбекистан, вишня замороженная без косточки «Hortex», черника замороженная «Красная птица», вода питьевая, мёд акациевый «Пчельник», миндальный напиток «Alpro», мюсли запечённые «ОГО!», йогурт питьевой «Эконива», сухая среда Сабуро, сухая среда МРС, сухая среда ПАЛ, сухая среда Эндо, сухая среда ТГС, вода водопроводная, набор дисков индикаторных ДИ-ПЛС-50-01 «НИЦФ».

Определение выживаемости микроорганизмов в желудке проводилось методом выдерживания их в искусственной желудочной среде *in vitro* и дальнейшим подсчётом жизнеспособных клеток методом разведений. Определение выживаемости клеток в продукте происходило путем периодического высева в чашки Петри посредством метода разведений.

Для приготовления черничного сорбета в глубокой ёмкости смешивался йогурт и миндальное молоко, затем добавлялся мёд, смесь снова перемешивали и добавляли мюсли, чернику с помощью блендера превращали в пюре, добавляли к смеси, и еще раз все вместе примешивали. Для приготовления вишневого сорбета в глубокую ёмкость высыпали вишню, делали из неё пюре с помощью блендера, в сотейнике готовился сироп, сахарный песок воду и лимонный сок держали на медленном огне постоянно помешивая до растворения сахара, после его вливали к вишнёвому пюре и снова размешивали блендером.

Для стерилизации образцы разливались по колбам, которые нагревали до $t = 80^{\circ}\text{C}$, закрывали ватно-марлевыми пробками и бумажными колпаками, после чего помещались в автоклав и выдерживали 15 мин при $t = 121^{\circ}\text{C}$. После охлаждения, в стерильном боксе вносились биомасса дрожжей в количестве $1 \cdot 10^9$ КОЕ на 100 г продукта ($1 \cdot 10^7$ КОЕ на 1 г продукта). После чего колбы ставились в морозильную камеру на хранение $t = -18^{\circ}\text{C}$, первые 2 ч периодически встряхивались для перемешивания сорбетов с целью их равномерного замерзания.

Так же, после стерилизации сорбетов, был сделан отбор проб для микробиологического контроля, образцы высевались на дифференциально-диагностические среды: МРС, ТГС, Сабуро, ПАЛ, ЭНДО и

помещались в термостат при $t = 32^{\circ}\text{C}$ на 5 суток.

Определяли выживаемость клеток дрожжей в искусственной желудочной среде. Для приготовления среды 2 г натрия хлорида и 3,2 г порошка пепсина растворяли в воде, прибавляли 80 см^3 1 М хлороводородной кислоты, объем доводился до 1000 см^3 , рН среды равнялся 2. Затем в 10 см^3 искусственного желудочного сока вносились дрожжи в количестве $1 \cdot 10^9$ КОЕ и выдерживались при $t = 37^{\circ}\text{C}$ в течении 1 и 2 ч, после, методом разведений делался высеv в чашки Петри, выросшие колонии подсчитывались для анализа выживаемости культуры.

Антибиотикоустойчивость дрожжей определялась с помощью диско-диффузионного метода. Готовилась суспензия дрожжей с плотностью 0,5 по стандарту мутности МакФарланда. Затем 1 см^3 переносился в стерильные чашки Петри со средой Сабуро и равномерно распределялся по всей площади с помощью стерильного шпателя, на засеянную питательную среду помещались диски с антибиотиками. Чашки Петри инкубировались в термостате при $t = 37^{\circ}\text{C}$ 5 суток. После инкубации круги замедления роста измерялись с помощью штангенциркуля, на основании их диаметра делался вывод о чувствительности культуры к антибиотикам: *S* – чувствительные, *I* – умеренно устойчивые, и *R* – устойчивые.

Результаты. По результатам выдерживания клеток *S. boulardii* в искусственной желудочной среде при $t = 37^{\circ}\text{C}$ и рН 2 была составлена таблица 1.

Из таблицы видно, что при выдерживании в течение 1 часа, количество жизнеспособных клеток снижается на 40%, при выдерживании в течение 2 часов их количество снижается на 70%. Выживаемость *S. boulardii* в желудке позволяет использовать его в качестве пробиотика в пищевых продуктах.

Анализ чувствительности дрожжей к антибиотикам осуществлялся с помощью диско-диффузионного метода. Были использованы такие антибиотики: ампициллин 10 мкг (АМП), триметоприм/сульфаметоксазол 1,25/23,75 мкг (ТС), амоксициллин/клавулановая кислота 20/10 мкг (АКК), норфлоксацин 10 мкг (НОР), ципрофлоксацин 5 мкг (ЦИП), офлоксацин 5 мкг (ОФ), цефотаксим 30 мкг (ЦТК), цефтриаксон 30 мкг (ЦРО), цефтазидим 30 мкг (ЦАЗ).

Из рисунка 1 видно, что во всех случаях кругов замедления роста культуры не наблюдалось, это означает резистентность (*R*) *S. boulardii* к выбранным антибиотикам. Данная особенность обеспечивает выживаемость этих дрожжей в случае приема антибиотиков вместе с продуктом.

Из рисунка 1 видно, что во всех случаях кругов замедления роста культуры не наблюдалось, это означает резистентность (*R*) *S. boulardii* к выбранным антибиотикам. Данная особенность обеспечивает выживаемость этих дрожжей в случае приема антибиотиков вместе с продуктом.

Как видно из таблицы 2, оба сорбета являются низкокалорийными, количество калорий на 100 г продукта не превышает 100 ккал, что позволяет рекомен-

довать данные продукты людям, придерживающимся низкокалорийных диет. В черничном сорбете в два раза меньше углеводов, около 30% из которых – это фруктоза, т.к. сахарный песок заменён мёдом. Вишнёвый сорбет не содержит в себе молочных продуктов, что позволяет употреблять его людям с непереносимостью лактозы.

Результаты высева сорбетов на дифференциаль-

но-диагностические среды не выявили заражения продуктов микроорганизмами, что показывает их безопасность относительно контаминации продуктов патогенной микрофлорой.

Для анализа выживаемости пробиотических клеток во время хранения, периодически производились высевы в чашки Петри со средой Сабуро, методом разведений. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Выживаемость клеток при их выдерживании в искусственной желудочной среде

№	Исходное количество клеток, внесённое в среду, КОЕ	Время выдерживания, ч	Количество жизнеспособных клеток, КОЕ
1	1*10 ⁹	1	6*10 ⁸
2		2	3*10 ⁸

Таблица 2 – Состав, энергетическая ценность продукта на 100 г и pH сорбетов

Компоненты	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, кДж	Калории, ккал	pH
Сорбет черничный 100 г						
Натуральный йогурт 62,5 см ³	2,8	1,72	10,6	298,1	71,2	4,1
Миндальное молоко 18,75 см ³						
Мёд 6,25 см ³						
Черника 12,5 г						
Мюсли 1 г						
Сорбет вишнёвый 100 г						
Вишня без косточек 87 г	0,7	0,44	20,9	371,8	88,8	3,2
Сахарный песок 11 г						
Лимонный сок 2 см ³						
Вода 2 см ³						

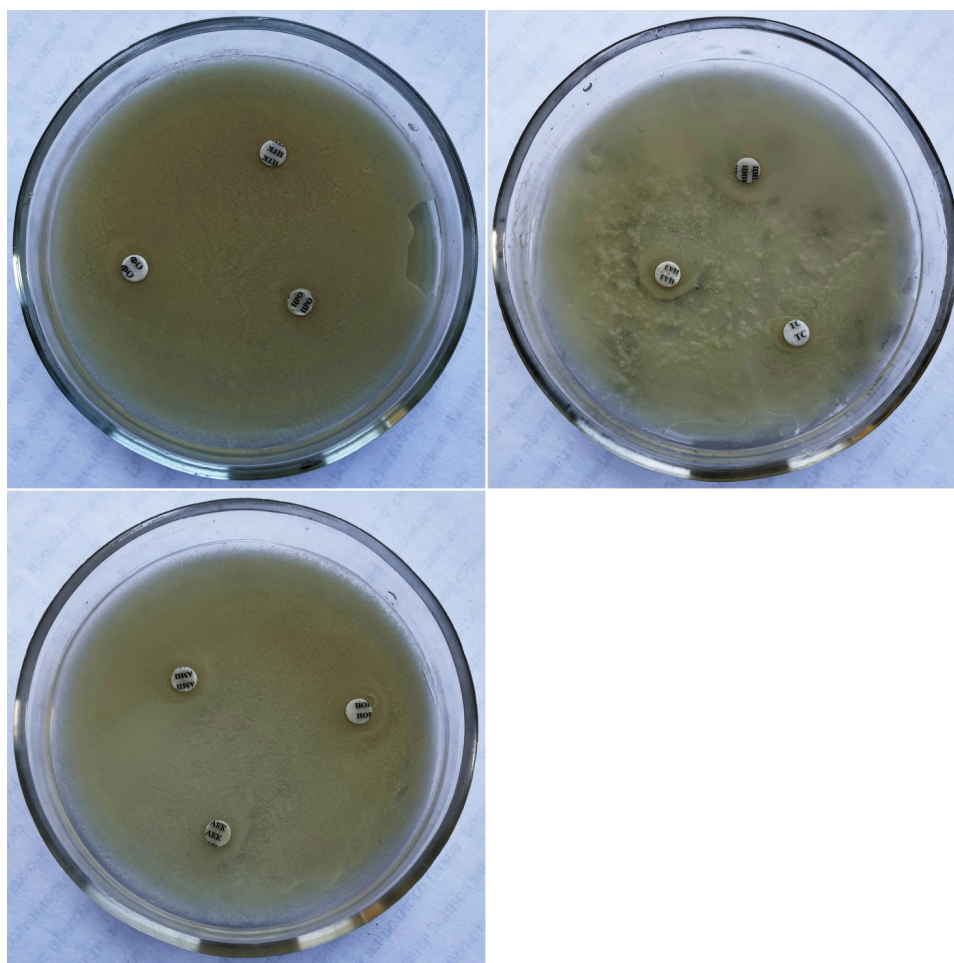


Рисунок 1 – Результаты диско-диффузионного метода определения антибиотика чувствительности

Таблица 3 – Количество жизнеспособных клеток от времени хранения при

Сутки	Количество КОЕ <i>S. boulardii</i> на 1 г								
	1	3	6	9	12	15	18	21	24
Вишневый сорбет	1*10 ⁷	1*10 ⁷	1*10 ⁷	2*10 ⁷	1*10 ⁷	8,7*10 ⁶	7,3*10 ⁶	6,5*10 ⁶	4,9*10 ⁶
Черничный сорбет	1*10 ⁷	2*10 ⁷	1*10 ⁷	1*10 ⁷	2*10 ⁷	1*10 ⁷	7,8*10 ⁶	7,1*10 ⁷	5,8*10 ⁶

Из таблицы видно, что на протяжении 12 дней оба сорбета сохраняют жизнеспособные клетки в исходном количестве, после 15 дней количество жизнеспособных клеток начинает медленно снижаться, при этом, в черничном сорбете снижение происходит медленнее, чем в вишневом. По истечению 24 дней количество жизнеспособных клеток в вишневом сорбете составило 4,9*10⁶ КОЕ/г, а в черничном 5,8*10⁶ КОЕ/г. Результаты эксперимента показали, что сорбет способен длительное время сохранять жизнеспособные клетки, что делает его удачным носителем пробиотической культуры дрожжей.

Для органолептической оценки была привлечена группа независимых экспертов и составлена характеристика продуктов. Вишневый сорбет имел насыщенный вишневый вкус с приятной кислинкой и умеренной сладостью, хорошо освежает. Цвет ярко-красный, консистенция однородная, плотная, обладал легким вишневым запахом. Влияния дрожжей на органолептику не замечено. Черничный сорбет имел нежный сливочный вкус, сочетающийся с черникой, не очень сладкий. Цвет сиреневый, консистенция плотная с небольшими вкраплениями мюслей и обладал легким черничным ароматом. Влияния дрожжей на органолептические показатели продукта не замечено.

Обсуждение. Проведённое исследование показало, что дрожжи *Saccharomyces boulardii* способны выживать в кислотной среде. В искусственной желудочной среде с pH 2 и добавлением пепсина, для имитации пищеварительных ферментов при $t=37^{\circ}\text{C}$ и выдерживании в течение 1 ч количество жизнеспособных клеток снизилось на 40%, при выдерживании в течение 2 ч на 70%. Это также подтвердили Fu J. и др. [21] в своей работе, где показали, что, при выдерживании пробиотика в искусственной желудочной среде, снижение КОЕ *S. boulardii* было небольшим. Данная способность этих дрожжей позволяет проходить им через желудок человека, сохраняя свою жизнеспособность, что является одним из важнейших факторов для пробиотиков, т.к. именно живые микроорганизмы оказывают влияние на организм человека.

Высев *S. boulardii* с индикаторными дисками, содержащими антибиотики: ампициллин, триметоприм/сульфаметоксазол, амоксициллин/клавулановую кислоту, норфлоксацин, ципрофлоксацин, офлоксацин, цефотаксим, цефтриаксон и цефтазидим, не выявил чувствительности этих дрожжей к какому-либо из них. Joseph S. и др. [22] исследовали резистентность данных дрожжей на комплекс антибиотиков состоящий из цефтазидима, коамоксиклава, и цефподоксима, результаты также показали резистентность к этому комплексу. Следовательно, данный штамм дрожжей способен выживать в период антибиотикотерапии с

применением проанализированных антибиотиков, что позволяет использовать его для профилактики и лечения диареи вызванной приёмом этих препаратов, бактериологические пробиотики такой особенностью не обладают, т.к. в качестве пробиотиков запрещено использовать резистентные штаммы бактерий, с целью избежать передачи резистентности другим микроорганизмам. Дрожжи за счет своей природы резистентность не передают. Wieërs G и др. [23] исследовали влияние комплексного приема смеси пробиотиков, в которую входил *S. boulardii* вместе с приёмом антибиотиков, с целью установить, предотвратит ли подобная терапия колонизацию кишечника бактериями с множественной резистентностью. Результаты показали, что прием такого комплекса противодействовал колонизации бактерии *Pseudomonas* кишечника после лечения антибиотиками с 25% до 8,3%.

Расчёт энергетической ценности приготовленных сорбетов показал, что количество калорий в них не превышает 100 ккал на 100г. Так, 71,2 ккал/100 г содержится в черничном сорбете и 88,8 ккал/100 г содержится в вишневом сорбете, что позволяет отнести их к низкокалорийной категории продуктов. Данное свойство позволяет охватить сегмент потребителей, придерживающихся низкокалорийных диет. Отсутствие молока и молочных продуктов в вишневом сорбете дает возможность рекомендовать его людям, страдающим от непереносимости лактозы, также он не содержит ферментативных продуктов, что теоретически способствует продлению сроков годности. Черничный сорбет содержит меньше углеводов (10,6 г/100 г продукта) относительно вишневого (20,9 г/100 г продукта), а сахар заменён мёдом, что делает его менее калорийным.

Результаты эксперимента показали, что сорбет способен сохранять жизнеспособность клеток при хранении при $t=-18^{\circ}\text{C}$, в первые 12 суток в обоих сорбетах масса клеток оставалась в исходном количестве, после чего медленно снижалась. По окончании 24 дней количество жизнеспособных клеток составило 4,9*10⁶ КОЕ/г в вишневом сорбете и 5,8*10⁶ КОЕ/г в черничном. Goktas и др. [19] продемонстрировали на примере мороженого, что при хранении в морозильной камере $t=-18^{\circ}\text{C}$ количество жизнеспособных клеток остаётся на удовлетворительном уровне на протяжении 28 дней. В своей работе Falah F. и др. [24] также использовали мороженое как матрицу для пробиотических бактерий *Lactobacillus brevis* PML1 и инулина. Хранение при $t=-18^{\circ}\text{C}$ обеспечило сохранение клеток на протяжении 150 дней. Добавление инулина не ухудшало выживаемость пробиотика. Sarwar. A. и др. [20] изучали влияние инулина на вы-

живаемость *S. boulardii* в мороженом. Добавление инулина повышало жизнеспособность клеток. Такое мороженое хранилось в течение 120 дней, сохраняя при этом необходимой число клеток пробиотика. Это доказывает, что замороженные продукты, такие как сорбет или мороженое являются хорошей матрицей для переноса пробиотических микроорганизмов. Органолептическая оценка показала, что оба сорбета обладают приятным ягодным вкусом и ароматом. Вишневый имел плотную однородную консистенцию, яркий красный цвет, насыщенный вишневый вкус с приятной кислинкой. Черничный был более нежным и менее сладким, масса однородная с кусочками мяселей, цвет сиреневый. Внесение дрожжей не сказалось на органолептических свойствах продуктов, что является немаловажным фактором, показывающим потенциал использования того или иного организма в качестве компонента продукта.

Высев продуктов на дифференциально-диагностические среды, такие как МРС, ТГС, ПАЛ, Эндо и Сабуро, после стерилизации продуктов и перед внесением пробиотической культуры, не показал обсеменённости продуктов микроорганизмами, что делает его безопасным по отношению к обсеменённости патогенными микроорганизмами.

Результаты проведённых исследований показали, что сорбет является удачным носителем пробиотических дрожжей *S. boulardii*. За счет способа хранения при низких температурах и холодной подачи он способен сохранять жизнеспособность клеток на протяжении длительного времени. Сами дрожжи, внесённые в продукт, не влияют на органолептические показатели. Органолептические показатели продукта являются важными критериями, необходимо их учитывать, т.к. неприятный вкус или запах могут оттолкнуть потребителей, даже если продукт обладает полезными свойствами. Антибиотикоустойчивость данного штамма даёт возможность использовать этот продукт с целью профилактики желудочно-кишечных заболеваний, снижения интенсивности и длительности диареи и ингибирования колонизации кишечника патогенными микроорганизмами в период приёма антибиотиков. Устойчивость *S. boulardii* к условиям желудочной среды способствует выживаемости клеток и позволяет попадать им в кишечник в необходимом количестве и развиваться в нём, проявляя свои полезные свойства.

Выводы. В связи с ростом количества случаев заболеваний желудочно-кишечного тракта у населения и повышением спроса на функциональные продукты актуальным направлением является разработка новых функциональных продуктов. Одним из таких продуктов может быть сорбет обогащённый пробиотическими дрожжами *Saccharomyces boulardii*. Они способны положительно влиять на иммунитет, восстанавливать и обогащать микрофлору кишечника, лечить заболевания желудочно-кишечного тракта. Их устойчивость к антибиотикам позволяет применять эти дрожжи во время антибиотикотерапии. Результаты исследования показали, что они устойчивы

к ампициллину, триметоприму/сульфаметоксазолу, амоксициллину/клавулановой кислоте, норфлоксацину, ципрофлоксацину, офлоксацину, цефотаксиму, цефтриаксону и цефтазидиму. Эксперимент показал, что дрожжи способны выживать в кислотной среде желудка, так, при pH 2 и времени выдержки 1 ч в искусственной желудочной среде выживает 60% жизнеспособных клеток, однако, увеличение выдержки до 2 ч снижает количество жизнеспособных клеток до 30%, но стоит отметить, что пища снижает кислотность желудка, что может увеличить выживаемость клеток. Число калорий на 100 г в обоих сорбетах не превышает 100 ккал, 71,2 ккал в черничном и 88,8 ккал в вишневом сорбете, что позволяет отнести их к низкокалорийным продуктам, это может являться плюсом для некоторых групп потребителей. При хранении сорбетов в морозильной камере при $t = -18^{\circ}\text{C}$, они сохраняют начальное количество жизнеспособных клеток в течение 12 дней ($1 \cdot 10^7$ КОЕ/г), после чего количество живых клеток начинает медленно снижаться. На 24 день количество жизнеспособных клеток в вишневом сорбете составило $4,9 \cdot 10^6$ КОЕ/г, в черничном $5,8 \cdot 10^6$ КОЕ/г, следовательно, черничный сорбет является более удачным носителем пробиотика. Органолептическая оценка не показала никакого влияния дрожжей на вкус, запах или консистенцию продукта. Все вышеперечисленные результаты показывают, что сорбет является удачным носителем дрожжей *S. boulardii*, и может выступать в качестве функционального продукта. Он имеет приятный ягодный вкус, освежает в жаркую погоду, а пробиотические свойства положительно влияют на здоровье человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Chan, M.Z.A. Fortifying foods with synbiotic and postbiotic preparations of the probiotic yeast, *Saccharomyces boulardii* / M.Z.A. Chan, S.Q. Liu // *Current Opinion in Food Science*. – 2022. – № 43. – С. 216-224. – doi: 10.1016/j.cofs.2021.12.009. – EDN VXPYSH.
2. *Saccharomyces boulardii* ameliorates gut dysbiosis associated cognitive decline / R.S. Sarkar, P. Mazumder, K. Chatterjee [и др.] // *Physiol Behav*. – 2021. – № 1. – С. 236. – doi: 10.1016/j.physbeh.2021.113411. – Epub 2021 Mar 31. – PMID: 33811908.
3. Application of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* in food processing: a review / M.A. Lazo-Vélez, S.O. Serna-Saldívar, M.F. Rosales-Medina [и др.] // *J Appl Microbiol*. – 2018. – Т. 4, № 125. – С. 943-951. – doi: 10.1111/jam.14037. Epub 2018 Aug 16. – PMID: 29961970.
4. Probiotics, Nutrition, and the Small Intestine / T.C. Judkins, D.L. Archer, D.C. Kramer, R.J. Solch // *Curr Gastroenterol Rep*. – 2020. – Т. 2, № 22. – С. 13. – doi: 10.1007/s11894-019-0740-3. – PMID: 31930437.
5. Hamza, G. Comparison of functional characteristics of distinct *Saccharomyces boulardii* strains isolated from commercial food supplements / G. Hamza, D. Enes, E. Osman // *LWT*. – 2020. – № 136. – С. 131-140. – doi: 10.1016/j.lwt.2020.110340
6. Staniszewski, A. Probiotic and Potentially Probiotic Yeasts-Characteristics and Food Application / A. Staniszewski, M. Kordowska-Wiater // *Foods*. – 2021. – Т. 6, № 10. – С. 7. – doi: 10.3390/foods10061306. – PMID: 34200217; PMCID: PMC8228341.
7. Efficacy of *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 probiotic drug in the prevention and treatment of diarrhea in hospitalized patients with new coronavirus infection COVID-19 / I.V. Maev, D.N. Andreev, P. S. Sokolov [и др.] // *Ter Arkh*. – 2022. – Т. 10, № 94. – С. 22. – doi: 10.26442/00403660.2022.10.201881. – PMID:

36468990.

8. *Saccharomyces boulardii*: What Makes It Tick as Successful Probiotic? / P. Pais, V. Almeida, M. Yilmaz, M. C. Teixeira // *J Fungi (Basel)*. – 2020. – Т. 2, № 6. – С. 4. – doi: 10.3390/jof6020078. – PMID: 32512834; PMCID: PMC7344949.

9. Therapeutic potential of *Saccharomyces boulardii* in liver diseases: from passive bystander to protective performer? / B. Cui, L. Lin, B. Wang [и др.] // *Pharmacol Res*. – 2022. – № 175. – С. 8. – doi: 10.1016/j.phrs.2021.106022. – Epub 2021 Dec 6. – PMID: 34883213.

10. Клиническая эффективность препаратов на основе пробиотических штаммов *Saccharomyces boulardii* / В.Н. Дроздов, К.И. Арефьев, С.Ю. Сереброва, Е.В. Ших // *Медицинский совет*. – 2020. – № 5. – С. 104-112. – doi: 10.21518/2079-701X-2020-5-104-112. – EDN IDIFVB.

11. Effect of *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 as complementary treatment of *Helicobacter pylori* infection on gut microbiome / P. Cardenas, D. Garcés, B. Prado [и др.] // *European journal of clinical microbiology & infectious diseases: official publication of the European Society of Clinical Microbiology*. – 2020. – № 39. – С. 7. – doi: 10.1007/s10096-020-03854-3

12. In Vitro Assessment of Yeasts Strains with Probiotic Attributes for Aquaculture Use / C.F. Diguță, C. Mihai, R.C. Toma [и др.] // *Foods*. – 2022. – Т. 1, № 12. – С. 26. – doi: 10.3390/foods12010124. – PMID: 36613340; PMCID: PMC9818403.

13. Influence of technological procedures on viability, probiotic and anti-mycotoxin properties of *Saccharomyces boulardii* RC009, and biological safety studies / V.L. Poloni, M.B. Bainotti, L.D. Vergara [и др.] // *Curr Res Food Sci*. – 2021. – Т. 4, № 17. – С. 132-140. – doi: 10.1016/j.crf.2021.02.006. – PMID: 33778773; PMCID: PMC7985476.

14. J International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics / R. Jäger, A.E. Mohr, K.C. Carpenter [и др.] // *J Int Soc Sports Nutr*. – 2019. – Т. 1, № 16. – С. 62. – doi: 10.1186/s12970-019-0329-0. – PMID: 31864419; PMCID: PMC6925426.

15. Topolska, K. Functional Food-Consumer Motivations and Expectations / K. Topolska, A. Florkiewicz, A. Filipiak-Florkiewicz // *Int J Environ Res Public Health*. – 2021. – Т. 10, № 18. – С. 13. – doi: 10.3390/ijerph18105327. – PMID: 34067768; PMCID: PMC8156986.

16. Hodas, F. Moringa oleifera potential as a functional food and a natural food additive: a biochemical approach / F. Hodas, M.R.T. Zorzenon, P.G. Milani // *An Acad Bras Cienc*. – 2021. – Т. 4, № 93. – С. 18. – doi: 10.1590/0001-376520210210571. – PMID: 34706010.

17. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety / D. Granato, F.J. Barba, K.D. Bursac [и др.] // *Annu Rev Food Sci Technol*. – 2020. – № 11. – С. 93-118. – doi: 10.1146/annurev-food-032519-051708. – Epub 2020 Jan 6. – PMID: 31905019.

18. On probiotic yeasts in food development: *Saccharomyces boulardii*, a trend / H. Souza, M. Carosia, C. Pinheiro [и др.] // *Food Science and Technology*. – 2021. – № 42. – С. 6. – doi: 10.1590/fst.92321.

19. Characteristics of functional ice cream produced with probiotic *Saccharomyces boulardii* in combination with *Lactobacillus rhamnosus* GG / H. Goktas, H. Dikmen, H. Bekiroglu [и др.] // *LWT*. – 2022. – Т. 1, № 153. – С. 8. – doi: 10.1016/j.lwt.2021.112489.

20. Characterization of synbiotic ice cream made with probiotic yeast *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 in combination with inulin / A. Sarwar, T. Aziz, S. Al-Dalali [и др.] // *LWT*. – 2021. – № 141. – С. 5. – doi: 10.1016/j.lwt.2021.110910.

21. Unique Probiotic Properties and Bioactive Metabolites of *Saccharomyces boulardii* / J. Fu, J. Liu, X. Wen [и др.] // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. – 2022. – № 34. – С. 11. – doi: 10.1007/s12602-022-09953-1. – Epub ahead of print. – PMID: 35608794.

22. Revealing antibiotic resistance in therapeutic and dietary probiotic supplements / J. Selvin, D. Maity, A. Sajayan, G.S. Kiran // *J Glob Antimicrob Resist*. – 2020. – № 22. – С. 202-205. – doi: 10.1016/j.jgar.2020.02.007. – PMID: 32084605.

23. Do Probiotics During In-Hospital Antibiotic Treatment Prevent Colonization of Gut Microbiota With Multi-Drug-Resistant Bacteria? A Randomized Placebo-Controlled Trial Comparing *Saccharomyces* to a Mixture of *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, and *Saccharomyces* / G. Wieërs, V. Verbelen, M. Van Den Driessche [и др.] // *Front Public Health*. – 2021. – № 8. – С. 10.

– doi: 10.3389/fpubh.2020.578089. – PMID: 33763399; PMCID: PMC7982943.

24. Production of synbiotic ice-creams with *Lactobacillus brevis* PML1 and inulin: functional characteristics, probiotic viability, and sensory properties / F. Falah, Z. Zareie, A. Vasice [и др.] // *Journal of Food Measurement and Characterization*. – 2021. – № 15. – С. 1-10. – doi: 10.1007/s11694-021-01119-x.

Статья поступила в редакцию 25.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 664

EDN: EBPZMN

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВНЕШНЕГО ВИДА
ТВОРОГА, ПОЛУЧЕННОГО В УСТАНОВКЕ ИНДУКЦИОННОГО ТИПА
ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 6549-7505

AuthorID: 999870

ORCID: 0000-0002-6416-4122

ResearcherID: O-8306-2017

ПОРОХНОВ Андрей Николаевич, директор ДНК им. П.А. Чихачева

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: porohnov@gmail.com)

SPIN: 4942-3765

AuthorID: 1189520

ORCID: 0009-0007-1634-4085

РУДНЕВ Павел Сергеевич, магистрант института фундаментальных наук

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: pavsergrud@yandex.ru)

SPIN: 7763-0140

AuthorID: 661557

ORCID: 0000-0001-6393-1898

ScopusID: 57194225144

НИКОЛАЕВА Елена Владимировна, кандидат физико-математических наук,

руководитель ДНК им. П.А. Чихачева

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: nevket@yandex.ru)

SPIN: 8227-2844

AuthorID: 542534

ORCID: 0000-0002-3536-562X

ResearcherID: L-2204-2016

ScopusID: 57041280000

МИЛЕНТЬЕВА Ирина Сергеевна, доктор технических наук, доцент,

заведующая кафедрой бионанотехнологии

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: irazumnikova@mail.ru)

SPIN: 7351-6740

AuthorID: 646423

ORCID: 0000-0002-3542-786X

ResearcherID: H-3524-2017

ScopusID: 57205447914

НЕВЕРОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой техносферной безопасности института инженерных технологий

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, 6, e-mail: neverov42@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются этапы проектирования и испытания прототипа системы компьютерного зрения для исследования внешнего вида пищевых продуктов после термической обработки в установке индукционного типа. В ходе выполнения работы выбраны оптимальные параметры съемки, произведена калибровка системы компьютерного зрения в разных цветовых пространствах и диапазонов значений его характеристик. Установлено что для анализа фотографических изображений образцов творога необходимо проводить фотографирование при следующих параметрах съемки: освещённость 28 lx и разрешение 0.9 MP, так как они имеют более высокую детализацию и обрабатываются программой быстрее, чем снимки более высокого разрешения, полученные с другими параметрами. В этом исследовании была разработана система компьютерного зрения для измерения цвета пищевых продуктов в качестве альтернативы обычным фотоколориметром. Система позволяет анализировать внешний вид, цвет пищевых продуктов, что подходит для исследования качества продукции в пищевой инженерии.

Ключевые слова: компьютерное зрение, цифровая камера, цветовые модели, анализ изображений, индукционный нагрев, оценка качества продукта.

**DEVELOPMENT OF COMPUTER VISION SYSTEM FOR ANALYSIS OF APPEARANCE
OF CURD, PRODUCED BY INDUCTION TYPE FACILITY FOR
FOOD RAW MATERIALS THERMAL PROCESSING**

© The Author(s) 2023

POROKHNOV Andrey Nikolaevich, director of DNA P.A. Chikhachev
RUDNEV Pavel Sergeevich, master's student at the Institute of Fundamental Sciences
NIKOLAEVA Elena Vladimirovna, candidate of physical and mathematical sciences,
head of DNA P.A. Chikhachev

MILENTYEVA Irina Sergeevna, doctor of technical sciences, associate professor,
head of the Department of Bionanotechnology

NEVEROV Evgeniy Nikolaevich, doctor of technical sciences, доцент,
head of the Department of Technosphere Safety of the Institute of Engineering Technologies
Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya Street 6, e-mails: porokhnov@gmail.com, pavsergrud@yandex.ru,
nevkem@yandex.ru, irazumnikova@mail.ru, neverov42@mail.ru)

Abstract. The article discusses the stages of designing and testing a prototype of a computer vision system for studying the appearance of food products after heat treatment in an induction-type installation. In the course of the work, optimal shooting parameters were selected, the computer vision system was calibrated in different color spaces and ranges of values of its characteristics. It was found that for the analysis of photographic images of cottage cheese samples, it is necessary to take photographs with the following shooting parameters: illumination 28 lx and resolution 0.9 MP, since they have higher detail and are processed by the program faster than higher-resolution images obtained with other parameters. In this study, a computer vision system was developed to measure the color of food products as an alternative to a conventional photocolimeter. The system allows you to analyze the appearance, color of food products, which is suitable for product quality research in food engineering.

Keywords: computer vision, digital camera, color models, image analysis, induction heating, product quality assessment.

Для цитирования: Порохнов А.Н. Разработка системы компьютерного зрения для анализа внешнего вида творога, полученного в установке индукционного типа для термической обработки пищевого сырья / А.Н. Порохнов, П.С. Руднев, Е.В. Николаева, И.С. Миленьева, Е.Н. Неверов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 112-120. – EDN: EBPZMH.

Введение. В связи повышением вычислительных мощностей, развитием компьютерных технологий, усовершенствованием технических устройств, появлением технологии глубокого машинного обучения, увеличением разрешительной способностей видео и фотокамеры и других ее характеристик, системы компьютерного зрения все чаще встраиваются в различные отрасли деятельности человека. В медицинской сфере важную роль имеет заключение врача, быстрая постановка диагноза и своевременное принятие соответствующего решения – от этого зависит здоровье пациента. Поэтому данная технология применяется для повышения точности диагностики заболевания при анализе рентгеновских снимков, снимков МРТ, КТ и УЗИ [1, 2], а также в качестве системы поддержки принятия врачебного решения [3, 4]. Компьютерное зрение является важной частью беспилотных летательных аппаратов и беспилотных автомобилей. С помощью видеокамеры и анализа изображений фиксируются правонарушения. Технологии компьютерного зрения в промышленности могут быть использованы в качестве управления и контроля за производственными процессами [5, 6]. Например, в сельском хозяйстве компьютерное зрение может быть применено для выявления заболеваний у растений [7, 8], для оценки зрелости фруктов, овощей и ягод, их

обнаружения и сбора [9-11].

Внедрение инновационных технологий в пищевую промышленность сможет повысить конкурентоспособность, эффективность, качество продукции, снизить затраты, автоматизировать и модернизировать производство.

Системы компьютерного зрения (СКЗ) в пищевой инженерии могут быть использованы для оценки качества продукта. В работе [12] были разработаны два подхода к распознаванию естественной порчи меда: подход с использованием вольтамперометрического метода и метод компьютерного зрения, основанный на анализе цвета образца. В обоих случаях были проанализированы одни и те же образцы, приготовленные путем растворения натурального меда в дистиллированной воде и пробы, разбавленные с добавлением синтетического меда. Было показано, что пищевая фальсификация влияет на цвет продукта и классический электронный язычок можно успешно заменить компьютерным зрением. Данный подход – удобный и быстрый, не требует использования оборудования, реагентов или растворителей и лабораторных методов работы, типичных для аналитической химии. Prashant Saurabh Minz, Charanjiv Singh Saini [13] показали, что при анализе цвета сыра СКЗ, может использоваться в качестве экономичной альтернативы цветному спектрофотометр, а также

ее преимуществом является возможность анализа большой площади образца. Цвет продукта является не только показателем фальсификации или порчи продукта, но и может указывать на длительность условий хранения, а также срока годности, что делает продукт неприемлемым для продажи и потребления. В [14,15] были сравнены результаты СКЗ и колориметра на предмет их способности измерять цвет молока, молочных продуктов и мяса. Было показано, что цвета, полученные СКЗ, более похожи на цвет образца, визуализируемого на мониторе, по сравнению с цветом, генерируемым колориметром, и измерение цвета с помощью СКЗ было признано надежным превосходным инструментом для замены традиционных устройств. С помощью СКЗ можно осуществлять мониторинг и управление в режиме реального времени, например, при термической обработке сырья [16].

Поводя заключение в вышеизложенному можно сделать вывод о том, что СКЗ отличаются экономичностью и высокой скоростью анализа исследуемого образца. В отличие от метода спектроскопии, метод компьютерного зрения позволяет анализировать вкрапления в исследуемом образце, тогда как спектроскопия позволяет только анализировать вещество в целом. Также СКЗ позволяют исключить вероятность ошибки в оценке со стороны человека. В сочетании с механическими манипуляторами СКЗ может составлять автоматизированную систему, позволяющую не только анализировать объект, но и принимать решения на основе полученных в ходе анализа данных и совершать манипуляции над исследуемыми образцами, при этом исключая вмешательство человека.

Методология. Целью данной работы является разработка системы компьютерного зрения для исследования внешнего вида пищевых продуктов после термической обработки в установке индукционного типа.

В качестве объектов исследования для тестирования прототипа СКЗ по функциональным параметрам использовали образцы творога трёх различных видов. Для получения творога было выбрано сырое молоко с разной массовой долей жира: образец 1: 3,6%, образец 2: 4,5%, образец 3: 5,6%. Получения творога проводили в установке индукционного типа для термической обработки сырья.

Индукционный нагрев в настоящее время находит широкое применение в пищевой промышленности, медицине и демонстрирует преимущества высокой энергоэффективности, быстрого нагрева, безопасности, чистоты и точного контроля температуры обрабатываемого сырья [17-21].

Как бесконтактный метод прямого нагрева материала индукционный нагрев основан на джоулевом нагреве и магнитном гистерезисе. Эти два механизма вызывают нагрев за счет неравномерного распределения тока в области проводящего материала за счет образования переменного магнитного поля.

Внешний вид разработанного устройства индукционного типа представлен на рисунке 1а. Алгоритм работы устройства: с панели управления задаются значения температуры пастеризации, скорость вращения мешалки, мощность индукционного нагрева и его продолжительность. Напряжение необходимое для питания основных элементов установки и электродвигателя задается регулятором напряжения.

На рисунке 1б изображена емкость для сырья с ферромагнитными накладками и расположенными вокруг нее индукторами. Катушки индуктивности выполнены в виде спирали из литцендрата и повторяют контур поверхности стенок емкости. Данное расположение проводника обусловлено тем, что силовые линии переменного магнитного поля не пронизывают его тем самым, уменьшается явление самонагрева индуктора.

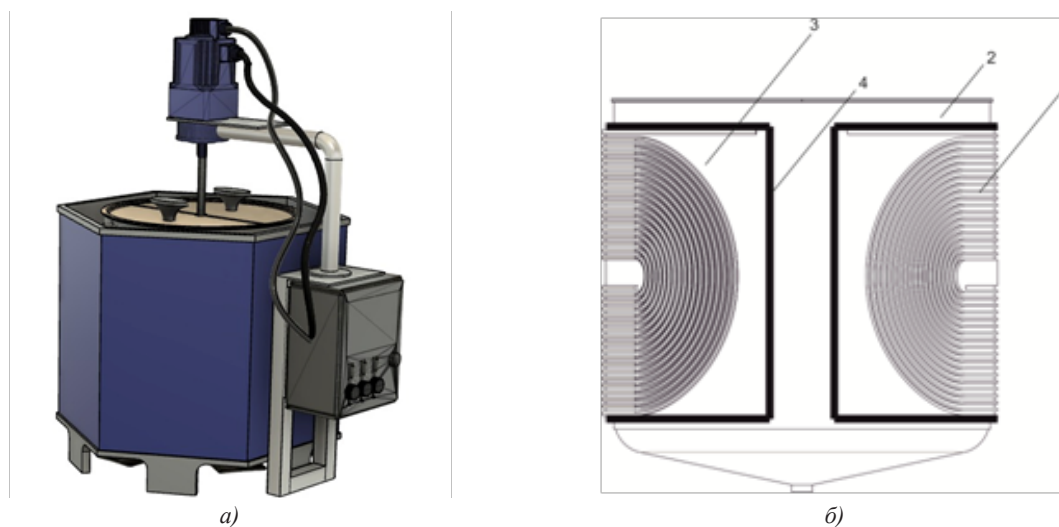


Рисунок 1 – а) Устройство индукционного типа для термической обработки пищевого сырья; б) Схематическое изображение емкости с расположенными вокруг индукторами: 1 – индуктор, 2 – емкость для сырья, 3 – каркас индуктора из полимерного материала, 4 – накладки из ферромагнитного материала

Задачи научно-исследовательской работы состоят в следующем:

1. Спроектировать и разработать прототип СКЗ для анализа пищевых продуктов.
2. Выбрать оптимальные параметры съемки, произвести калибровку СКЗ в разных цветовых пространствах и диапазонов значений его характеристик.
3. Провести серию экспериментов по анализу внешнего вида образцов творога и проанализировать полученные результаты.

Разрабатываемый прототип СКЗ состоит из следующих элементов: цифровой видеокамеры, контейнера для помещения и съёмки образцов, источников света, микрокомпьютера с *HDMI* дисплеем в оригинальном корпусе и программного обеспечения. Для получения изображений образцов выбрана цифровая видеокамера *Microsoft LifeCam Studio*, позволяющая делать снимки в различных разрешениях (максимальное – 1920x1080p) и имеющая простую структуру, низкую потребляемую мощность, высокую устойчивость к шуму и высокой температуре.

Контейнер для съёмки образцов (прототип изображен на рисунке 2а габаритами 22x22x23 см обеспечивает неизменное расположение видеокамеры относительно поля для образцов, поддержание постоянного освещения образцов. Поле для образцов является дном выдвижного ящика, располагающегося под смотровым окном в передней стенке контейнера.

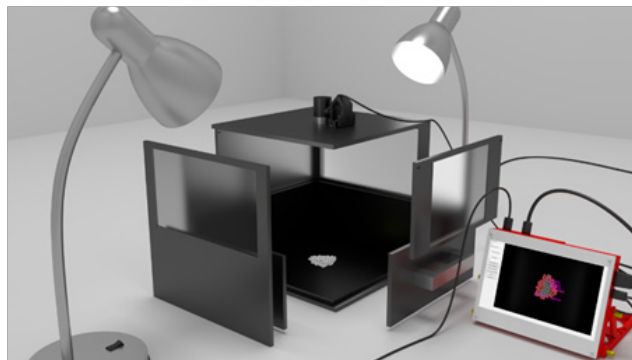
В боковых стенках контейнера проделаны окна с вынимаемыми матовыми стёклами, обеспечивающие проникновение рассеянного света от двух одинаковых ламп, находящихся за пределами контейнера. Сверху контейнер закрывается крышкой, на которой в геометрическом центре проделано круглое отверстие диаметра для видеокамеры *Microsoft LifeCam Studio*. Схематичное изображение СКЗ приведено на рисунке 2 б.

Для управления СКЗ используется микрокомпьютер *Raspberry Pi 4 B+* с операционной системой *Raspberry Pi OS*. Обработываемая информация отображается на жидкокристаллическом сенсорном экране.

Микрокомпьютер и экран помещены в корпус. Программа для считывания, анализа и обработки фотографических изображений, исследуемых образцов написана на языке программирования *Python*, совместима как с ОС *Windows*, так и с *Raspberry Pi OS (Linux)*. Она записывает введённые пользователем данные о текущем сеансе измерений, выполняет поиск пикселей, характеристики H , S и V которых входят в прописанные диапазоны, обводит контурами скопления подходящих пикселей, наносит контура с подписями на изображение и выводит его на экран. Программа строит гистограммы HSV для каждого контура и записывает максимумы H , S , V в таблицу. Оконный интерфейс программы представлен на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 2 – а) Прототип СКЗ; б) Наглядное изображение СКЗ

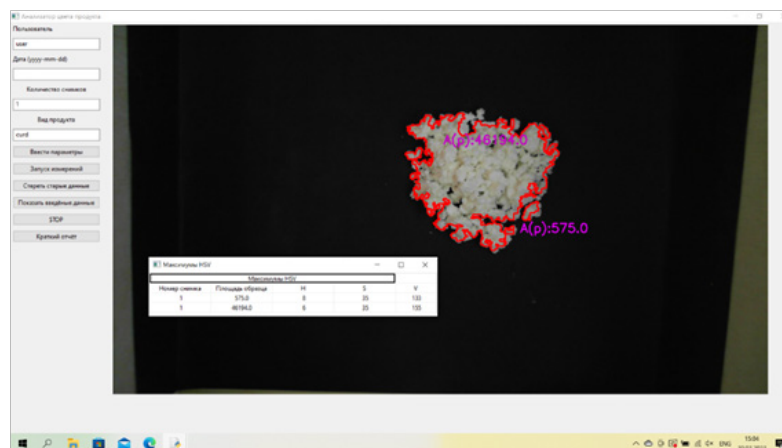


Рисунок 3 – Оконный интерфейс программы СКЗ

Алгоритм работы программы: программа выводит на экран основное окно, пользователь вводит параметры измерений (количество снимков, название продукта, имя пользователя), программа считывает текущую дату, при правильном вводе всех параметров программа всплывающим окном сообщает об успешном вводе данных и сохраняет их в файл. Далее программа начинает делать снимки с помощью камеры, находить на них все контуры объектов по диапазону цветов, обводить их красным или фиолетовым цветом в зависимости от диапазона *HSV* и подписывать их площади в пикселях на фотографии. Значения количества объектов (контуров) и момента времени (в секундах), максимумы параметров *HSV* для каждого контура, а также номер кадра с данным контуром и площадь контура в пикселях записываются в файлы. В виде графических изображений сохраняются гистограммы *HSV* каждого контура. Все считанные и вычисляемые данные в режиме реального времени выводятся на экран. Цикл работы программы заканчивается при совпадении номера текущего кадра с количеством снимков, заданной пользователем. После окончания работы программы генерируется отчёт в формате *DOCX*, содержащий введённые и измеренные данные с пояснениями.

Рассмотрим подробно алгоритм обработки изображения программой. Получив фотографию в формате *RGB* с цифровой видеокамеры, программа переводит её в формат *HSV*. Затем всем пикселям изображения, параметры *H*, *S*, *V*, которые не входят в заданные диапазоны, присваивается чёрный цвет, а пикселям, параметры которых входят в заданные диапазоны, присваивается белый. Так создаётся маска изображения для последующего определения на нём отдельных объектов. Однако библиотека *OpenCV-Python* позволяет находить контуры объектов только по диапазону оттенков серого цвета в цветовом пространстве *grayscale*. Поэтому полученная маска совмещается с изначально полученным изображением (белые пиксели заменяются соответствующими пикселями оригинального изображения) и затем переводится из формата *RGB* (маска совмещается с оригиналом в *RGB*) в формат *grayscale*. Далее по диапазону оттенков серого в *grayscale* создаётся маска изображения по тому же принципу. После этого программа создаёт маски для каждой группы пикселей, имеющих общий контур и достаточно большую площадь. Так на изображении выделяются отдельные объекты. По полученным маскам отдельных объектов на оригинальное изображение накладываются контуры с подписями их площадей. Площадь каждого контура всегда индивидуальна (вероятность нахождения объектов с абсолютно одинаковыми площадями крайне мала), поэтому она является хорошей отличительной характеристикой контура. Алгоритм на рисунке 4 иллюстрирует процесс определения качества творога по его цветовым характеристикам.

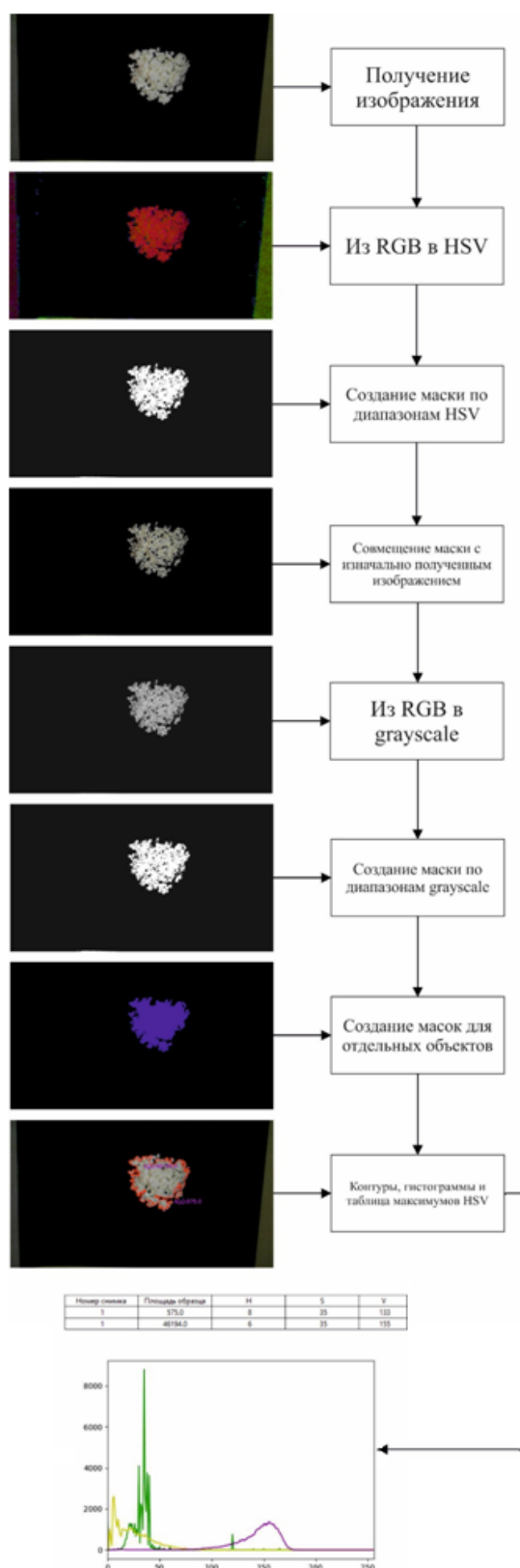


Рисунок 4 – Алгоритм обработки изображения

Результаты. Подбор освещения образцов и разрешения съёмки. Оптимальное освещение исследуемых образцов необходимо для качественного анализа цветовых характеристик исследуемых образцов. От освещения зависит яркость полученных снимков, а значит, и диапазоны *HSV*, соответствующие цветовой

гамме образцов. Также яркость освещения влияет на детализацию изображения: свет слишком низкой или высокой яркости может скрыть, например, зерновую структуру творога. Разрешение съёмки влияет не только на качество полученных фотографий, но и на их цветовую гамму.

Кроме того, чем ниже разрешение снимка, тем меньше памяти и времени программа СКЗ затратит на его обработку.

Для нахождения оптимальных освещения образцов и разрешения съёмки камеры были сделаны снимки с освещённостью 28,5 lx и 58,5 lx, и с разрешением съёмки 0.3 MP (640x480p), 0.9MP

(1280x720p), 2 MP (1920x1080p). В результате подбора оптимальных характеристик выяснено, что наилучшая освещённость – 28 lx, так как более яркое освещение (58,5 lx) не позволяет отснять структуру творога. Оптимальным разрешением является 0.3 MP, так как при съёмке в таком разрешении камера не делает снимки с искажённо высокой яркостью, тогда как при съёмке в большем разрешении (0.9 MP, 2 MP) яркость нескольких последовательно сделанных снимков значительно различается и только некоторые из них подходят для анализа программой СКЗ. На рисунке 5 показаны последовательно сделанные снимки образца творога.

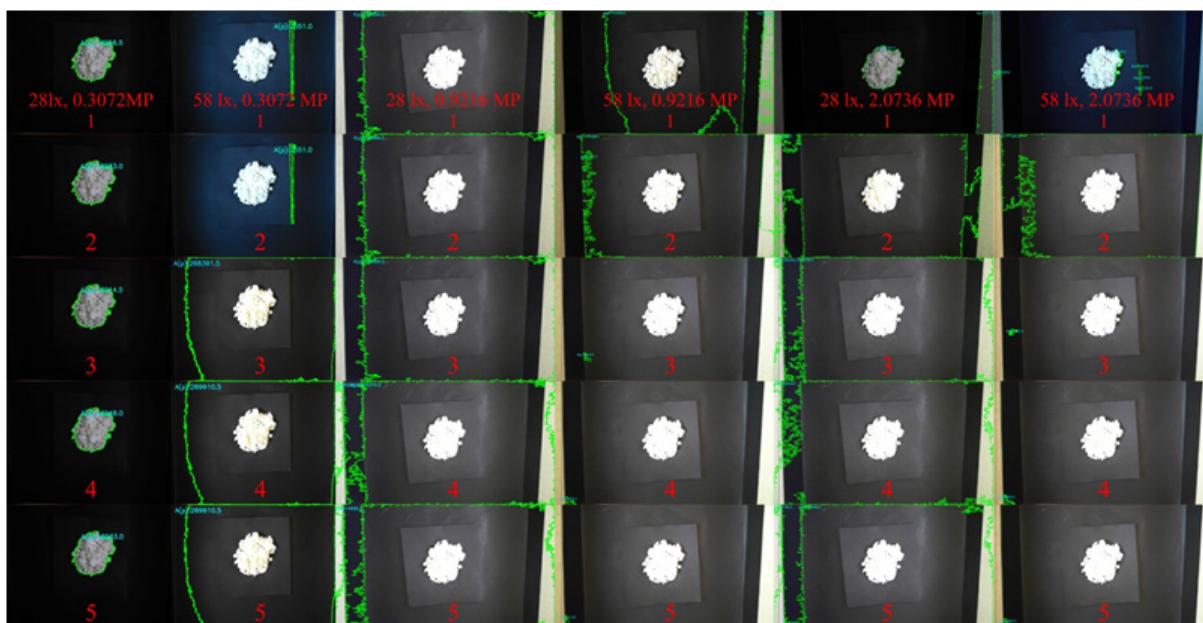


Рисунок 5 – Последовательности снимков с различными параметрами освещённости и разрешения

Калибровка измерения размеров образцов. Калибровка СКЗ производилась с помощью сравнения размеров образца творога и эталонного объекта (круг) с известными размерами. Площадь круга в квадратных сантиметрах вычислены из его диаметра, затем площадь круга в пикселях переведена в квадратные сантиметры. Таким образом, СКЗ достаточно точно определяет размеры объектов в поле для образцов. При этом была учтена высота образца творога: ту же высоту имеет и эталонный круг (рис. 6).

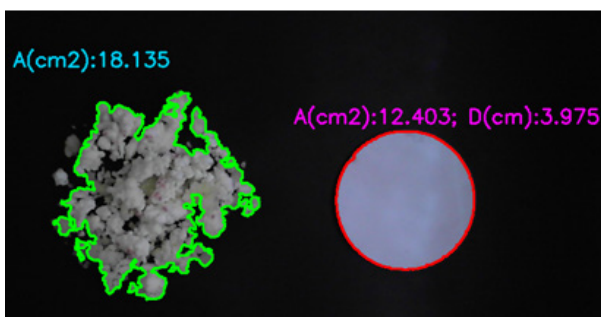


Рисунок 6 – Обработанный калибровочный снимок

Эксперимент. Чтобы оценить работу СКЗ про-

ведена оценка внешнего вида трех образцов творога, получены гистограммы в цветовом пространстве *HSV*, определены значения диапазона сегментированного контура с течением времени (времени хранения творога трое суток). Также измерены массы образцов в интервале в трое суток. На рисунке 7 приведены обработанные СКЗ фотографии образцов творога и гистограммы *HSV* обнаруженных контуров.

Первые три снимка на рисунке 7 сделаны в начальный момент времени и показывают три различных вида творога. Под снимками показаны гистограммы *HSV* контуров наибольшей площади на соответствующих снимках (площадь указана в пикселях). Горизонтальная ось на гистограммах отображает значения параметров *H*, *S*, *V*, вертикальная ось отвечает за количество пикселей в контуре, имеющих соответствующее значение одного из трёх параметров цветового пространства *HSV*. Ниже на рисунке 7 расположены снимки тех же образцов, сделанные через трое суток после съёмки первых фотографий. Под ними аналогично расположены гистограммы наибольших контуров. Помимо обводки

обнаруженных контуров зелёным цветом, программа СКЗ удаляет область, не содержащую контуры с пикселями заданных диапазонов H , S , V , обрамляя

область с найденными контурами многогранником. Это позволяет удалить из кадра лишнюю область, не представляющую интереса для анализа.

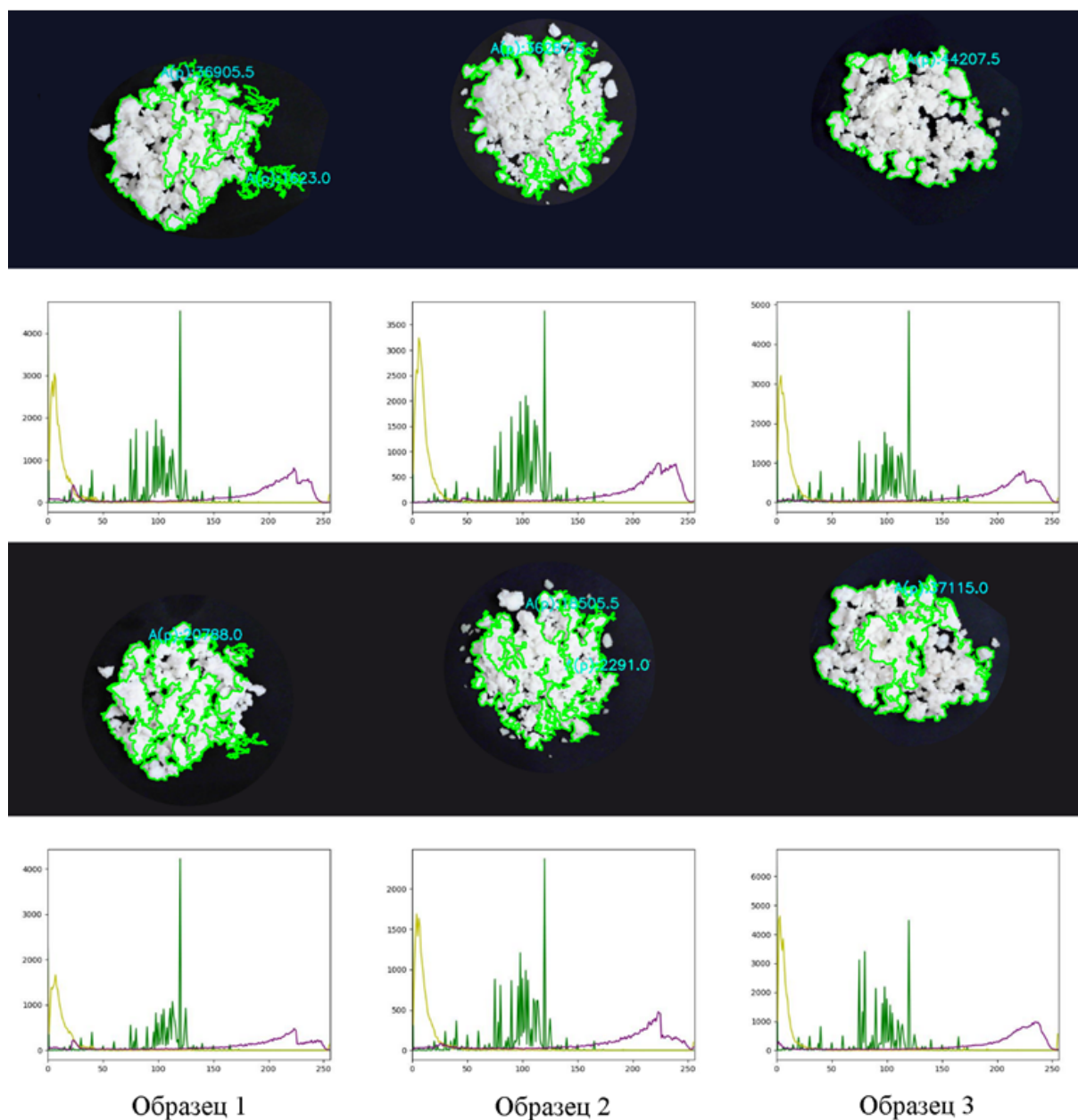


Рисунок 7 – Снимки образцов и их гистограммы

Обсуждение. Проанализировав последовательности снимков (рис. 5), видно, что оптимальным является ряд с освещённостью и разрешением 28lx, 0.3 MP соответственно. Все 5 полученных изображений не имеют завышенную яркость и значительно не отличаются друг от друга. На каждой фотографии этого ряда СКЗ правильно определяет контуры образца творога. Освещение 58lx при том же разрешении является слишком ярким: менее чётко различается зернистая структура творога, первые 2 снимка отличаются по цветовой гамме от трёх следующих. Те же проблемы имеют и снимки в других последовательностях. В ряду снимков с

освещённостью и яркостью 28 lx, 2 MP только первый кадр отображает структуру творога с нужной яркостью и детализацией, за счёт чего образец правильно идентифицирован программой.

При анализе образцов творога используются снимки с освещённостью 28 lx и разрешением 0.9 MP, так как они имеют более высокую детализацию, чем снимки меньшего разрешения и обрабатываются программой быстрее, чем снимки более высокого разрешения.

Из построенных гистограмм (рис. 7) программа СКЗ определила максимумы HSV для каждого образца. Они приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Время эксперимента	№ образца	Площадь (р)	Hmax	Smax	Vmax	Масса (г)
1 сутки	1	36905,5	8	120	223	11,5
	2	36287,5	6	120	223	9,8
	3	44207,5	7	120	223	10,8
3 сутки	1	20788	10	120	223	9,65
	2	20796,5	4	120	223	8,25
	3	37115	5	120	234	9,3

Проведённый визуальный анализ показал, что гистограммы *HSV* для образцов творога различных сортов не претерпели значительных изменений. За срок в трое суток при требуемых условиях хранения (температура 4°C) массы образцов творога уменьшились за счёт потери влаги, в следствии того же уменьшились и площади образцов.

Выводы. В этом исследовании был спроектирован и разработан прототип системы компьютерного зрения для измерения цвета пищевых продуктов с возможностями, недоступными для других методов, а именно, анализ образцов пищевых продуктов с неоднородными цветами, формами и поверхностями.

Выбраны оптимальные параметры съёмки, произведена калибровка СКЗ в разных цветовых пространствах и диапазонов значений его характеристик. В ходе работы получены гистограммы в цветовом пространстве *HSV*, определены значения диапазона сегментированного контура исследуемого пищевого продукта.

Из результатов экспериментов по анализу внешнего вида образцов творога установлено, что оптимальным разрешением является 0,9 МР и освещённость 28 lx, так как при съёмке с этими параметрами СКЗ делает фотографические изображения, не искажённые высокой яркостью. Тогда как при съёмке с другим разрешением яркость нескольких последовательно сделанных снимков значительно различается и только некоторые из них подходят для анализа программой СКЗ.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе ФГБОУ ВО «КемГУ».

Статья публикуется при поддержке гранта Фонда Содействия Инновациям, контракт № 4671ГС1/78266.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Самбурский С.Е., Сергунова К.А. Московский эксперимент по компьютерному зрению в лучевой диагностике. *Московская медицина*. – 2020;10:32-9.
- Данилов В.В., Гергет О.М., Скирневский И.П., Манаков Р.А., Колпациков Д.Ю. Сегментация на основе распространения динамически изменяемых суперпикселей // Программирование. – 2020. – № 3. – С. 3-15.

- Sutton, R.T., Pincock, D., Baumgart, D.C. et al. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success // *npj Digital Medicine*. – 2020. – V. 3. – № 17.

- Карпов О.Э., Бронов О.Ю., Капнинский А.А., Павлович П.И., Абович Ю.А., Субботин С.А., Соколова С.В., Рычагова Н.И., Милова А.В., Никитин Е.Д. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «Цель» и врачей-рентгенологов // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. – 2021. – Т. 16. – № 2. – С. 86-92.

- Котов В.А. Система инспекции наполненности тары, используя компьютерное зрение // *Colloquium-Journal*. – 2019. – № 13-2(37). – С. 84-90.

- Villalba-Diez J., Schmidt D., Gevers, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz M., Wellbrock, W. Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0. // *Sensors*. – 2019. – № 19: 3987.

- Mohanty S.P., Hughes D.P., Salathé M. Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection // *Front. Plant Sci*. – 2016. – V. 7:1419..

- Oppong S.O., Twum F., Ben Hayfron-Acquah J., Missah Y.M. A novel computer vision model for medicinal plant identification using log-gabor filters and deep learning algorithms // *Comput Intell Neurosci*. – 2022. – V. 2022:1-21.

- Saikumar A., Nickhil C., Badwaik L.S. Physicochemical characterization of elephant apple (*Dillenia indica* L.) fruit and its mass and volume modeling using computer vision // *Scientia Horticulturae*. – 2022. – V. 314.

- Dairath M.H., Akram, M. W., Mehmood K.A., Sarwar H.U., Akram M.Z., Omar M. M., Faheem M. Computer vision-based prototype robotic picking cum grading system for fruits // *Smart Agricultural Technology*. – 2023. – V. 4.

- Chakraborty S.K., Subeesh A., Dubey K., Jat D., Chandel N.S., Potdar R., Gowripathi N.R.N.V., Kumar D. Development of an optimally designed real-time automatic citrus fruit grading-sorting machine leveraging computer vision-based adaptive deep learning model // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2023. – V. 120.

- Wójcik S., Ciepiela F., Jakubowska M. Computer vision analysis of sample colors versus quadruple-disk iridium-platinum voltammetric e-tongue for recognition of natural honey adulteration // *Measurement*. – 2023. – V. 209.

- Minz P.S., Saini C.S. Comparison of computer vision system and colour spectrophotometer for colour measurement of mozzarella cheese // *Applied Food Research*. – 2021. – V. 1. – № 2.

- Milovanovic B., Tomovic V., Djekic I., Miocinovic J., Solowiej B.G., Lorenzo J.M., Barba F.J., Tomasevic I. Colour assessment of milk and milk products using computer vision system and colorimeter // *International Dairy Journal*. – 2021. – V. 120.

- Tomasevic I., Tomasevic V., Milovanovic B., Lorenzo J., Đorđević V., Karabasil N., Djekic I. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties // *Meat Science*. – 2019. – V. 148. – P. 5-12.

- Chakravartula S.S.N., Bandiera A., Nardella M., Bedini G., Ibba P., Massantini, R., M., Moscetti, R. Computer vision-based smart monitoring and control system for food drying: A study on carrot slices // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2023. – V. 206.

- Prosekov A.Yu., Vasilchenko I.L., Osintsev A.M., Bragin-

sky V.I., Gromov E.S., Vasilchenko N.V. Impact of non-contact electromagnetic radiation on living organs and tissues // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2022. – V. 17. – № 13. – Pp. 1351-1357.

18. Каунова Л.М. Обоснование конструктивных параметров индукционного нагревателя для пастеризации молока // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 3(112). – С.141-148

19. Başaran A., Yilmaz T., Çivi C. Energy and exergy analysis of induction-assisted batch processing in food production: a case study-strawberry jam production // J Therm Anal Calorim. – 2020. – Vol. 140. – P. 1871–1882.

20. Wang G., Wan Z., Yang X. I Induction heating by magnetic microbeads for pasteurization of liquid whole eggs // Journal of Food Engineering. – 2020. – V. 284.

21. Соловьёв С.В., Морозов В.В., Радкевич Е.В., Карташов Л.П., Макаровская З.В. Обоснование параметров конструктивных элементов индукционного нагревателя для пастеризации молока в потоке // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (75). – С. 100-103.

Статья поступила в редакцию 16.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 67.05

EDN: FMOTXE

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

© Автор(ы) 2023

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)*

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: xenian13@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)*

Аннотация. В статье приведена оценка работы сложных технических систем, наряду с известными показателями надежности, доказана целесообразность использования дополнительных показателей, характеризующих эффективность функционирования фасовочно-упаковочного оборудования. По данным эксплуатации фасовочно-упаковочного автомата модели М6-ОРК-1 проведена вероятностная оценка возникновения сбоев и дефектов во время рабочего цикла автомата, построены матрицы возможных состояний автомата. Приведена методика оценки функциональной эффективности многооперационной технической системы на основе результатов расчета вероятностей состояний технологических операций, выполняемых фасовочно-упаковочным автоматом. Определены операции рабочего цикла автомата для упаковки пастообразных пищевых продуктов, при осуществлении которых возможно появление сбоев и дефектов. Дан пример определения показателя эффективности по данным эксплуатации автомата на основе расчета вероятностей состояний по дефектам и сбоям, возникающим во время выполнения операций, проведено его сравнение с показателем базового образца и выявлены механизмы для дополнительной подналадки автомата.

Ключевые слова: многооперационная техническая система, фасовочно-упаковочный автомат, показатель эффективности функционирования, вероятность состояний.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

© The Author(s) 2023

SARAFANKINA Elena Aleksandrovna, master, senior lecturer of the department “Food production”*Penza State Technological University**(440028, Russia, Penza, pr. Baidukova/Gagarin st. 1a/11, e-mails: satel18@mail.ru)***MURASHKINA Oxana Aleksandrovna**, master, senior lecturer of the department of “Food production”*Penza State Technological University**(440028, Russia, Penza, pr. Baidukova/Gagarin st. 1a/11, e-mail: xeniam13@yandex.ru)***AVROROV Valery Aleksandrovich**, doctor of technical sciences, professor of the department of “Food production”*Penza State Technological University**(440028, Russia, Penza, pr. Baidukova/Gagarin st. 1a/11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)*

Abstract. The article presents a methodology for evaluating the functional efficiency of a multi-operational technical system based on the results of calculating the probabilities of the states of technological operations performed by a filling and packaging machine. The operations of the working cycle of the machine for packaging pasty foods, during which failures and defects may occur, are determined. An example of determining the efficiency indicator based on the operation data of the machine is given and its comparison with the indicator of the base sample is carried out.

Keywords: complex technical system, filling and packaging machine, performance indicator of functioning, probabilities of states.

Для цитирования: Сарафанкина Е.А. Оценка эффективности функционирования многооперационных технических систем / Е.А. Сарафанкина, О.А. Мурашкина, В.А. Авроров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 121-124. – EDN: FMOTXE.

Введение. При оценке многооперационных технических систем, например, таких как фасовочно-упаковочное оборудование пищевой продукции [1-6], использование принятых показателей надежности, основанных на понятии отказов, приводящих к неработоспособным состояниям механизмов оборудования, не полностью характеризует эффективность его работы. Так, при фасовке и упаковке продукции могут возникать некоторые частные сбои и дефекты при выполнении технологических операций, которые не приводят к поломкам и остановке оборудования. Например, такими сбоями или дефектами могут являться смещение алюминиевой фольги при запечатывании тары с продуктом, небольшие дефекты при формовании тары, отклонения от правильного расположения этикетки на таре и др. В то же время подобные случаи требуют затрат времени на дополнительную подналадку соответствующих механизмов упаковочного автомата.

Поэтому для оценки работы сложных техничес-

ких систем, наряду с известными показателями надежности, целесообразно использовать дополнительные показатели, характеризующие эффективность функционирования, и выражать их в единицах выходных параметров рассматриваемого оборудования [7, 8].

Применительно к фасовочно-упаковочному оборудованию величина показателя эффективности может быть выражена в виде вероятностей, оценивающих качество выполнения технологических операций, т.е. вероятностей не появления каких-либо дефектов.

Оценку бездефектной работы многооперационной технической системы рассмотрим по данным эксплуатации фасовочно-упаковочного автомата модели М6-ОРК-1 (рис. 1), предназначенного для формования пластиковой тары, дозирования в нее пастообразных продуктов (плавленых сыров, спредов и др.) и запечатывания тары ламинированной фольгой [1].

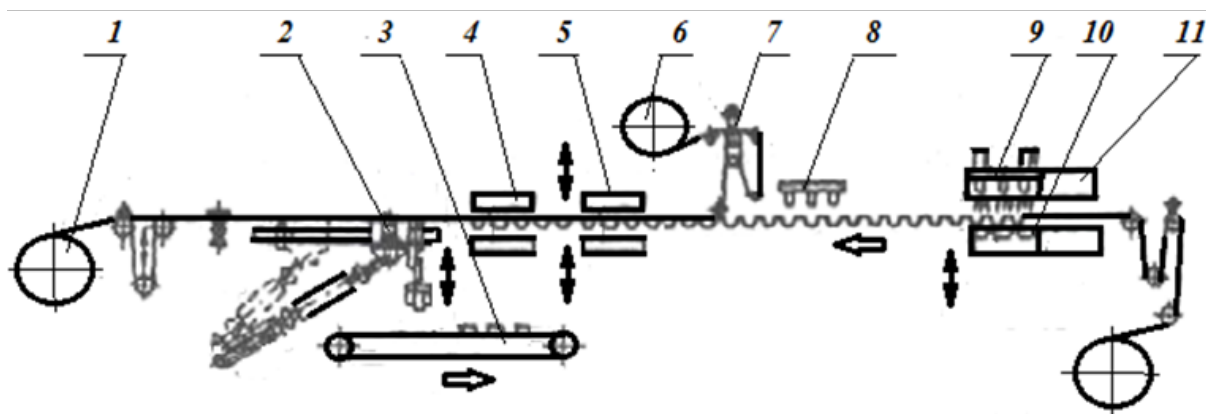


Рисунок 1 – Схема автомата модели М6-ОРК-1

- 1 – барабан для намотки остатков упаковочного материала,
2 – механизм для протягивания остатков пленки,
3 – транспортер, 4 – пресс-форма, 5 – механизм для запечатки тары фольгой,
6 – рулон с фольгой, 7 – фотодатчик,
8 – дозатор продукта, 9 – пуансон, 10 – матрица, 11 – нагреватель

Методология. Целью работы являлось определение показателя эффективности функционирования автомата, находящегося в эксплуатации, и его сравнение с показателем, полученным на базовом образце. За базовый образец был принят автомат после проведения регламентных работ по техническому обслуживанию, дополнительной проверки и более точной настройки его механизмов.

Результаты. Рабочий цикл автомата включает 10 операций:

- 1 – сматывание пластиковой ленты с рулона;
- 2 – создание мерной длины участка ленты;
- 3 – нагревание ленты;
- 4 – формование тары (6 ед.);

- 5 – дозирование продукции в тару;
- 6 – сматывание фольги с рулона;
- 7 – запечатывание тары фольгой;
- 8 – разделение тары с продукцией на отдельные единицы;
- 9 – подача упакованной продукции на транспортер;
- 10 – транспортирование продукции.

Проведем, основываясь на работах [9-11], вероятностную оценку возникновения сбоев и дефектов при выполнении каждой из указанных выше операций.

Эти операции можно объединить в три подзадачи ($j = \overline{1,3}$), блок-схемы которых и граф состояний приведены на рисунке 2.

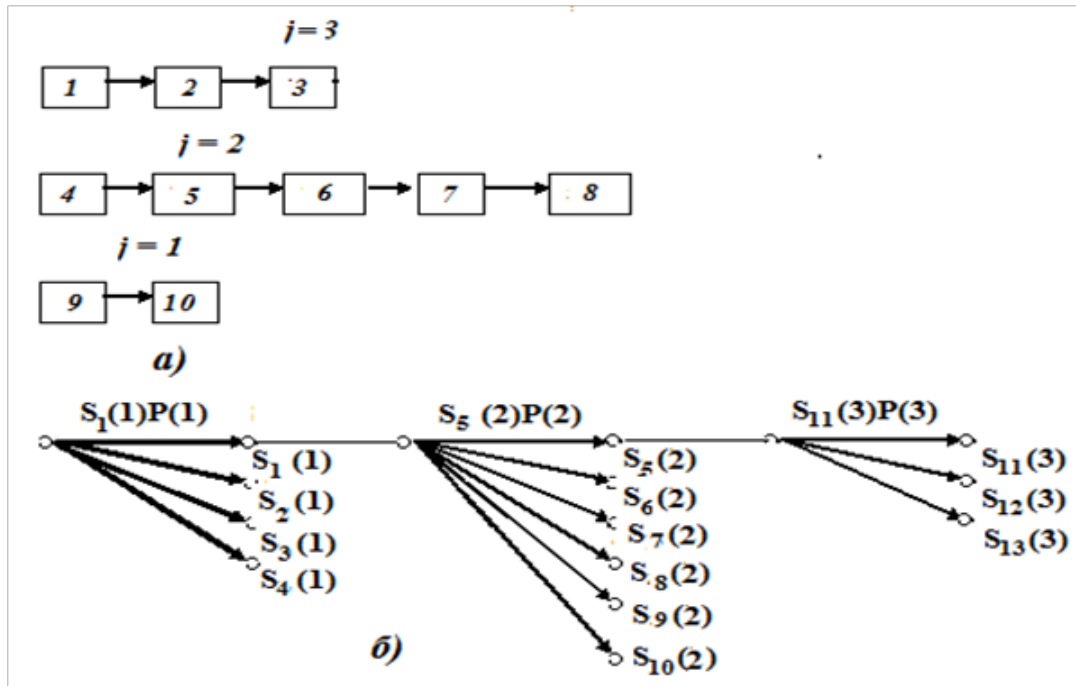


Рисунок 2 – Блок-схема операций и граф состояний автомата

Обсуждение. Анализ схем и графа позволяет построить матрицы возможных состояний для каждой из подзадач:

1. $J = 1$

$$Z_1(1) = \begin{pmatrix} S_1(1) \\ S_2(1) \\ S_3(1) \\ S_4(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ \bar{x}_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{11} & \bar{x}_{12} & x_{13} \\ x_{11} & x_{12} & \bar{x}_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{11} \\ P_{12} \\ P_{13} \\ P_{14} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где S_{ji} – возможное состояние при решении j -подзадачи; x_{ji} , \bar{x}_{ji} – бездефектное и дефектное состояния i -ой операции, соответственно; P_{ji} – вероятность состояния.

Дефектные состояния, согласно [12] – это состояния с отклонениями от правильности формы и расположения объектов обработки во время выполнения отдельных операций рабочего цикла, не приводящие к отказам и остановке автомата.

2. $J = 2$

$$Z_2(2) = \begin{pmatrix} S_5(2) \\ S_6(2) \\ S_7(2) \\ S_8(2) \\ S_9(2) \\ S_{10}(2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{24} & x_{25} & x_{26} & x_{27} & x_{28} \\ \bar{x}_{24} & x_{25} & x_{26} & x_{27} & x_{28} \\ x_{24} & \bar{x}_{25} & x_{26} & x_{27} & x_{28} \\ x_{24} & x_{25} & \bar{x}_{26} & x_{27} & x_{28} \\ x_{24} & x_{25} & x_{26} & \bar{x}_{27} & x_{28} \\ x_{24} & x_{25} & x_{26} & x_{27} & \bar{x}_{28} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{25} \\ P_{26} \\ P_{27} \\ P_{28} \\ P_{29} \\ P_{210} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

3. $J = 3$

$$Z_3(3) = \left\| S_{ij} \right\|_{i=11,12,13; j=3} = \begin{pmatrix} x_{39} & x_{310} \\ \bar{x}_{39} & x_{310} \\ x_{39} & \bar{x}_{310} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{j1} \\ P_{j2} \\ P_{j3} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Показатель эффективности функционирования системы может быть записан в виде [13, 14]

$$R = \sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^n P_{ji} \bar{w}_i, \quad (4)$$

где \bar{w}_i – показатель, характеризующий появление дефекта данным состоянием, $\bar{w}_i = 1 - w_i$; w_i – условный показатель эффективности i -го состояния; M – общее количество бездефектных состояний j -ой подзадачи.

Вероятности p_{ji} определяются по данным эксплуатации автомата. Так, если вероятность выполнения i -й операции в j -й подзадаче будет равна $P_{x_{ij}}$, то вероятность состояния S_{ji} определяется как

$$p_{ji} = \prod_{i=1}^n P_{x_{ij}} \text{ или } p_{ji} = \prod_{i=1}^k P_{x_{ij}} P_{\bar{x}_{ij}}.$$

Зададим значение условного показателя эффективности i -го состояния w_j , определяемого вероятностью того, что выходной эффект системы будет не хуже заданного. За выходной эффект системы примем среднее число неблагоприятных случаев по каждому состоянию (дефекты формования коробок, брак при вырубке, брак дозирования и пр.).

Вероятности состояний p_{11} и p_{12} первой подзадачи подсчитываются следующим образом: если $P_{x_{11}} = P_{x_{12}} = P_{x_{13}} = 0,99$, то $p_{11} = P_{x_{11}} P_{x_{12}} P_{x_{13}} = 0,99^3 = 0,970$.

$$P_{\bar{x}_{11}} = P_{\bar{x}_{12}} = P_{\bar{x}_{13}} = 0,01;$$

$$p_{12} = P_{\bar{x}_{11}} P_{x_{12}} P_{x_{13}} = 0,01 \cdot 0,99^2 = 0,0098$$

Подобным образом вычисляются вероятности и для других состояний матриц (1, 2, 3).

Показатель эффективности функционирования базового образца определяется по бездефектным значениям матриц подзадач с учетом требования, что число дефектов при выполнении операций с вероятностью 0,99 не должно превышать двух случаев для каждой выполняемой операции рабочего цикла автомата при времени наблюдения в течение смены.

Для базового образца автомата численное значение показателя эффективности функционирования

равно:

$$R = 0,970 \cdot 0,01 + 0,951 \cdot 0,01 + 0,980 \cdot 0,01 = 0,02901.$$

Пример. Определение показателя эффективности фасовочно-упаковочного автомата модели М6-ОРК-1,

если при его работе в обычных условиях эксплуатации в течение смены с производительностью 3600 упаковок в час вероятности состояний, подсчитанные по сбоям и дефектам, составили (табл.1)

Таблица 1 – Определение показателя эффективности М6-ОРК-1

Наименование операции	Вероятность выполнения операции без дефектов и сбоев
Сматывание пластиковой ленты с рулона	0,99
Создание мерной длины участка ленты	0,95
Нагревание ленты	0,98
Формование тары (6 ед.),	0,92
Дозирование продукции в тару	0,94
Сматывание фольги с рулона	0,99
Запечатывание тары фольгой	0,95
Разделение тары с продукцией на отдельные единицы	0,95
Подача упакованной продукции на транспортер	0,96
Транспортирование продукции	0,99

Показатель эффективности

$$R_{exp} = 0,921 \cdot 0,01 + 0,773 \cdot 0,01 + 0,950 \cdot 0,01 = 0,02644.$$

Относительный показатель снижения эффективности работы эксплуатирующегося автомата по сравнению с базовым образцом, (%):

$$\Delta = \frac{R - R_{exp}}{R} \cdot 100 = 8,85.$$

Выводы. Использование показателя эффективности функционирования многооперационного фасовочно-упаковочного автомата на основе расчета вероятностей состояний по дефектам и сбоям, возникающим во время выполнения операций, позволяет выявить механизмы для дополнительной подналадки автомата и получить более полную оценку его эксплуатационной надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авроров В.А. Упаковочные материалы и фасовочно-упаковочные оборудование пищевых продуктов: учебное пособие. – М: ЮРАЙТ, 2022. – 283с.
2. Митрофанов В.П. Технологическое оборудование и оснастка упаковочного производства; учебное пособие / В.П. Митрофанов, В.И. Бобров. – М: МГУП, 2003. –204с.
3. Аксенова Т.И. Технология упаковочного производства: учебное пособие / Т.И.Аксенова, В.В.Ананьев, Н.М., Дворецкая, Т.В. Иванова и др. Под ред. Э.Г. Розанцева. –М: Колос, 2002. –184с.
4. Ульянов В.Н. Классификация оборудования для упаковки продуктов в термосвариваемые пакеты /В.Н. Ульянов // Пакет, №2, 2004.
5. Ефремов Н.Ф. Технология упаковочного производства: электронный учебник /Н.Ф.Ефремов, М.Г.Колесниченко // электронный ресурс [http:// upakovka.jofo.me /2023.](http://upakovka.jofo.me/)
6. Классификация фасовочно-упаковочных процессов и оборудования: электронный ресурс / [http:// iglib.ru. book/pre-view/.../ 2023/.](http:// iglib.ru. book/pre-view/.../ 2023/)
7. Арустамов М.А. Структурно-ориентированные методы определения показателя эффективности функционирования сложных технических систем /М.А. Арустамов // Надежность и вопросы качества, № 5, 1980.
8. Авроров В.А. Автоматизация кольцевых прядильных машин /В.А. Авроров, А.М. Кившенко. –М: Легпромбытиздат, 1986. – 104с.
9. Авроров В.А. Основы проведения научных исследований. Модели, методы анализа и обработки результатов экспериментов в пищевых производствах: учебное пособие / В.А. Авроров, Е.А. Жистин, Н.В. Моряхина. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия. 2022. – 436с.

10. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика / А.И. Карасев. – М: Статистика, 1977.

11. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М: Наука, 1968.

12. Авроров В.А. Диагностика, ремонт, монтаж, сервисное обслуживание оборудования пищевых производств: учебник / В.А. Авроров, Н.Д. Тутов, В.С. Николаев. 2 – е изд. перераб. и доп. – Старый Оскол: ГНТ, 2017. – 664с.

13. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.Н.Вентцель. – М: Советское радио, 1964. – 390с.

14. Горелик В.А. Исследование операций / В.А.Горелик, И.А.Ушаков. – М: Машиностроение, 1986.

Статья поступила в редакцию 16.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 614.844.2

EDN: FACJOU

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО
НАЗЕМНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 3089-6903

AuthorID: 828751

ORCID: 0000-0002-5501-6232

ВОЙТЕНОК Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры специальной подготовки
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д.149, e-mail: vogps@mail.ru)

SPIN: 9590-7299

AuthorID: 9590-7299

ORCID: 0000-0001-7588-5067

САЙ Василий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры специальной подготовки
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д.149, e-mail: sai1982@yandex.ru)

SPIN: 6467-5474

AuthorID: 833170

ORCID: 0000-0001-6199-5687

ЕЛИСЕЕВ Игорь Борисович, кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры специальной подготовки
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д.149, e-mail: eliseeff.gosha2014@yandex.ru)

SPIN: 8488-9210

AuthorID: 560765

ШКИТРОНОВ Михаил Евгеньевич, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник отдела
испытаний и разработки научно-технической продукции в области пожарной безопасности
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д.149, e-mail: shkitronov@mail.ru)

Аннотация. Обеспечение пожарной безопасности объектов городского наземного пассажирского электротранспорта является актуальным вопросом. Ежегодно в России происходят пожары на наземном городском электротранспорте. Только за 2021 год произошло 74 пожара (увеличение на 45% по отношению к 2020 году). Актуальность обеспечения пожарной безопасности на данном виде транспорта обусловлена наличием большого количества людей. В работе рассмотрены способы повышения пожарной безопасности на наземном городском электротранспорте за счет применения систем пожаротушения. Процесс эксплуатации городского наземного электротранспорта сопряжен с использованием электрооборудования и сетей высокого напряжения (500-600 вольт). Это приводит к возможности образования источников зажигания, что в свою очередь приводит к возникновению пожаров и созданию реальной угрозы жизни людей. В существующей нормативно-правовой базе фактически отсутствуют обязательные требования к техническим системам, функционал которых направлен на обеспечение пожарной безопасности городского электротранспорта. Также подготовка персонала, в частности водителей к действиям в случае возникновения пожара требует внимания.

Ключевые слова: пожарная безопасность, городской наземный электротранспорт, требования в области пожарной безопасности, системы пожаротушения.

**ENSURING FIRE SAFETY DURING THE OPERATION OF URBAN
GROUND-BASED PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT**

© The Author(s) 2023

VOITENOK Oleg Viktorovich, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the Department of Special Training

SAI Vasily Valerievich, candidate of technical sciences, associate professor,
head of the Department of Special Training

ELISEEV Igor Borisovich, candidate of technical sciences, senior lecturer of the Department of Special Training

SHKITRONOV Mikhail Evgenievich, candidate of pedagogical sciences, senior researcher of the Department of
Testing and Development of Scientific and Technical products in the field of fire safety
Saint-Petersburg University of state fire service of EMERCOM of Russia
(196105, St. Petersburg, Moskovsky ave., 149,
e-mails: vogps@mail.ru, sai1982@yandex.ru, eliseeff.gosha2014@yandex.ru, shkitronov@mail.ru)

Abstract. Ensuring fire safety of urban ground passenger electric transport facilities is an urgent issue. Every year in Russia there are fires on ground urban electric transport. In 2021 alone, 74 fires occurred (an increase of 45% compared to 2020). The urgency of ensuring fire safety in this type of transport is due to the presence of a large number of people. The paper considers ways to improve fire safety on ground urban electric transport through the use of fire extinguishing systems. The process of operation of urban ground electric transport is associated with the use of electrical equipment and high voltage networks (500-600 volts). This leads to the possibility of the formation of sources of ignition, which in turn leads to fires and the creation of a real threat to human life. In the existing regulatory and legal framework, there are actually no mandatory requirements for technical systems, the functionality of which is aimed at ensuring the fire safety of urban electric transport. Also, the training of personnel, in particular drivers, for actions in the event of a fire requires attention.

Keywords: fire safety, urban ground electric transport, fire safety requirements, fire extinguishing systems.

Для цитирования: Войтенко О.В. Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации городского наземного общественного электротранспорта / О.В. Войтенко, В.В. Сай, И.Б. Елисеев, М.Е. Шкутронюв // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 125-132. – EDN: FACJOU.

Введение. Вопросам обеспечения пожарной безопасности сейчас уделяется большое внимание. Нормативная правовая база в области пожарной безопасности совершенствуется и развивается [1, 2]. В 2020-2021 г.г. актуализация нормативной базы осуществлялась в рамках «регуляторной» гильотины. В последние годы значительно переработаны и обновлены нормативные документы, которые содержат требования пожарной безопасности. Но данные нормативные документы содержат требования к объектам защиты, в качестве которых рассматриваются, в первую очередь, здания и сооружения.

Вопросам обеспечения пожарной безопасности

непосредственно на объектах транспорта в нормативных документах, содержащих обязательные требования пожарной безопасности, места не нашлось. В свою очередь, в Российской Федерации как таковые отсутствуют требования по обеспечению пожарной безопасности на транспорте. Особо актуален этот вопрос при эксплуатации общественного транспорта (табл. 1). Наибольшую опасность с точки зрения возникновения пожаров представляет электротранспорт. В России наземный электротранспорт в основном представлен трамваями и троллейбусами.

В 2021 году отмечается увеличение количества пожаров, происходящих в трамваях (рис. 1).

Таблица 1 – Количество пожаров на пассажирском транспорте в Российской Федерации за 2014-2021 г.г. [3, 4, 5]

Вид транспортного средства	Кол-во пожаров, ед.							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Автобус	604	516	506	472	405	448	377	408
Трамвай	28	27	28	38	20	36	32	57
Троллейбус	22	11	33	23	13	12	19	17
Вагон метро	2	0	2	0	0	0	2	1
Дизель-электropоезд	1	0	1	0	4	1	2	3
Пассажирский вагон	5	4	4	5	0	17	18	18

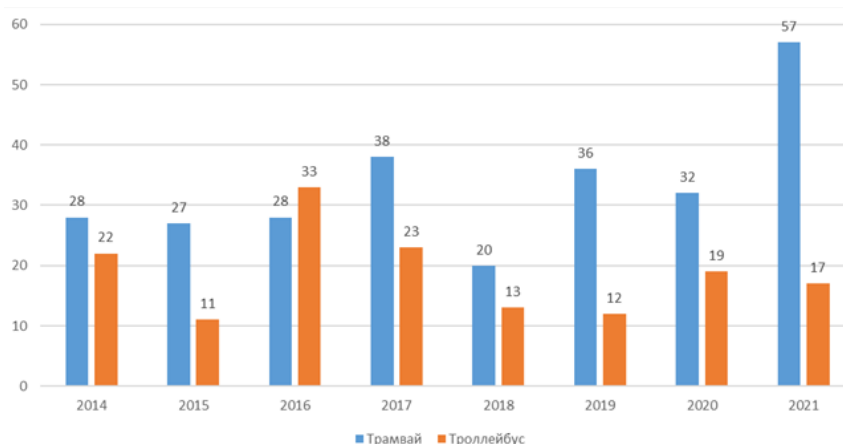


Рисунок 1 – Диаграмма изменения количества пожаров, произошедших в трамваях и троллейбусах за 2014-2021 г.г.

Методология. Основной целью исследования является совершенствование подходов в обеспечении пожарной безопасности на наземном пас-

сажирском электротранспорте.

В рамках исследования применялись эмпирические и теоретические методы исследования,

закрывающиеся в рассмотрении причин возникновения пожаров на электротранспорте, анализе нормативных правовых актов и существующих нормативных документов, анализе разработок в области пожаротушения, применялись методы моделирования работы систем пожаротушения на наземном электротранспорте.

Результаты. Одним из способов повышения уровня пожарной безопасности наземного электротранспорта является применение автоматических систем пожаротушения. Предложенная система пожаротушения с возможностью ручного инициирования пуска позволит обеспечить тушение пожара в салоне трамвая или троллейбуса без применения первичных средств пожаротушения (ручных огнетушителей) водителем посредством удаленного инициирования пуска систем пожаротушения. Возможность тушения пожара в 2 этапа: сначала отсеки с оборудованием в автоматическом режиме, затем покинутые вагоны в ручном режиме, обеспечит минимизацию ущерба электротранспорту и возможность его восстановления после пожара. Использование системы предусмотрено до прибытия пожар-

ных подразделений.

Обсуждение. Нормативное регулирование в области пожарной безопасности применительно к электротранспорту охватывает исключительно объекты транспортной инфраструктуры СП 153.13130.2013 [6], СП 98.13330.2018 [7].

Требования к обеспечению пожарной безопасности непосредственно к подвижному составу устанавливаются на уровне эксплуатирующих организаций. В основном данные требования несут организационный характер. ФЗ № 123 [8] не устанавливает отдельных требований для транспортных средств.

Например, в СПб ГУП «Горэлектротранс» в должностной инструкции водителя трамвая и троллейбуса прописаны обязанности водителя при возникновении возгорания в вагоне трамвая или троллейбуса [9, 11].

Рассмотрим ряд пожаров, произошедших на наземном электротранспорте.

Пожар (рис. 2) в трамвае 14 ноября 2013 года в г. Хабаровск начался в кабине водителя. В это время в вагоне находилось около 30 человек.



Рисунок 2 – Пожар в трамвае 14 ноября 2013 г., г. Хабаровск

Эвакуация пассажиров возможна через двери или же в качестве аварийного выхода можно использовать окна. Конструкция дверей предусматривает открытие либо водителем, либо в экстренном случае пассажирами. Не всегда пассажирам удается разблокировать двери в ручном режиме и тогда остается единственный способ покинуть вагон – это окно. С учетом того, что состав пассажиров неоднороден, не все самостоятельно могут покинуть вагон через окна. В данном случае водителю не удалось разблокировать двери, пассажирам тоже это не удалось. Только помощь прохожих, которые разбили стекла позволила избежать жертв. Менее 15 минут понадобилось огню, чтобы охватить вагон полностью.

Вагоны оборудуются первичными средствами пожаротушения в виде огнетушителей (порошковых или углекислотных). Как правило, один огнетушитель находится в кабине водителя, второй в салоне. При возникновении горения в соответствии с инструкцией водитель обязан приступить к тушению пожара с использованием огнетушителей после выполнения ряда действия, в первую очередь, которые направлены

на эвакуацию пассажиров из вагона. За это время пожар уже развился и локализовать его имеющимися огнетушителями, скорее всего, уже не получится.

Причиной возгорания в данном случае явилось загорание изоляции электрической цепи, т.е. техническая неисправность.

При установлении причины пожара необходимо учитывать срок эксплуатации оборудования. Сгоревший трамвай эксплуатировался 19 лет.

Пожар в троллейбусе произошел 05 июня 2021 года в г. Кемерово (рис. 3). При движении по маршруту водитель троллейбуса перед одной из остановок почувствовал неисправность руля, водитель остановился и начал высаживать пассажиров, в это время произошло возгорание.

Инструкция водителя предусматривает определенный алгоритм действий при возникновении пожара, одним из пунктов которого является тушение пожара первичными средствами (порошковым или углекислотным огнетушителем). Однако, прежде чем приступить к тушению пожара водитель должен остановить трамвай, зафиксировать вагон, открыть все двери, высаживать пассажиров, опустить

токоприемники, отключить электрические цепи, сообщить информацию старшему диспетчеру, надеть сигнальный жилет, убедиться в том, что все пассажиры покинули салон.

Применение первичных средств пожаротушения

эффективно лишь на начальной стадии возгорания, но с учетом всех мероприятий, которые должен выполнить водитель трамвая или троллейбуса при обнаружении пожара, применение огнетушителей не приводит к сколь-нибудь значимому результату.



Рисунок 3 – Пожар в троллейбусе 05 июня 2021 г., г. Кемерово

Эффективными средствами тушения пожара на начальном этапе являются автоматические системы пожаротушения. Нормативными правовыми актами не установлены обязательные требования пожарной безопасности по монтажу систем пожаротушения. Принятие решения об установке данных систем производится при формировании технических заданий при закупке и производстве транспорта или же в процессе эксплуатации.

Исследования в области применения систем пожаротушения проводятся уже достаточно давно, данные системы применяются на военной технике, однако на «гражданский» пассажирский транспорт системы пожаротушения стали монтироваться относительно недавно.

В работе [11] Чечегова, А.В., Балобанова В.В., Гущина Д.С. рассматривается способ тушения пожара с использованием пирокорда, при воздействии на который обеспечивается выход газа. Однако данный способ не подходит для большого объема, количество газа очень ограничено.

В работе [12] Беззубова А.А., Стригина А.В., Курносова Н.Е. предложен способ тушения пожара подкапотного пространства путем смешивания различных компонентов с охлаждающей жидкостью и применением данного состава для тушения. Способ достаточно сложен в реализации и требует создания давления охлаждающей жидкости. Реализовать его на электротранспорте не представляется возможным.

Джалилов М.К., Дюнов В.А., Кожухов О.В. описывают способ внедрения в автомобиль системы пожаротушения на базе генераторов огнетушащего аэрозоля «Допинг-2» [13]. Использование данных систем прописано во временных технических требованиях к системам пожаротушения, устанавливаемых на подвижной состав городского пассажирского транспорта в ГУП «МОСГОРТРАНС» [14]. Авторами рассматривается вопрос применения данной системы в автоматическом режиме как

сомодостаточного устройства и в режиме ручного пуска подачи напряжения из кабины транспортного средства.

Ефименко В.Л., Ладнюком В.А., Ермаком В.А. в своей работе [15] представлен обзор пожаров на транспорте. В качестве установок пожаротушения рассматриваются генераторы огнетушащего аэрозоля, системы порошкового и газового пожаротушения, предложены организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на транспорте. Автором сделан вывод о наиболее эффективном способе для определения пожара в салоне - применение дымовых извещателей. Однако, такой способ при обнаружении пожара в салоне и при работе системы в автоматическом режиме может привести при срабатывании системы пожаротушения до того, как пассажиры покинут салон, к негативному воздействию на пассажиров огнетушащих веществ (газа, порошка, аэрозоля).

Антошин А.А., Галузо В.Е., Мельничук В.В., Пинаев А.И. рассматривают возможность тушения пожара с применением комбинированного порошково-аэрозольный генератора, разработанного фирмой «Авангардспецмонтажплюс» (РБ) совместно с НПО «Восток» (РФ) [16].

Гергель В.И., Мешалкин Е.А. рассматривают возможности применения пожаротушения тонкораспыленной водой [17]. Однако, данный способ неприменим для тушения пожаров на транспорте, особенно электрическом.

Эффективность применения ручных пожарных огнетушителей при тушении пожаров на пассажирских транспортных средствах крайне низкая [18]. Зачастую, водитель попросту не успевает воспользоваться огнетушителем. Автоматическая система обеспечивает тушение пожара без участия человека.

Радзишевская-Волиньская Я.М. [19] обеспечение пожарной безопасности транспорта рассмат-

ривает как реализацию элементов пассивной безопасности и активной безопасности.

На основе проведенного анализ можно сделать вывод, что на текущий момент существует не так много систем пожаротушения, которые монтируются в наземный пассажирский электротранспорт.

Примером таких систем является автоматическая система обнаружения и тушения пожара (АСОТП) «БСУ-02» производства компании «ЭПОТОС-К» (рис.4) [20].

Система включает в себя прибор приемно-контрольный пожарный, совмещающий в себе еще и функции управления системой пожаротушения, пожарные извещатели, линии связи, средства пожаротушения.

В качестве средств пожаротушения предлагается использовать различные модульные системы пожаротушения: аэрозольные или порошковые модули, которые имеют устройство инициирования по электрическому сигналу (рис.5).

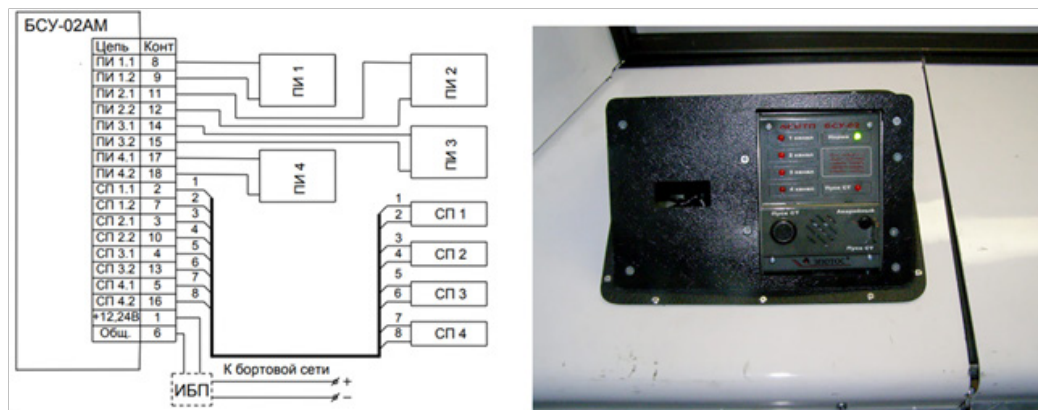


Рисунок 4 – Схема подключения и вариант монтажа АСОТП «БСУ-02»



Рисунок 5 – Средства пожаротушения (генераторы огнетушащего аэрозоля Допинг-2.02, Допин-2.160, модуль порошкового пожаротушения Буран-0,5)

Рассмотрим механизм возникновения пожара в наземном пассажирском электротранспорте.

Основные этапы пожара.

1 этап. Момент инициирования возгорания. Здесь можно разделить два основных источника причин, которые могут привести к возникновению источника загорания. Это внутренние причины: короткое замыкание электрооборудования, перегрузка сети. Внешние воздействия: дорожно-транспортное происшествие, внешнее воздействие природных явлений (например, молния).

2 этап. Задымление. При горении изоляции, пластика, отделочных материалов, элементов салона выделяется значительное количество дыма. Дым как опасный фактор пожара оказывает следующие воздействия – потеря видимости, воздействие токсичных продуктов горения, выделяющихся с дымом (рис.6). Потеря видимости приводит к дезорганизации действий пассажиров по эвакуации и

к панике.

3 этап. Распространение пожара. Скорость распространения пожара зависит от пожарной нагрузки. В качестве пожарной нагрузки выступает отделка салона, кресла, горюче-смазочные материалы агрегатов, электропроводка и кабели, лакокрасочное покрытие. Скорость распространение пожара по салону может быть достаточно быстрой (в течении 4-5 минут пожар может охватить весь салон).

В соответствии с существующим требованиями нормативных правовых актов [8] пожарно-спасательные подразделения размещаются таким образом, чтобы обеспечить время прибытия в населенном пункте не более 10 минут. Соответственно, к моменту прибытия пожарных подразделений салон троллейбуса или трамвая пламя охватывает практически полностью.

Применение систем пожаротушения на текущий момент носит локальный характер в связи с тем, что

данные системы монтируются исключительно на добровольной основе по желанию заказчика.

Модули пожаротушения размещаются в отсеках и распределительных шкафах.

Непосредственно в салоне модули пожаротушения не размещаются (рис.7). Это обуславливается тем, что пожар возникает, как правило, не в салоне, а в отсеках с электрооборудованием. Но, в то же время, в том случае, если с помощью системы пожаротушения

не удалось локализовать пожар в месте его возникновения пожар будет распространяться на салон, где как таковые системы пожаротушения отсутствуют. Применить первичные средства пожаротушения в виде огнетушителя водитель тоже скорее всего не сможет в связи сильным задымлением салона. Соответственно, пожар, вышедший за пределы отсека с электрооборудованием, с высокой вероятностью приводит к значительному ущербу.



Рисунок 6 – Дымообразование в салоне троллейбуса при пожаре



Рисунок 7 – Размещение модулей пожаротушения в распределительных шкафах и отсеках

Как один из вариантов решения данного вопроса предлагается использовать систему удаленного инициирования средств пожаротушения по радиоканалу водителем в ручном режиме посредством применения автономных устройств инициирования пуска (АУИП).

Данная система может быть интегрирована в

существующий комплекс системы пожаротушения или же существовать как отдельная система, заменяющая первичные средства пожаротушения (переносные огнетушители).

Осуществляется монтаж модулей пожаротушения, которые размещаются в салоне троллейбуса или трамвая (рис. 8).

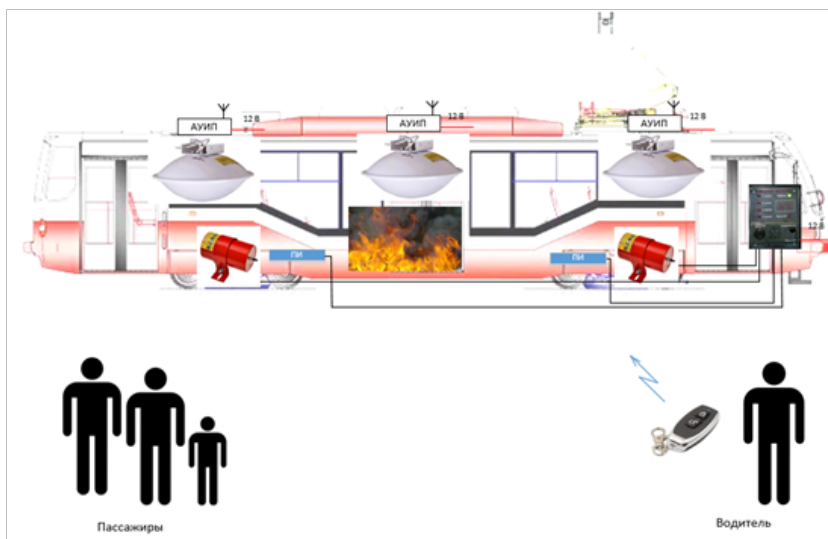


Рисунок 8 – Вариант комбинирования системы пожаротушения с применением АСОТП «БСУ-02» и АУИП.

Модуль АУИП представляет собой компактное устройство, состоящее из следующих компонентов: приемник радиосигнала от пульта управления, резервный источник питания (12 вольт), исполнительное устройство, обеспечивающее подачу сигнала инициирования пуска модуля пожаротушения при поступлении сигнала на приемник от пульта управления.

В повседневном режиме эксплуатации у водителя находится компактный пульт управления. Очень важно, что бы пульт находился всегда у водителя при себе. В случае возникновения пожара в троллейбусе или трамвае срабатывает АСОТП «БСУ-02», водитель и пассажиры покидают транспортное средство. В случае, если модули пожаротушения, установленные в отсеках, не обеспечили ликвидацию возгорания и горение распространяется внутрь салона, водителем принимается решение на инициирование срабатывания модулей пожаротушения, которые размещены в салоне. В качестве модулей пожаротушения могут быть использованы модули порошкового пожаротушения «Буран-2,5» (рис.9).



Рисунок 9 – Модуль порошкового пожаротушения «Буран-2,5»

Для обеспечения бесперебойной работы АУИП оборудуется резервным компактным источником питания, который позволит инициировать модуль пожаротушения и обеспечить прием сигнала от пульта управления при обесточивании электросистемы транспортного средства.

На рисунке 10 представлена схематичная компоновка АУИП на 4 независимых канала.



Рисунок 10 – Схема возможного исполнения 4 канального АУИП с применением готовых комплектующих

Основой устройства является беспроводной приемник с коммутационными реле. Частота работы радиоприемника – 433 МГц. Приемник совмещен с исполнительным устройством, включающим в себя 4 коммутируемых реле, обеспечивающих коммутацию плюса 12 вольт на модуль пожаротушения. Защита от обесточивания обеспечивается использованием автоматического переключателя питания, который обеспечивает коммутирование резервного источника питания с приемником. В качестве резервного источника питания может быть использована батарея CR123A напряжением 12 вольт. Устройство коммутации при переключении на резервный источник питания также коммутирует активный зуммер, по сигналу которого можно судить о пропадании основного питания.

Выводы. По результатам анализа существующих проблем по обеспечению пожарной безопасности наземного пассажирского электротранспорта полагаем целесообразным наметить основные пути их решения, которые заключаются в следующем:

1. Создание активных систем, позволяющих осуществлять тушение пожара.

2. Применение автономных устройств инициирования пуска позволит минимизировать угрозу воздействия опасных факторов пожара на водителя наземного пассажирского электротранспорта при применении первичных средств пожаротушения за счет возможности удаленного инициирования срабатывания модулей пожаротушения посредством передачи сигнала по радиоканалу.

3. Совершенствование уровня подготовки водительского состава к действиям при возникновении пожара. При внедрении систем АУИП потребуются внесение изменения в должностные инструкции водителей и проведение практических тренировок по применению систем пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Войтенко О.В., Шкитронов М.Е., Петросян С.Х. Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты с учетом изменения законодательства в рамках «регуляторной гильотины» // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: Сборник материалов Дней науки с международным участием, Екатеринбург, 06–10 декабря 2021 года / Уральский институт ГПС МЧС России. – Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. – С. 71-75.

2. О пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ. Доступ из информ.- правового портала «КонсультантПлюс».

3. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, – 2022. – 114 с.

4. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. - М.: ВНИИПО. – 2019. – 125 с.

5. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. - М.: ВНИИПО, 2017. – 124 с.

6. Приказ МЧС России от 25 декабря 2012 года № 804 «Об утверждении свода правил «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Требования пожарной безопасности». Доступ из информ.- правового портала «КонсультантПлюс».

7. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 ноября 2018 года № 735/пр «Об утверждении СП 98.13330.2018

«СНИП 2.05.09-90 трамвайные и троллейбусные линии». Доступ из информ.- правового портала «КонсультантПлюс».

8. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ. Доступ из информ.- правового портала «КонсультантПлюс».

9. Должностная инструкция водителя трамвая Санкт-Петербурга. Утв. приказом СПб ГУП «Горэлектротранс» № 80 от 29 января 2015 года.

10. Должностная инструкция водителя троллейбуса Санкт-Петербурга. Утв. приказом СПб ГУП «Горэлектротранс» № 22 от 15 января 2016 года.

11. Чегогов, А.В., Балобанов В.В., Гушин Д.С. Способы и средства автоматического пожаротушения транспортных средств // Становление системы технического обеспечения в войсках национальной гвардии Российской Федерации во взаимодействии с другими видами обеспечения: межвузовский сборник научно-практических материалов, Пермь, 14 октября 2020 года. – Пермь: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2020. – С. 69-72.

12. Беззубов А.А., Стригин А.В., Курносов Н.Е. Система пожаротушения подкапотного пространства транспортного средства // Инжиниринг и технологии. – 2022. – Т. 7. – № 1. – С. 27-30.

13. Джалилов М.К., Дюнов В.А., Кожухов О.В. Системы противопожарной защиты автомобильного транспорта // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – Т. 1. – С. 48-50.

14. Временные технические требования к системам пожаротушения, устанавливаемым на подвижной состав городского пассажирского транспорта. ГУП «МОСГОРТРАНС», 2004.

15. Ефименко В.Л., Ладнюк В.А., Ермак В.А. Особенности тушения пожаров на автомобильном транспорте, в гаражах, троллейбусных и трамвайных парках // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 1(11). – С. 118-126.

16. Антошин А.А., Галузо В.Е., Мельничук В.В., Пинаев А.И. Особенности пожарной сигнализации и пожаротушения транспортных средств // Приборостроение-2021: Материалы 14-й Международной научно-технической конференции, Минск, 17–19 ноября 2021 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 21-22.

17. Гергель В.И., Мешалкин Е.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Материалы конференции: В 2-х частях, Балашиха, 05 июля 2017 года. Том Часть 2. – Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2017. – С. 369-372.

18. Ольховский И.А., Гладченко В.Я. Автоматическая система обеспечения пожарной безопасности общественного транспорта // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, г. Железногорск, Красноярский край, 27 мая 2022 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий», 2022. – С. 53-56.

19. Radziszewska-Wolińska J. M. Transport fire safety engineering in the European Union - project TRANSFEU / J. M. Radziszewska-Wolińska // Transport Problems. – 2011. – Vol. 6. – No 4. – P. 34-40.

20. Автоматическая система обнаружения и тушения пожара на транспортных средствах с ППКПиУ БСУ-02 и его модификациями. Руководство по эксплуатации ПТКЛ.421459.004-01 РЭ ООО «Эпос-К» // https://iprospsb.ru/files/documents_KI/bsu-02_pasp.pdf.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 331.453

EDN: ZWVSOE

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СРЕДА» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА РУДООБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

© Автор(ы) 2023

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)*

SPIN: 3756-3784

AuthorID: 374503

ORCID: 0000-0003-2315-6107

МАКАШОВА Вера Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент,

проректор по учебной и научной работе

*ГБУ ДПО «Челябинский институт переподготовки и повышения квалификации работников образования»**(454113, Россия, Челябинская обл., Челябинск, площадь Революции, e-mail: makashova.vera@mail.ru)*

Аннотация. Несмотря на то, что на предприятиях горно-металлургического комплекса в настоящее время большое внимание уделяется вопросам охраны труда и промышленной безопасности, число несчастных случаев и полученных травм остается на достаточно высоком уровне. Для решения вопросов по снижению производственного травматизма в горно-металлургической отрасли разрабатывается общая политика безопасности труда и охраны здоровья. Такая система позволяет учитывать законодательные требования и информацию об опасных условиях труда. 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 такой системы является определение и устранение опасных производственных факторов. Объектами исследования в работе являются опасные производственные факторы, которые приводят к получению травм. Для решения задач по снижению травм на предприятиях горно-металлургического комплекса были выявлены основные причины травмирования. Анализ травматизма на рассматриваемых предприятиях показал, что основными причинами несчастных случаев и происшествий являются: нарушения требований безопасности, низкий уровень компетенции персонала в области промышленной безопасности и неудовлетворительная организация производства. В ходе выполнения исследования были предложены работы по идентификации опасных и вредных производственных факторов. Это позволило разработать для РОФ комплекс мероприятий по повышению культуры безопасности труда, формированию сознательного отношения работников к вопросам безопасности, идентификации источников опасности и корректировке опасных действий и условий.

Ключевые слова: несчастный случай, производственный травматизм, безопасность труда, производственный фактор, уровень травматизма, опасные и вредные факторы, горно-металлургический комплекс, промышленная безопасность, профилактика травматизма, дробильщик.

**RESEARCH OF THE HUMAN FACTOR IN THE SYSTEM
«HUMAN-TECHNICAL SYSTEM-PRODUCTION ENVIRONMENT» WITH THE PURPOSE OF
INCREASING LABOR SAFETY AT THE ORE PRODUCTION FACTORY**

© The author(s) 2023

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

*Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk
(455000, Russia, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue 38,
e-mails: yuliya.somova.82@mail.ru, aslimarev@mail.ru)*

MAKASHOVA Vera Nikolaevna, candidate of sciences in pedagogy, associate professor,
vice-rector for academic affairs and research

*Chelyabinsk Institute of Retraining and Improvement of Professional Skill of Educators
(454113, Russia, Chelyabinsk region., Chelyabinsk, Revolution Square, e-mail: makashova.vera@mail.ru)*

Abstract. Despite the fact that at the enterprises of the mining and metallurgical complex, much attention is currently paid to issues of labor protection and industrial safety, the number of accidents and injuries remains at a fairly high level. To address issues of reducing industrial injuries in the mining and metallurgical industry, a general policy of labor safety and health protection is being developed. Such a system allows taking into account legal requirements and information about hazardous working conditions. The main activities of such a system are the development of organizational and technical measures aimed at preventing emergencies at operated hazardous production facilities. The system is developed for the entire enterprise as a whole, regardless of the distance between hazardous production facilities from each other. The most important aspect of this is the identification and elimination of hazardous production factors. The objects of study in the work are hazardous production factors that lead to injury. To solve the problems of reducing injuries at the enterprises of the mining and metallurgical complex, the main causes of injury were identified. An analysis of injuries at the enterprises under consideration showed that the main causes of accidents and incidents are: violations of safety requirements, low level of personnel competence in the field of industrial safety and unsatisfactory organization of production. In the course of the work, work was proposed to identify hazardous and harmful production factors. This made it possible to develop for the ROF a set of measures to improve the culture of labor safety, the formation of a conscious attitude of employees to safety issues, the identification of sources of danger and the correction of dangerous actions and conditions.

Keywords: accident, occupational injury, labor safety, production factor, injury rate, dangerous and harmful factors, mining and metallurgical complex, industrial safety, injury prevention, crusher.

Для цитирования: Сомова Ю.В. Исследование человеческого фактора в системе «человек-техническая система-производственная среда» с целью повышения безопасности труда на рудообогатительной фабрике / Ю.В. Сомова, А.С. Лимарев, В.Н. Макашова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 133-142. – EDN: ZWVSOE.

Введение. Проблема возникновения травм на производстве в результате несчастных случаев, по-прежнему остаётся актуальной для большинства предприятий в мире, так как значительная доля работ выполняется людьми. Ежегодно в результате осуществления производственной деятельности получают травмы и погибают более миллиона человек. Поэтому требуется постоянное проведение работ по снижению травматизма и несчастных случаев на производстве [1]. В связи с последними мировыми тенденциями на предприятиях горно-металлургического и добывающего комплекса Российской Федерации произошло существенное обновление и модернизация производственных и технологических процессов. Несмотря на эти изменения, остаётся ряд технологических операций, который по-прежнему требуют непосредственного контроля и участия человека. На сегодняшний день горно-металлургические предприятия можно отнести к наиболее травмоопасным, как в России, так и за ее пределами. Это во многом связано с особенностями осуществления производственной деятельности. Поэтому одной из важнейших задач для таких предприятий является разработка мероприятий, направленных на снижение объемов производственного травматизма. На горно-металлургических предприятиях можно выделить техниче-

ские, организационные и личностные группы причин производственного травматизма.

Основными техническими причинами травматизма на предприятиях горно-металлургической отрасли являются механическое оборудование и не отвечающие требованиям средства защиты, как индивидуальной, так и коллективной. На сегодняшний день на многих предприятиях горно-металлургической отрасли до сих пор используется, при осуществлении производственных процессов, крупногабаритное оборудование со значительной степенью изношенности. Применение такого оборудования создаёт высокие риски возникновения несчастных случаев.

Среди организационных причин значительное влияние на безопасность оказывает недостаточная подготовка рабочих по безопасности, не отвечающая требованиям эргономика рабочего места и неудовлетворительный технический надзор за опасными работами [9].

Основными личностными причинами являются физические и нервно-психические перегрузки работников. При разработке мероприятий по обеспечению безопасных условий труда необходимо учитывать все вышеназванные причины.

Для снижения травм на производстве внедряются технические средства обеспечения безопасности

производственного процесса, позволяющие не допустить нарушения и несоблюдения требований охраны труда. Тем не менее, существенного изменения уровня производственного травматизма не наблюдается. Согласно статистической отчетности Технической инспекции труда Челябинской областной организации горно-металлургического профсоюза, с начала 2020 года на предприятиях горно-металлургического комплекса (ГМК) региона произошло 8 тяжелых и 5 смертельных несчастных случаев [2]. Анализ статистической информации показывает, что около 70% случаев полученных травм рабочих на горно-металлургических предприятиях носят организационный и технический характер [3]:

- отсутствие должной осторожности в ходе работ;
- пренебрежение правилами при передвижении;
- выполнение работ с нарушениями правил;
- отсутствие специального инструмента и применение различных подручных средств при выполнении работ;
- отсутствие средств защиты;
- отсутствие или не отвечающие требованиям инструкции по ОТ;
- формальное проведение инструктажа по технике безопасности.

Анализ статистической информации с использованием отчетов Росстата, Роструда и Фонда социального страхования показал, что на обогатительных фабриках наибольшее количество травм связано с обслуживанием и ремонтом технологического оборудования и внутризаводского транспорта. Существенную роль играет влияние личностного фактора в вопросах соблюдения дисциплины, требований ОТиПБ работающих. Это обусловлено тем, что сотрудники теряют чувство самосохранения и привыкают постоянно работать с нарушениями, результатом чего становится получение травмы. Сравнительный комплексный мониторинг травматизма на предприятиях ГМК Челябинской области за первые полгода 2019 с тем же периодом предыдущего года, дал следующие результаты [2]:

- количество пострадавших на производстве осталось без изменения и составило 95 человек;
- количество несчастных случаев с тяжелым исходом увеличилось с 9 до 14;
- с 6 до 5 уменьшилось количество смертельных несчастных случаев;
- в результате одного группового случая пострадали два человека;
- K_m несчастных случаев увеличился с 38,6 до 39,6;
- K_v случаев со смертельным исходом уменьшился с 0,51 до 0,43;
- количество дней нетрудоспособности снизилось с 4375 до 3758.

Ситуация со смертностью на производстве от общих заболеваний не изменилась: в возрасте 40–54 лет за полгода на рабочих местах скончались 5 человек, все от сердечно-сосудистых заболеваний. По итогам первого полугодия 2021 года на предприятиях

ГМК произошло 90 несчастных случаев, из них: 6 со смертельным исходом, 8 тяжелых, 1 групповой. Высоким остается показатель смерти от общих заболеваний – 9 случаев.

Для решения вопросов по снижению производственного травматизма на предприятиях горно-металлургической отрасли разрабатывается общая политика безопасности труда и охраны здоровья [3]. На ее основе формируется система, позволяющая учитывать законодательные требования и актуализировать информацию об опасных условиях труда. Применение такой системы обеспечивает возможность проведения целенаправленной работы, направленной на предупреждение несчастных случаев. Это повышает эффективность разрабатываемых и внедряемых мероприятий по обеспечению безопасных условий труда.

Методология. Работа направлена на выявление и устранение опасных производственных факторов на рудообогатительных фабриках (РОФ). Уменьшение количества таких факторов приводит к снижению количества травм. Проведение работ в данном направлении сопряжено со значительными финансовыми и трудовыми затратами. Для эффективного обеспечения расходов при решении задач по повышению безопасности производства необходимо выявить основные критические опасные точки, по которым требуется проведение работ в первую очередь. Такой подход обеспечит получение высокого результата с наименьшими финансовыми затратами. На предприятиях полного металлургического цикла рудообогатительные фабрики (РОФ) занимают одно из важнейших мест в технологической цепочке производства металлопродукции. При этом уровень травмоопасности данного производства достаточно высокий. Поэтому на первом этапе для исследований и проведения работы была выбрана РОФ.

Целью проведения исследований является разработка и апробация форм и методов профилактики для снижения риска возникновения несчастных случаев на РОФ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать теоретические основания решения проблемы снижения производственного травматизма;
- выявить основные причины получения травм и возможные пути их снижения на РОФ;
- разработать эффективные формы и методы профилактики, обеспечивающие снижение уровня травматизма на РОФ.

Результаты комплексного мониторинга травматизма РОФ показали, что необходима разработка эффективных мер по снижению его уровня на обогатительных фабриках горно-металлургического комплекса. В ходе анализа условий работы установлено, что работник для обеспечения безопасности в процессе исполнения своих профессиональных

обязанностей должен непрерывно или периодически отражать в своем сознании определенную часть производственных факторов, оценивать их опасность и адекватно реагировать. При оценке опасной ситуации необходимо учитывать, что она может быть направлена, как на физическое, так и на психологическое состояние работника. Психологическое состояние работника оценивается при помощи диагностики уровня виктимности на основе методики стандартизированного опроса.

В качестве методологической основы для диагностики уровня проявления виктимного поведения работников в работе была применена методика изучения склонности к виктимности, разработанная О.О. Андрониковой. При помощи этой методики, являющейся стандартизированным тестом, был измерен уровень склонности человека к проявлению той или иной формы поведения. В ходе проведения теста каждому испытуемому были предложены утверждения, отражающие особенности характера, поведения, личности работника и т.д. При проведении исследований применяемый тест был адаптирован с учетом возрастных особенностей работников РОФ. Для удобства проведения диагностики был разработан программный продукт «Виктимная система», позволяющий учитывать особенности поведения работников промышленных предприятий. Раннее выявление лиц, склонных к активному виктимному поведению, позволяет спланировать индивидуальную работу с такими рабочими и снизить

вероятность возникновения несчастного случая и травмирования.

В общем виде модель формирования несчастного случая на производстве представлена на рисунке 1. Основными источниками несчастного случая являются: работник, оборудование, средства взаимодействия и управление.

Среди основных факторов, определяющих опасные или вредные условия труда на РОФ можно выделить следующие:

- неисправное оборудование или рабочий инструмент;
- неисправность или отсутствие защитных устройств;
- отсутствие или неэффективность защитных средств;
- неблагоприятные санитарно-гигиенические условия.

Опасные действия рабочих обусловлены следующими причинами:

- ограниченные физиологические возможности человека;
- адаптация рабочих к опасным объектам;
- иллюзия абсолютной безопасности объекта взаимодействия;
- экономические рычаги, влияющие на поведение рабочих.

Рабочие в ходе выполнения профессиональных обязанностей могут столкнуться с постоянными и временными нарушениями (рис. 2).

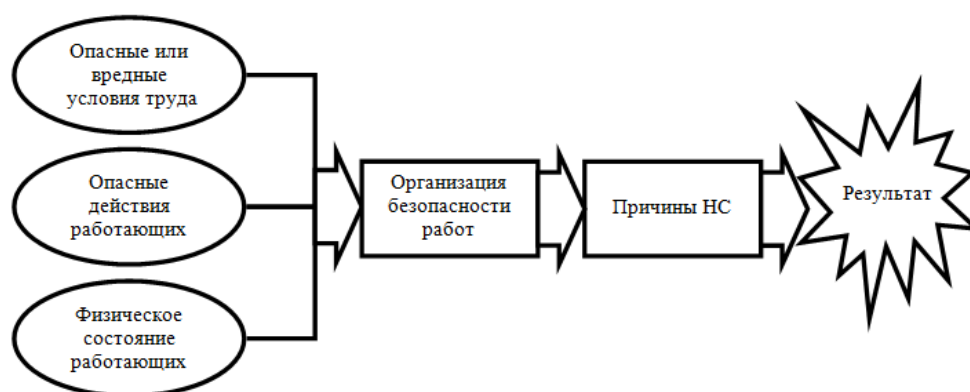


Рисунок 1 – Модель формирования несчастного случая на производстве



Рисунок 2 – Виды нарушений

Проведение мероприятий по организации безопасной работы исключает совсем или существенно ограничивает возможность выполнения опасных действий рабочими. На предприятиях горно-металлургической отрасли такими мероприятиями могут быть: обучение и стимулирование безопасной работы, формирование психологического настроя на безопасность, разработку нормативных документов по безопасности и контроль деятельности работающих. Анализ травматизма на рассматриваемых предприятиях показал, что систематические нарушения, неудовлетворительный уровень подготовленности персонала по безопасному выполнению работ, а также низкий уровень организации производственных процессов являются основными причинами несчастных случаев. Как правило, травмируются рабочие, выполняющие работы с небрежностью на протяжении достаточно длительного периода времени [9].

Для снижения травматизма на РОФ необходимо выполнять технические, организационные, лечебно-профилактические мероприятия, вводить систему ответственности за нарушение требований по охране труда. Поэтому на предприятии должна функционировать система управления промышленной безопасностью и охраной труда. Это позволит вести постоянную непрерывную работу по повышению производственной культуры и формированию сознательности для безопасного выполнения работ, выявления и устранения источников потенциальной опасности, а также разработке и корректировке перечня опасных действий и операций.

Для снижения риска возникновения происшествий на РОФ обязательным условием является поддержание применяемого технологического оборудования в безопасном состоянии. Достаточным уровнем безопасности оборудования можно считать, если оно отвечает следующим условиям:

- отсутствие дефектов;
- исправное состояние защитных устройств;
- исправные и отвечающие требованиям используемые приспособления и инструменты;
- исправное состояние систем предупреждения об опасности;
- наличие соответствующего свидетельства Ростехнадзора.

В случае, когда хотя бы одно из условий не выполнено, состояние оборудования может считаться опасным, и имеющим технические предпосылки к потенциальному возникновению несчастного случая. Для достижения безопасного состояния оборудования необходимо выполнение комплекса технических и организационных мероприятий в структурных подразделениях предприятия [10].

Результаты. По результатам анализа динамики производственного травматизма на РОФ было установлено, что большая часть травм была получена сотрудниками, работающими на рассматриваемом производстве от 6 до 10 лет. Следовательно, с течением времени руководство РОФ сталкивается с рисками утраты сотрудниками знаний, умений, навыков в области ОТиПБ. Такие риски обусловлены несколькими причинами. Совокупный фактор риска, связанный с утратой знаний, определяется как произведение численных значений факторов риска, сокращения персонала и рабочего места (табл. 1, 2) [16].

Таблица 1 – Критерии фактора риска сокращения персонала

Значение фактора	Критерий (Предполагаемая дата прекращения трудовой деятельности в подразделении)
5	Текущий или последующий год
4	В пределах третьего года
3	В пределах четвертого года
2	В пределах пятого года
1	Позже пятого года

Таблица 2 – Критерии фактора риска рабочего места

Значение фактора	Критерий	Требуемое время на подготовку, возможность замены.
5	Наличие уникальных навыков, обеспечивающих безопасность выполнения основных производственных задач. Уникальные знания для конкретного участка. Недокументированные знания.	Опыт работы более 3 лет в подразделении. Отсутствие подготовленной замены
4	Наличие уникальных навыков, обеспечивающих основных производственных задач. Уникальные знания части операций конкретного участка. Знание нормативных документов	Более 2 лет непрерывного стажа работы в подразделении
3	Наличие базовых знаний, необходимых для решения основных производственных задач. Умение применять нормативные документы на процесс и технологические инструкции	Стаж работы в подразделении до 2 лет
2	Имеющие начальные специальные знания, необходимые для решения основных производственных задач. Есть понятные постоянно актуальные инструкции и эффективные программы обучения.	Стаж работы в подразделении менее года
1	Имеющие общее представление о процессе. Вне РОФ можно найти людей, владеющих такими знаниями/навыками.	Небольшое дополнительное обучение.

Определим совокупный фактор риска, связанного с увольнением одного из рабочих, например, дробильщика. Дробильщик (в соответствии с профессиональным стандартом) относится к катего-

рии квалифицированных работников, владеющих уникальными/критическими знаниями и навыками по обслуживанию, эксплуатации и контролю за работой технологического оборудования по перера-

ботке полезных ископаемых [4]. Критическими знаниями дробильщика являются основные знания в соответствии с должностной инструкцией, без которых сотрудник не может быть допущен к работе [5]. То есть фактор риска рабочего места дробильщика составляет 3-5. Если предположить, что дробильщик РОФ прекратит трудовую деятельность в 1 квартале 2023 года, а работник на его замену не подготовлен, то совокупный фактор риска, связанный с утратой знаний, составит: $5 \times 5 = 25$. Это обуславливает необходимость системной подготовки и профессиональной переподготовки работников РОФ – это первая причина риска.

Вторая причина риска – общая стратегия модернизации производства и оптимизации кадрового состава предприятия также связана с «омоложением» кадров, а значит с риском потери знаний.

В-третьих, работники предприятия постепенно утрачивают знания и навыки действий при аварийных ситуациях, которыми не пользуются ежедневно («синдром безопасности»).

В связи с этим, у РОФ возникает потребность в решении двух задач [11]:

1) обоснование периодичности переподготовки и инструктажей персонала по ОТиПБ;

2) совершенствование содержания и методики переподготовки и инструктажей персонала по ОТиПБ.

Исследования периодичности подготовки персонала в области ОТиПБ показали закономерность уменьшения со временем объема информации после её получения работником. Установлено, что продолжительность времени между очередными циклами переподготовки составляет ≤ 445 часов, повторного обучения по ОТиПБ – 164 часа.

Решение второй задачи – это определение чему и как учить. На РОФ используются различные методы и формы поддержания высокой готовности персонала к квалифицированному выполнению трудовых функций – это и теоретическое обучение (инструктажи, курсы повышения квалификации), и практические инструктажи, и аттестация персонала по ОТиПБ [12].

Основной целью обучения является отработка навыков прогнозирования и предотвращения. Поэтому при проведении занятий необходимо выполнить анализ способов устранения ошибок и отработку внештатных ситуаций, а также обратить внимание на принципы их предотвращения. Например, график противоаварийных тренировок на участке ДОФСР РОФ не включает потенциально возможные аварийные ситуации:

– в кислородном хозяйстве (разрыв кислородопровода в корпусе без загорания и с загоранием);

– в системе промышленного водоснабжения (разрыв водовода в отделении производства щебня с затоплением помещения);

– в системе производственно-технологического процесса ДОФСР (разрушение металлоконструкций зданий и сооружений, конструктивных элементов

оборудования, кабельных галерей; загорание технологического оборудования).

Исследованиями компании Hogan Assessments установлено, что для повышения культуры безопасности предприятия должны осознать, то, что большое значение имеет влияние личностных качеств на поведение человека и сделать изменения в своих практиках при отборе персонала [13]. Компания разработала методику *HoganSafe System*, в основе которой лежат 6 шкал безопасного поведения, позволяющие спрогнозировать поведение человека в нестандартной ситуации и его отношение к безопасности в целом (табл. 3) [6].

Таблица 3 – Шкалы безопасности по Hogan

Критерии	низкий	средний	высокий	Критерии
Нарушающий правила				Следующий правилам
Панический				Хладнокровный
Раздражительный				Жизнерадостный
Рассеянный				Бдительный
Безрассудный				Осторожный
Самонадеянный				Обучаемый

Как правило, работники, получившие высокие результаты по этим шкалам (по шкале от 0% до 100%), демонстрируют более безопасное поведение, чем те, которые получили низкие результаты.

Представим, что дробильщик, который получил 100% по критериям «следующий правилам» и «осторожный» столкнулся с ситуацией – загорание технологического оборудования. Очевидно, что такой работник вряд ли сможет действовать нестандартно и оперативно, чтобы не допустить аварии. Ведь его научили, что нужно сначала оповестить мастера, затем выполнить определённые действия. На основе использования методики *Hogan* при отборе работников на должность дробильщика можно прийти к заключению, что послушный и следующий правилам работник в аварийной ситуации может быть неэффективным. Следовательно, при проведении обучения в области ОТиПБ потребуется решить следующие вопросы:

– какие меры безопасности необходимы в конкретной ситуации;

– в чем опасность проводимых на данном оборудовании работ;

– какие события недопустимы;

– почему может возникнуть такое событие.

Учитывая специфику работ, при подготовке рабочих РОФ нужны не абстрактные примеры и факты, чтобы убедить обучаемых в недопустимости конкретных несанкционированных действий. При выполнении профессиональных операций и действий рабочий может получить вред здоровью связанный с профессиональным риском [14].

Под профессиональным риском понимается вероятность возможного причинения вреда здоровью работника в результате воздействия опасных и вредных производственных факторов во

время исполнения служебных обязанностей [7]. Естественно, что создание комфортных условий рабочей среды будет способствовать снижению профессиональных рисков, а, следовательно, снижению рисков возможных происшествий на производстве и производственного травматизма. Поэтому на РОФ постоянно выполняется работа, направленная на идентификацию возможных опасных ситуаций для рабочих и оценка условий труда на рабочих местах.

В таблице 4 представлен реестр действий и операций основных рабочих профессий участка ДОФСР РОФ.

Исходя из оценки основных рисков в процессе профессиональной деятельности дробильщика на участке ДОФСР, к которым относятся: воздействие на человека бактерий; болезненное состояние работника, неспособность сознавать риск; нервно-психологическое состояние и др., необходимо предпринимать меры управления риском [6].

Таблица 4 – Действия и операции рабочих участка ДОФСР

№ п/п	Наименование профессии	Операции, действия, производимые в процессе профессиональной деятельности	
		Общие	Профессиональные
1	Дробильщик	Движение по территории цеха и на рабочем месте. Переодевание в душевой, помывка в моечном отделении. Участие в собраниях.	Эксплуатация и обслуживание оборудования. Производство погрузочно-разгрузочных работ. Ремонтные (аварийные) работы. Работы по уплотнению вагонов. Регулировка щели дробилок. Уборка территорий участка, рабочего места.
2	Бункеровщик приемного бункера		Эксплуатация и обслуживание оборудования (смазка питателей, состояние ограждений, наличие материала в бункерах). Производство погрузочно-разгрузочных работ. Ремонтные (аварийные) работы.
3	Грохотовщик		Эксплуатация и обслуживание оборудования (контроль за состоянием грохотов, смазка оборудования). Производство погрузочно-разгрузочных работ. Ремонтные (аварийные) работы. Замена сит на грохотах. Работы по уплотнению вагонов.
4	Машинист конвейера		Эксплуатация и обслуживание оборудования (контроль за состоянием приводов конвейера, смазка ленточных питателей). Уборка территорий участка, рабочего места.
5	Сепараторщик		Эксплуатация и обслуживание оборудования (контроль за состоянием сепараторов, смазка оборудования). Производство погрузочно-разгрузочных работ. Уборка территорий участка, рабочего места.

В таблице 5 приведены имеющиеся меры управления рисками и рекомендуемые мероприятия.

В таблице 6 приведен фрагмент карты оценки рисков дробильщика при эксплуатации и обслуживании оборудования на участке ДОФСР [17].

Согласно таблице 6 при эксплуатации и обслуживании

оборудования дробильщик подвержен рискам получения травм, связанных как с состоянием оборудования, так и с состоянием рабочего.

По результатам выполненной оценки условий труда и выявлению опасностей разрабатываются эталоны рабочего места [15].

Таблица 5 – Меры управления по выявленным рискам

Перечень опасностей	Имеющиеся меры управления	Мероприятия по снижению уровня риска
Воздействие на человека бактерий, вирусов, грибов, животных, насекомых, растений	Обработка территории, прохождение медосмотров, вакцинация персонала, выдача репеллентов, СИЗ	Приобретение приборов ультразвукового действия для отпугивания животных
Болезненное состояние работника	Проведение оздоровительных программ	Восстановление работы здравпункта круглосуточно. Приобретение комплектов электроразрядников для проведения реанимационных действий. Обучение персонала порядку использования электроразрядных комплектов для реанимации.
Неспособность сознавать риск (недостаточный уровень обучения, опыта, компетентности, недостаточной информированности, недостаток практики и опыта)	Проведение инструктажей. Повышение квалификации. Обучение в «Школе безопасности». Обучение РСС оценке рисков.	Приобретение телевизоров для комнат сменно-встречных собраний. Разработка видеoinструкций по профессиям и порядку выполнения тренировок по опасным технологическим операциям.
Движущиеся и вращающиеся части машин и механизмов	Наличие ограждений.	Установка ограждений поддерживающих роликов вдоль конвейера
Физическая динамическая нагрузка при подъеме, перемещении грузов, тяжестей вручную	Соблюдение норм переноски тяжестей вручную	Установка тельфера в здании сортировки и зумпфа конвейера
Запылённость	СИЗ, аспирация, вентиляция	Модернизация аспирационных систем конвейеров
Разрушение зданий и сооружений, оборудования	Информированность об опасных зонах, ограждение опасных зон. Проведение ЭПБ. Своевременный ремонт. Ограждение опасных зон.	Устранение замечаний по ЭПБ галереи конвейеров ДОФСР

Таблица 6 – Карта оценки рисков дробильщика участка ДОФСР при эксплуатации и обслуживании дробилки

Опасность	Сценарий риска	Имеющиеся меры управления	Текущий риск	
			Вероятность (1-5)	Тяжесть (1-5)
Неспособность сознавать риск	Нервно-психическое напряжение, снижение работоспособности. Ошибки в трудовом процессе, конфликты, неуверенные действия, паника или бездействие в аварийной ситуации, травмы.	Проведение инструктажей. Повышение квалификации. Обучение в «Школе безопасности». Обучение РСС оценке рисков.	1	3
Нервно-психологическое состояние	Пониженная бдительность и осторожность. Ошибочные решения в следствии стресса, эмоциональных перегрузок, получение травм различной степени тяжести.	Исполнение инструкций по охране труда. Проведение тренировок. Прохождение психиатрического освидетельствования	1	4
Подвижность воздуха, сквозняки	Оказывает влияние на распределение вредных веществ. Простудные заболевания.	Соблюдение режима труда и отдыха, применение спецодежды	1	2
Электроопасность	Электротравмы – ожоги, металлические повреждения, электроофтальмия. Электрические удары	Контроль за исправностью электроприборов. Наличие видимого заземления. Проведение инструктажа по электробезопасности.	1	4
Скользкие поверхности	Травмы, растяжения, ушибы, летальный исход.	Периодическая очистка, посыпание противоскользящим материалом	1	4
Острые кромки ограждений, оборудования	Порезы, травмы.	Наличие и исправное состояние ограждений, информационных табличек, сигнальной окраски.	1	3

Обсуждение. Для снижения количества технических предпосылок возникновения происшествий на РОФ должны в соответствии с графиком проводиться инспекции и испытания следующих систем и оборудования:

- трубопроводов и их компонентов трубопроводов;
- систем аварийного отключения;
- систем аварийной сигнализации и управления;
- средств пожаротушения и пожаробезопасности.

При проведении инспекции должны быть проверены протоколы об обучении и инструктаже рабочих, осуществляющих операции на механическом оборудовании, а также соответствующие инструкции и протоколы проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту. Кроме того, во всех подразделениях должны быть в наличии перечни действий при возникновении внештатных ситуаций.

Для поддержания профессионального уровня рабочих на РОФ необходимо осуществлять теоретическое обучение и практические инструктажи [19]. Вводный инструктаж осуществляется с использованием современной мультимедийной компьютерной системы. Также при обучении персонала на РОФ особое внимание уделяется способам эвакуации пострадавших, оказании первой помощи, тушению пожаров и др. Сложностью процесса обучения является то, что невозможно в учебных целях натурно воспроизвести аварийную ситуацию. Поэтому при подготовке рабочих основных профессий традиционные теоретические занятия следует дополнить игровыми методами обучения, в т.ч. на тренажерах или штатном технологическом оборудовании. Такой подход позволяет минимизировать ущерб за счет уменьшения риска развития происшествия. Проблема также состоит в том, что традиционные программы

охраны труда и промбезопасности делают акцент на обучении персонала, игнорируя личность человека как основную причину в 80% аварий и происшествий [20].

Основная причина возникновения несчастных случаев на производстве связана с нарушениями рабочих, как при выполнении производственных операций, так и при нахождении на опасном производственно объекте. Поэтому на РОФ сделан упор на проведение работы с персоналом. Для этого была предложена новая система мотивации персонала к безопасному труду, а также внесены изменения в положение об оплате труда работников. В новой системе оплаты труда мастера участка увеличена премиальная часть заработной платы, также изменена структура показателей премирования. Кроме того, увеличили размер премии за выполнение показателя «соблюдение требований ОТиПБ (по бригаде)». Это существенно стимулировало усиление контроля за соблюдением требований ОТиПБ. По результатам проверок определяется показатель безопасности труда. На основании этих показателей определяется премия руководителя подразделения. Для проведения работ по повышению уровня компетентности рабочих была организована «Школа безопасности», в рамках которой проходят курсы по работе на высоте и газоопасных местах, пожарной безопасности и оказанию первой помощи. Для вовлечения всего персонала в создание безопасных условий труда во все подразделения обогатительной фабрики осуществляется информационная рассылка о несчастных случаях, которые произошли в подразделениях предприятия, а также проведён глобальный флешмоб на тему «Возьми безопасность домой».

Выводы. Выполненный анализ НС, происшеств-

вий и аварий на РОФ показал, что их основными причинами являются технологические нарушения, низкий уровень знаний рабочих требований промышленной безопасности, неисправности систем обеспечения и др. Важными мерами по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, аварий и инцидентов, реализации других опасностей, присущих РОФ, являются: техническое обеспечение безопасности, санитарно-техническое обеспечение гигиены, подготовка и управление персоналом, социальное партнерство работников с работодателем в организационной сфере охраны труда. Этим охрана труда полностью реализует принцип профилактики неблагоприятных событий [18].

В ходе выполнения исследования были предложены работы по идентификации опасных и вредных производственных факторов. Это позволило разработать для РОФ комплекс мероприятий, которые будут способствовать уровню повышения культуры безопасности труда, воспитывать сознательное отношение работников к вопросам безопасности, выявлять источники опасности и корректировать небезопасные действия и условия:

- мероприятия по профилактике производственного травматизма;
- мероприятия по снижению травматизма, повышению безопасности оборудования и улучшению условий труда;
- подготовка рабочих.

Выполнение работ по обеспечению безопасности на производстве необходимо выполнять систематически. Поэтому на предприятии регулярно проводятся мероприятия по предупреждению возникновения опасных ситуаций. В рамках профилактики травматизма был разработан комплекс программ, направленных на формирование у работников сознательного безопасного поведения на производстве и устойчивого самоконтроля.

С целью формирования более безопасных условий труда в ходе выполнения работы были предложены следующие пути снижения риска получения травм в результате НС персоналом на РОФ:

- совершенствование профессиональной подготовки персонала по ОТ и ПБ;
- поддержание оборудования в безопасном состоянии;
- создание комфортных условий рабочей среды;
- установление четкого порядка выполнения особо опасных работ.

Для обеспечения работы, направленной на снижение травматизма, при выполнении работы были предложены новые эффективные формы и методы виктимологической профилактики, которые обеспечат снижение травматизма на производстве:

- тест выявления склонности к виктимности работников РОФ и программный продукт «Виктимная система» для диагностики и учета соответствующих категорий рабочих;

- дидактические материалы для проведения тематических встреч по выбору и применению средств индивидуальной защиты органов дыхания и слуха;

- тренажеры по безопасному выполнению опасных технологических операций на участке дробления руд;

- тренинг «Пошаговые действия пострадавшего при легком несчастном случае» на основе результативной модели поведения пострадавшего;

- опросник для вовлечения персонала в оценку состояния ОТиПБ.

Предложенные формы и методы виктимологической профилактики, способствуют снижению производственного травматизма и могут быть использованы на предприятиях любых горно-металлургического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Особенности производственного травматизма в России / Е.Е. Барышев, Д.А. Малых, Г.В. Тягунов, Н.В. Якшина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 11-1(101). – С. 13-20. – DOI 10.23670/IRJ.2020.101.11.002. – EDN TGLBNF.
2. Челябинская Областная Организация Горно-металлургического Профсоюза России. URL: <https://www.gmpr74.ru/> (дата обращения: 05.01.2023). – Текст: электронный.
3. Система менеджмента качества на промышленном предприятии : учебное пособие / А.С. Лимарев, И.Ю. Мезин, Е.Г. Касаткина [и др.]. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2017. – 250 с. – ISBN 978-5-9967-0899-4. – EDN ZONZKN.
4. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ «Об утверждении профессионального стандарта «Машинист дробильно-помольных установок» от 11 января 2017г. №317.
5. Чапкаева, Д.Д. Управление профессиональной безопасностью и охраной труда в рамках интегрированной системы менеджмента / Д.Д. Чапкаева, А.С. Лимарев, Ю.В. Сомова // Качество в обработке материалов. – 2017. – № 2(8). – С. 32-35. – EDN ZXJSLX.
6. Gendler S.G. Optimization of expenditures for labor protection at deep mining/ S.G. Gendler, A.M. Grishina, E.A. Kochetkova// Eurasian Mining. – 2017. – № 2 – С. 35 - 39.
7. Gendler, S. G. Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the Far North of the Russian Federation / S. G. Gendler, M. L. Rudakov, E. S. Falova // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. – 2020. – Vol. 2020. – No 3. – P. 81-85. – DOI 10.33271/nvngu/2020-3/081. – EDN HFBVDE.
8. Rudakov, M.L. Occupational safety and health in the sector of coal mining / M.L. Rudakov, O.I. Kazanin, K.A. Kolvakh // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 2018. – № 6. – PP. 1333-1339. – ISSN Online: 0976-6316.
9. Rudakov, M.L. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining / M.L. Rudakov, Y.V. Derkach, K.A. Kolvakh // Journal of Environmental Management and Tourism, 2020. – № 3. – PP. 579-588. – DOI: 10.14505/11.3(43).
10. Rudakov, M.L. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses / M.L. Rudakov, E.N. Rabota, K.A. Kolvakh // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020. - № 4. – PP. 88-93. – DOI: 10.33271/2020-4/088
11. Итоги мониторинга травматизма на предприятиях горно-металлургического комплекса Челябинской области за 6 месяцев 2019г [Эл. ресурс] – Режим доступа: <https://www.gmpr74.ru/news/statistika-nepopravimoy-bespechnosti>.
12. Глухов, Ю.А. Производственный травматизм как ключевая проблема рудообогатительной фабрики металлургического предприятия / Ю.А. Глухов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сборник статей по материалам XCIV студенческой

международной научно-практической конференции, Новосибирск, 08 октября 2020 года. Том 10 (93). – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга", 2020. – С. 28-31. – EDN KQSNHF.

13. Gendler, S.G. Evaluation principles of the dust influence of mining enterprises on the environment / S.G. Gendler, M.L. Rudakov, V.S. Kuznetsov // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2019. – Vol. 56. – No 3. – P. 62-69. – DOI 10.2478/lpts-2019-0020. – EDN UJYIK.

14. Сомова, Ю.В., Глухов Ю.А. Снижение риска возникновения несчастных случаев на участке дробления руд ПАО «ММК» путем совершенствования подготовленности персонала в области охраны труда и промышленной безопасности / Ю.В. Сомова, Ю.А. Глухов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования – Магнитогорск – Изд-во Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – 2019. – №1 – Т. 10 – С. 110-115.

15. Gendler, S.G. Assessment of the labour protection condition in the vertically integrated coil companies on the basis of risk-based approach to analysis of industrial injuries / S.G. Gendler, A.M. Grishina, L.Y. Samarov // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018 : 11th, Potsdam, 07–08 ноября 2018 года. – Potsdam, 2019. – P. 507-514. – EDN JUMVCZ.

16. 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. – EDN YMJEUU.

17. Magomet, R.D. Methodological approach to issue of researching dust-explosion protection of mine workings of coal mines / R.D. Magomet, V.A. Rodionov, V.B. Solovov // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 10. – No 2. – P. 1154-1161. – EDN AEGAYG.

18. Худяков, Ю.Г. и др. Управление опасностями производственной среды: монография / Ю.Г. Худяков, Н.Г. Николайкин, В.Э. Андрусев – М.: Проспект. – 2019. – 128 с.

19. Сычугов, Д.П. Выбор приоритетных направлений по снижению уровня риска для обеспечения безопасных условий труда / Д.П. Сычугов, Ю.В. Сомова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : Тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 20–24 апреля 2020 года. Том 2. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2020. – С. 8. – EDN NIDDHJ.

20. 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. – EDN FXSINL.

Статья поступила в редакцию 30.03.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК: 629.5.047-056.24

EDN: XRACFQ

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭВАКУАЦИИ ЛИЦ
С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

© Авторы 2023

SPIN: 1802-8598

AuthorID: 1165556

ORCID: 0000-0002-7016-8162

ResearcherID: НКО-4622-2023

УГАРОВА Ирина Михайловна, аспирант кафедры Техносферная безопасность*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: ugarova260304@mail.ru)*

SPIN: 6149-6300

AuthorID: 796839

ORCID: 0000-0002-4615-5628

ResearcherID: AAB-8546-2022

ScopusID: 57218105822

ПРОСИН Максим Валерьевич, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры Техносферной безопасности

*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: prosinmv@yandex.ru)*

SPIN: 7131-3394

AuthorID: 1035563

ORCID: 0000-0001-8766-9054

ScopusID: 57224922884

ТУРОВА Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры Техносферная безопасность

*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: natalya_turova@inbox.ru)*

SPIN: 3644-1924

AuthorID: 1095090

ORCID: 0000-0003-1518-4044

ScopusID 57224930567

СТАБРОВСКАЯ Елена Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферная безопасность*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: helist@inbox.ru)*

Аннотация: В статье рассмотрена проблема обеспечения пожарной безопасности зданий больниц, хосписов и домов престарелых. Каждый двенадцатых житель Российской Федерации – это взрослый или ребенок с ограниченными возможностями здоровья. Тема безопасной эвакуации маломобильных граждан по сей день является актуальной в изучении. В статье приведена статистическая сводка пожаров на территории Российской Федерации по различным объектам функционального назначения. Выявлено, что порядка 211 случаев пожаров доводится на объекты здравоохранения и социальной защиты за 6 месяцев 2022 года. Также приведен анализ смертности людей с ограниченными возможностями здоровья в результате воздействия опасных факторов пожара. Произведен анализ существующих технических средств и решений в области эвакуации лиц с ограниченными возможностями здоровья, выявлены их достоинства и недостатки. Стоит отметить, что процесс эвакуации маломобильных людей ложится на плечи медперсонала и требует от них особой физической подготовки. По результатам отмеченных недостатков существующих технических средств и решений предложено новое техническое средство для безопасной эвакуации и спасения рассматриваемой категории лиц, которое представляет собой безопасную наружную зону по периметру всего здания с выходом на улицу, а также с расположенными лифтами по углам здания.

Ключевые слова: пожарная безопасность, ограниченные возможности здоровья, маломобильные граждане, эвакуация, эвакуационный процесс, пожаробезопасная зона, эвакуационный стул, эвакуационный матрас, мягкие носилки-волокуши, жесткие волокуши, эвакуационная подложка.

**TECHNICAL MEANS AND SOLUTIONS IN THE FIELD OF EVACUATION
OF PERSONS WITH LIMITED HEALTH OPPORTUNITIES**

© The Author(s) 2023

UGAROVA Irina Mikhailovna, post-graduate student of Technosphere Safety**PROSIN Maksim Valerievich**, candidate of technical sciences, docent,

associate professor of the department of Technosphere Safety
TUROVA Natalia Nikolaevna, candidate of technical sciences, docent,
associate professor of the department of Technosphere Safety
STABROVSKAYA Elena Igorevna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Technosphere Safety

Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya street, 6,

e-mails: ugarova260304@mail.ru, prosinmv@yandex.ru, natalya_turova@inbox.ru, helist@inbox.ru)

Abstract. The article considers the problem of ensuring fire safety of buildings of hospitals, hospices and nursing homes. Every twelfth resident of the Russian Federation is an adult or a child with disabilities. The topic of safe evacuation of people with limited mobility is still relevant in the study. The article presents a statistical summary of fires on the territory of the Russian Federation for various objects of functional purpose. It was revealed that about 211 cases of fires are brought to health and social protection facilities for 6 months of 2022. The analysis of mortality of people with disabilities as a result of exposure to fire hazards is also given. The analysis of existing technical means and solutions in the field of evacuation of persons with disabilities is carried out, their advantages and disadvantages are revealed. It is worth noting that the process of evacuation of people with limited mobility falls on the shoulders of medical staff and requires special physical training from them. Based on the results of the noted shortcomings of existing technical means and solutions, a new technical means for the safe evacuation and rescue of the category of persons in question is proposed, which is a safe outdoor area around the perimeter of the entire building with access to the street, as well as with elevators located at the corners of the building.

Keywords: fire safety, disabled people, people with limited mobility, evacuation, evacuation process, fire-safe zone, evacuation chair, evacuation mattress, soft stretcher-travois, rigid travois, evacuation substrate.

Для цитирования: Угарова И.М. Технические средства и решения в области эвакуации лиц с ограниченными возможностями здоровья / И.М. Угарова, М.В. Просин, Н.Н. Турова, Е.И. Стабровская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 143-148. – EDN: XRACFQ.

Введение. В настоящее время, в условиях стремительного технологического прогресса, весьма актуальной остается пожарная безопасность. Пожар является одной из главных угроз, как в быту, так и на производстве [1, 2].

Только на территории Российской Федерации за 6 месяцев 2022 года порядка 37,51 % пожаров произошло в зданиях и сооружениях различного назначения, это второе место после пожаров на открытых территориях (57,40 %). Распределение пожаров по объектам различного многофункционального назначения составило следующим образом: лидирующее место занимают здания жилого назначения, где количество пожаров приходится порядка 58919 тысяч, затем бесхозные (7330 тыс.) и иные объекты (3570 тыс.). Не малое количество пожаров произошло и на производственных, а также торговых объектах. Но особое внимание стоит обратить на объекты здравоохранения и социальной защиты, на которых порядка 142 случаев пожаров [3, 4, 5].

Чаще всего на пожарах гибнут люди пенсионного возраста, а также инвалиды. Если судить о количестве погибших за 6 месяцев 2022 года, то инвалидов составило 221, а пенсионеры 1550 человек. Обусловлено это тем, что у пожилых людей значительно снижена реакция на различные экстренные ситуации и скорость передвижения меньше, чем у обычного человека, в связи с нарушениями равновесия и ходьбы [6].

Цель исследования заключается в обнаружении проблем безопасной эвакуации лиц с ограниченными возможностями здоровья (далее – ОВЗ) и разработка

решений, которые смогут способствовать улучшению ситуации.

Специалисты по пожарной безопасности работают на местах, внедряя системы защиты окружающей среды, людей, зданий и дикой природы от воздействия огня. В частности, каждый работодатель должен обеспечить безопасность нахождения и благосостояние на работе всех сотрудников, посетителей, широкой общественности и клиентов. Работодатели должны убедиться, что нет никаких рисков для жизни и здоровья работников, связанных с использованием, обращением или хранением материалов и веществ, а также обеспечить надлежащие условия для безопасной рабочей среды [7].

На сегодняшний день государство уделяет все большее внимание вопросу организации безопасной эвакуации лиц с ОВЗ, которые также относятся к категории маломобильных граждан (далее – МГН). Большое количество авторов в своих научных и публицистических работах используют термин «инвалид» и «лицо с ОВЗ», как синонимы. Считается, что термин «лицо с ОВЗ» это новейшая форма истолкования термина «инвалид» и более тактичное по отношению к рассматриваемой категории лиц. В данной работе термин «МГН», «инвалид» и «лицо с ОВЗ» трактуются как синонимы [8].

Процесс эвакуации МГН из больниц, хосписов, домов престарелых, а также иных мест общественного массового пребывания ложится на плечи работников, и требует от них особую подготовку. Так же отдельные требования предъявляются к физической подготовке сотрудника и к умению пользоваться аварийно-

спасательным оборудованием. Существующие персональные эвакуационные и спасательные средства, с помощью которых медперсонал может перевозить МГН по горизонтальным и вертикальным путям эвакуации, ведущих в эвакуационные или аварийные выходы, имеют ряд существенных недостатков.

Методология. Для решения рассматриваемой проблемы предусмотрены следующие технические средства и решения в области эвакуации лиц с ОВЗ.

Если учитывать особенности физических возможностей престарелых, обуславливающие невысокую скорость передвижения и необходимость огромных усилий персонала при спасении людей, неспособных к самостоятельным эвакуациям, то протяженность пути, по которому они движутся, должна быть по возможности сокращаться до минимума, не нарушая при этом функциональных процессов работы социального учреждения. С этой

целью предусматривается не менее одной пожаробезопасной зоны (далее – ПБЗ) на этаже в пределах помещений одного пожарного отсека для инвалидов, которые не могут эвакуироваться самостоятельно [9, 10].

Таким образом, в здании возможна организация ПБЗ по трем вариантам, представленным на рисунке 1, а именно:

- размещение ПБЗ в отдельном помещении;
- в отдельном помещении, в лестничной клетке типа Н-2;
- в лестничной клетке типа Н-3.

Так же в стационаре возможно использование, для облегчения процесса спасения людей по лестнице, специального устройства, обеспечивающего спуск по ступенькам лестничных маршей. Таким устройством может быть эвакуационный стул, представленный на рисунке 2.

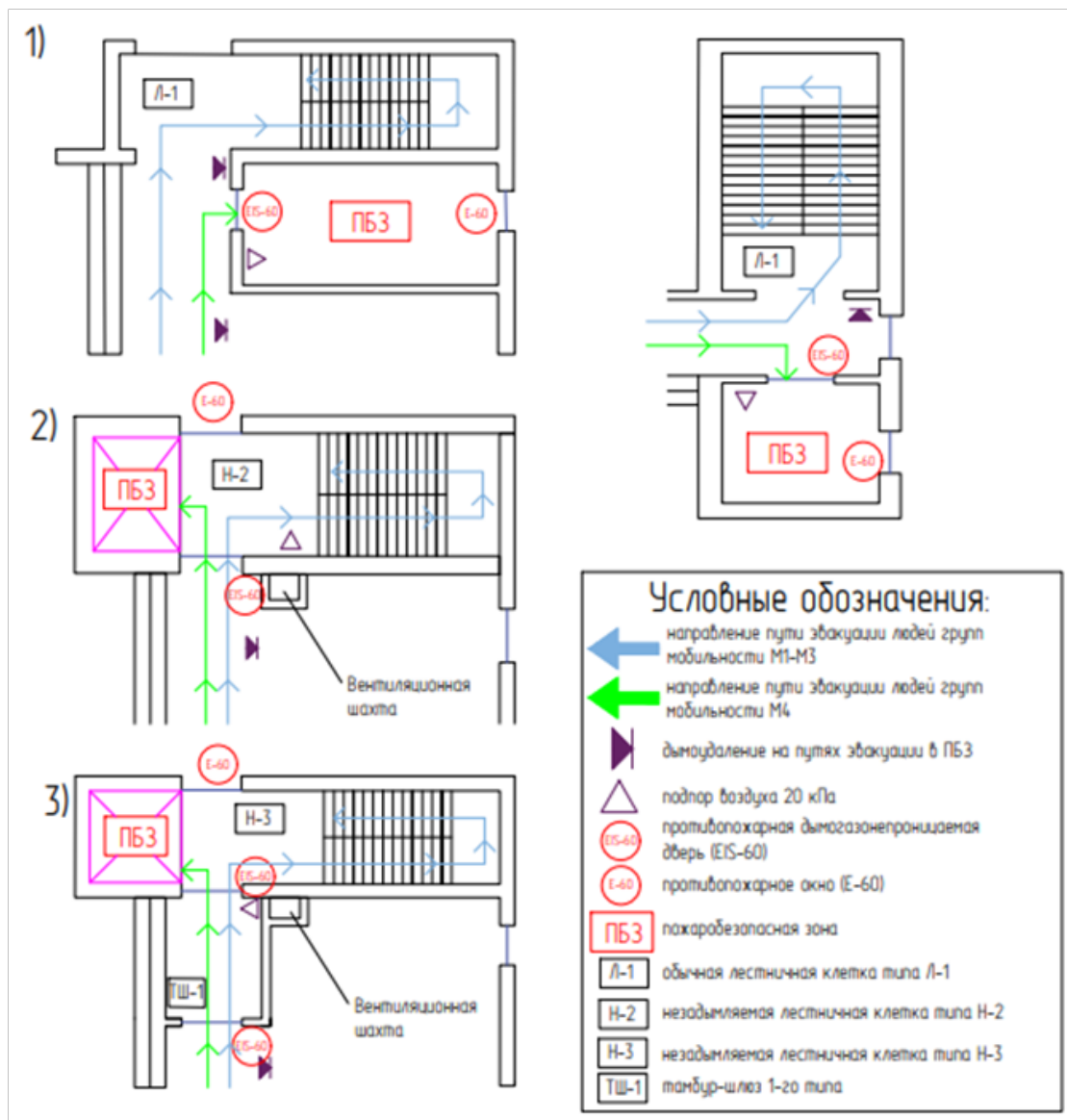


Рисунок 1 – Организация безопасных зон для инвалидов в здании

1 – размещение ПБЗ в отдельном помещении; 2 – размещение ПБЗ на лестничной клетке типа Н-2;

3 – размещение ПБЗ в лестничной клетке типа Н-3



Рисунок 2 – Эвакуационный стул (кресло) и его основные узлы
1 – сиденье, 2 – ремни безопасности, 3 – верхняя рама, 4 – подголовник, 5 – задняя опорная стойка, 6 – колеса

Пользуясь эвакуационным стулом, стоит отметить его сильные стороны, а именно вес спасаемого будет равномерно распределен по всей его конструкции. Это дает возможность свободно маневрировать данным техническим средством при проведении эвакуации и спасении людей с ОВЗ и других МГН по горизонтальным участкам пути, а также по лестничным маршам. Управлять стулом может 1 человек [11,12].

Еще одним их технических средств является индивидуальное спасательное средство, а точнее носилки-волокуши [13]. Они используются самими

сотрудники специализированных учреждений для эвакуации лиц с ограниченной подвижностью из пожароопасных зон в безопасные, а также для выхода на горизонтальные пути или лестничные марши. Носилки-волокуши подходят для помещений и коридоров ограниченных размеров, а также для труднодоступных мест.

Стоит отметить, что процесс эвакуации осуществляется безопаснее и быстрее по сравнению с другими существующими техническими средствами. По исполнению они могут быть разделены на 3 вида, представленные на рисунке 3.



Рисунок 3 – Эвакуационные носилки
1 – мягкие носилки-волокуши; 2 – жесткие волокуши (сани); 3 – эвакуационная подложка

1. Мягкие носилки – волокуши. Для транспортировки МГН по коротким сторонам имеются ляжки, образующие продольные тяговые петли. Некоторые модели имеют ремни для фиксации головы. Идеально подходит для пациентов, которым необходимо находиться в положении лежа на спине или люди, которые не могут сидеть в эвакуационном стуле.

2. Жесткие волокуши (сани). Схожи по строению с мягкими носилками, но имеют немного больше размеры. Стандартный размер 91 × 221 см, нестандартный размер для людей с избыточным весом 122 × 221 см. Применяются для транспортировки крупных пациентов. Также подходят для спасения детей ростом 160 см. Оснащены мягкой вставкой

и имеют дополнительное место для медицинского оборудования.

3. Эвакуационные подложки. Эвакуационная подложка прикреплена с помощью эластичных лямок к нижней части больничного матраса, что позволяет приступить к проведению экстренной эвакуации пациента на его же матрасе. Перемещение осуществляется за счет скольжения матраса с подложкой по полу и лестницам.

Результаты. Однако можно выявить ряд недостатков ПБЗ: возникают вопросы воздухообеспечения; лимит запаса прочности дверей и стен; неэффективность нахождения человека на продолжительное время; а также вмещаемое количество

людей.

Эвакуационный стул также не лишен некоторый недостатков, а именно стоит отменить необходимость соответствия физической подготовки сотрудников, например, у представительниц женского пола могут возникнуть некоторые трудности. Так девушкам и женщинам потребуется значительно больше сил при перекладывании спасаемого с койки на кресло. Также стоит обратить внимание на количество производимых рейсов по спасению, а вместе с тем и выносливость сотрудника

На фоне всех выявленных преимуществ носилок – волокуш, есть и ряд недостатков:

- необходимость 2-х и более сотрудников для перекладывания пациента с кровати на спасательное средство;
- стоит обратить внимание на наличие травм, что может затруднить процесс эвакуации;
- количество производимых рейсов;
- физическая подготовленность сотрудников.

Обсуждение. Техническая цивилизация не стоит на месте, и, соответственно, вместе с этим противопожарная безопасность остается одной из

актуальных тем исследований для дальнейшей ее модернизации. Именно поэтому по результатам проведенного анализа существующих технических средств и решений в области эвакуации лиц с ОВЗ разработана следующая рекомендация.

Рекомендуется предусматривать наружные зоны безопасности, из которых люди могут эвакуироваться и спастись в течение более длительного времени. Наружные безопасные зоны могут быть использованы для всех групп мобильности. Согласно требованиям пожарной безопасности немобильные люди (НМ) и нетранспортабельные (НТ) не могут быть расположены на втором и выше этажах. Но стоит отметить, что с помощью данного устройства возможно спасение даже данной категории лиц. На 2-м, 3-м и любом другом этаже объекта здравоохранения или социального учреждения для проживания инвалидов и пенсионеров можно использовать открытые балконы, выход на которые должен быть обеспечен прямо из помещений (палат, комнат) пациентов, престарелых.

На рисунке 4 представлено графическое изображение предлагаемого решения.



Рисунок 4 – Наружная схема расположения безопасной зоны

В качестве вертикальных коммуникаций для спуска (возможен и подъем) людей к уровню земли с каждого этажа защищенной зоны предусматриваются лифты (подъемники) с автономными источниками питания (подключенных к общей системе электроснабжения), расположенных по углам здания. На случай отключения электросети предусмотрено автоматическое переключение на механическое срабатывание. Оно состоит из:

1. Самовтягивающее блочное устройство – предусматривает спуск спасаемого вне зависимости от весовой категории с одной и той же скоростью.
2. Систем грузов – предусматриваются для подъема платформы, лифта в исходное положение, в исходную точку здания.

Схема действия платформы при автоматическом режиме работы: работник выкатывает кровать со спасаемым через предусмотренный выход в комнате на наружную безопасную зону. Ширину выхода предусмотреть 1,2 м, стандартный размер кровати принять 1950 × 700 мм, ширину подъемника 2100 × 1100 мм. Далее кровать с пострадавшим выкатывается на платформу. При нажатии соответствующей кнопки

приводится в действие устройство (лифт), которое начинает движение по установленным на стене направляющим. Ограждение подъемника может быть выполнено из металлических листов, металлической сетки. Также лифт может быть выполнен в виде закрытой «кабины». Спасаемому в момент спуска не обязательно находиться в подъемнике со спасаемым, что позволит ему приступить к эвакуации остальных людей. Снизу организуется встреча вторым сотрудником.

Безопасная зона расположена по периметру всего здания, ширина составляет 2 м. Варианты крепления могут быть спроектированы по желанию заказчика: плотное большое основание, каркасное основание; установка колонн. Конструктивно отделить от примыкающих помещений противопожарными преградами (стены), имеющими пределы огнестойкости REI 90.

Выводы. Подводя итог, следует выделить основную мысль данной статьи – необходимо создавать такие требования и условия, которые позволят спасти жизни людей не только полностью дееспособных, но и тех, что имеют ряд ограничений

со здоровьем [14, 15]. Все это делается для того, чтобы люди с инвалидностью чувствовали себя нужными и понимали, что они важны для страны и государства в целом [16].

Благодаря масштабной работе, проводимой в Российской Федерации и за ее пределами, общество стремится вовлечь людей с ограниченными возможностями здоровья в социально активную жизнь. Имея такую цель, разрабатываются и внедряются различные цифровые передовые технологии. Социальные структуры международных, национальных и региональных уровней всячески содействуют в реализации и внедрении проектов любой сложности [17-20].

Несомненно, хочется иметь безопасный уровень жизни, не подвергаясь стрессу и риску возникновения чрезвычайных ситуаций. Но, как правило, практика показывает, возможны любые непредсказуемые ситуации, в которых необходимо не растеряться и принять верное решение. Понятно, что нужно спасти, но надо спасти так, чтобы не навредить. Поэтому необходимо разрабатывать такие средства, которые помогут сохранить жизнь маломобильного человека, человека с ОВЗ, и сохранить его здоровье. И именно по этой причине основной задачей науки и техники является разработка новых устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стабровская Е.И., Турова Н.Н., Васильченко Н.В., Просин М.В., Чалаташвили М.Н. Применяемые виды подготовки личного состава газодымозащитной службы в непригодной для дыхания среде // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2021. – № 3. – С. 63-77.
2. Моисеев А.А., Бесперстов Д.А., Просин М.В. Состояние уровня охраны труда на современных производственных предприятиях Российской Федерации // Сборник III национальной конференции «Современные тенденции развития науки». – 2020. – С. 53-55.
3. Угарова И.М., Просин М.В., Васильченко Н.В., Турова Н.Н., Стабровская Е.И. Анализ причин возникновения пожаров в социальных стационарных учреждениях и домах содержания пенсионеров и инвалидов // Холодильная техника и биотехнологии: Сборник тезисов IV национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2022. – С. 235-238.
4. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории РФ [Электронный ресурс] // Департамент надзорной деятельности и профилактической работы, 2022. – URL: <https://39.mchs.gov.ru>
5. Несина А.С., Просин М.В., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Моисеев А.А. Сравнительный анализ пожаров в России и в развитых индустриальных странах // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – 2021. – Том 2. – С. 218-220.
6. Якушева А.А., Несина А.С., Стариков Я.Д., Просин М.В., Лачугин А.А. Пожарная безопасность для людей преклонного возраста // Холодильная техника и биотехнологии - Сборник тезисов III национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 127-128.
7. Выговтов А.В., Королев Д.С., Калач А.В. Способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. – 2021. – № 4. – С. 1-8.
8. Фомин А.И., Бесперстов Д.А., Угарова И.М., Просин М.В., Волгина Е.А., Погорелов В.И. Методика оценки безопасной эвакуации маломобильных граждан из зданий

различного функционального назначения посредством уточнения параметров эвакуационного // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 4. – С. 52-58.

9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ. Последняя редакция. Москва: ЦЕНТРАГ, 2022. – 144 с.

10. СП 59.13330.2016. Свод правил. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2020 № 904/пр). – Введен 01.07.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659328>

11. Самошин Д. А., Истратов Р.Н. Экспериментальная оценка эффективности эвакуационного стула для спасения людей с ограниченными возможностями при пожаре // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 3(49). – 6 с.

12. Алексеев В. А., Макашин В.А., Томакова Р.А. Обеспечение эвакуации людей, имеющих ограниченные физические возможности из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2016. – № 4(11). – С. 65-68.

13. Корсунский Н.А., Рюмшина А.С., Томакова Р.А. Проблемы и средства эвакуации граждан пожилого возраста и инвалидов в случае пожара // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2016. – № 4 (11). – С. 69-72.

14. Костерин И.В., Новичкова Н.Ю., Присадков В.И. Повышение уровня культуры пожарной безопасности граждан пожилого возраста и людей с ограниченными возможностями здоровья // Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, посвященной году гражданской обороны. – 2017. – С. 638-640.

15. Мельник О.Е., Сидоркин В.А., Чистяков А.А. Особенности и направления совершенствования противопожарной работы с маломобильными группами населения // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. – 2020. – № 3. – С. 23-29.

16. Смирнова Т.Н., Матюшин А.В. Противопожарная пропаганда и обучение мерам пожарной безопасности граждан пожилого возраста и инвалидов // Пожарная безопасность. – 2013. – № 4. – С. 114-120.

17. Угарова И.М., Бесперстов Д.А., Просин М.В. К вопросу о проблеме обеспечения безопасной эвакуации детей с ограниченными возможностями здоровья в пожароопасной ситуации // Холодильная техника и биотехнологии: Сборник тезисов IV национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2022. – С. 230-232.

18. Метелева Е.В., Просин М.В., Резниченко И.Ю. Цифровая трансформация в области промышленной безопасности и охраны труда // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – 2021. – Т. 2. – С. 216-217.

19. Киздермишова С.Х., Кучинская Е.А., Кулакова В.О., Ботвинский М.С. Из опыта профилактической работы в области пожарной безопасности // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 3 (10). – С. 178-185.

20. Выговтов А.В., Королев Д.С., Калач А.В. Способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. – 2021. – № 4. – С. 1-8.

Статья поступила в редакцию 25.03.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 378.14
EDN: XGXJYH

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ НЕСНИЖАЕМОГО ЗАПАСА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

© Автор(ы) 2023
SPIN: 2462-6195
ORCID: 0000-0002-7502-386X
ResearcherID: U-5723-2018
Scopus ID: 57215931961

СЕНЧЕНКО Владимир Александрович, главный специалист по охране труда
Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком»

(400066, Россия, г. Волгоград, ул. Донецкая 7 – 142, e-mail: Vladimir.senchenko1973@gmail.com)

SPIN: 9801-3490
AuthorID: 704170
ORCID: 0000-0002-7423-4892
ResearcherID: P-5020-2015
ScopusID: 6507592108

КАВЕРЗНЕВА Татьяна Тимофеевна, кандидат технических наук, доцент
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.29, e-mail: kaverztt@mail.ru)

SPIN: 1353-8309
AuthorID: 970943
ORCID: 0000-0001-6319-5413
ScopusID: 57210910552

СКРИПНИК Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России,
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149, e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru)*

SPIN: 7495-6349
AuthorID: 426114
ORCID: 0000-0001-7912-8864

САВЕЛЬЕВ Дмитрий Вячеславович, кандидат военных наук, доцент

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России,
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149, e-mail: dimon404@mail.ru)*

Аннотация. Действующая методика, изложенная в приказе Минтруда РФ № 976н, позволяет работодателю при подтвержденной эффективности средств индивидуальной защиты (СИЗ) и соблюдении ряда требований к классу (подклассу) условий труда уменьшить на одну ступень класс (подкласс) условий труда. Эффективность СИЗ подтверждается экспертами в результате комплексной оценки, включающей в себя соблюдение определенных требований к СИЗ и оценку определенных методикой показателей. Одним из показателей, входящих в комплексную оценку эффективности СИЗ, является показатель, оценивающий наличие неснижаемого запаса СИЗ. В статье предложено повысить требование к оценке этого показателя. Существующая методика предполагает субъективный подход к определению данного показателя с помощью одного из экспертных методов и не позволяет учесть антропометрические особенности работников (при оценке качества использования СИЗ в части обеспечения неснижаемого запаса СИЗ). Отсутствие проверки СИЗ в соответствии с его типоразмерами также ставит под сомнение правомочность самой оценки. Предложен количественный метод оценки неснижаемого запаса СИЗ, позволяющий учесть антропометрические параметры работников, оценка проведена на примере обеспечения предприятия Волгоградского филиала ПАО «РТК» необходимой защитной обувью. На основании анализа данных выдачи типоразмеров защитной обуви работникам за три последних года проведено обоснование для оценки неснижаемого запаса с учетом типоразмерного ряда. Учет антропометрии работников при определении неснижаемого запаса СИЗ позволит предприятию гарантированно обеспечить наличие нужного типоразмера СИЗ каждому работнику.

Ключевые слова: СИЗ, средства защиты ног, анализ данных, спецобувь, оценка эффективности СИЗ.

IMPROVING THE ASSESSMENT OF THE IRREDUCIBLE STOCK OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

© The Author(s) 2023

SENCHENKO Vladimir Alexandrovich, chief occupational safety specialist
PJSC Rostelecom

(400066, Russia, Volgograd, Donetskaya str. 7-142, e-mail: vladimir.senchenko1973@gmail.com)

KAVERZNEVA Tatyana Timofeevna, candidate of technical sciences,

associate professor of the Higher School of Technosphere Safety
St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great
(195251, Russia, St. Petersburg, Politekhnicheskaya street, 29, e-mail: kaverzneva_tt@spbstu.ru)

SKRIPNIK Igor Leonidovich, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Production
St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149, e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru)

SAVELYEV Dmitry Vyacheslavovich, candidate of military sciences, associate professor,
associate professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Production
St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149, e-mail: dimon404@mail.ru)

Abstract. The current methodology, set out in the order of the Ministry of Labor of the Russian Federation No. 976n, allows the employer with confirmed effectiveness of personal protective equipment (PPE) and compliance with a number of requirements for the class (subclass) reduce the class (subclass) of working conditions by one step. The effectiveness of PPE is confirmed by experts as a result of a comprehensive assessment, which includes compliance with certain requirements for PPE and evaluation of indicators determined by the methodology. One of the indicators included in the comprehensive assessment of the effectiveness of PPE is an indicator that assesses the presence of an irreducible supply of PPE. The article proposes to increase the requirement for the assessment of this indicator. The existing methodology involves a subjective approach to determining this indicator using one of the expert methods and does not allow taking into account the anthropometric characteristics of workers (when assessing the quality of PPE use in terms of ensuring an irreducible supply of PPE). The lack of verification of PPE in accordance with its standard sizes also casts doubt on the validity of the assessment itself. A quantitative method for assessing the minimum supply of PPE is proposed, which allows taking into account the anthropometric parameters of workers, the assessment was carried out on the example of providing the enterprise of the Volgograd branch of PJSC RTK with the necessary protective footwear. Based on the analysis of the data on the issuance of standard sizes of protective footwear to employees over the past three years, a rationale was made for estimating the minimum stock, taking into account the standard size range. Taking into account the anthropometry of employees when determining the minimum supply of PPE will allow the enterprise to ensure the availability of the required size of PPE for each employee.

Keywords: PPE, foot protection, data analysis, safety shoes, evaluation of the effectiveness of PPE.

Для цитирования: Сенченко В.А. Совершенствование оценки неснижаемого запаса средств индивидуальной защиты / В.А. Сенченко, Т.Т. Каверзнева, И.Л. Скрипник, Д.В. Савельев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 149-154. – EDN: XGXJYH.

Введение. Эффективное управление профессиональными рисками предполагает контроль за качеством мероприятий по охране труда (ОТ) на производстве [1-3], в том числе, за выдачу и грамотное использование СИЗ. Непрерывно совершенствуются методики оценки состояния условий труда (УТ) [4,5], разрабатываются мероприятия по улучшению качества обучения работников правилам безопасности при рабочих процессах и усилению мотивации к безопасному труду [6,7]. Несмотря на предпринимаемые усилия, травматизм во многих отраслях остается по-прежнему высоким [8-10], а вредные УТ на рабочих местах обуславливают необходимость использования СИЗ.

СИЗ, широко применяемые на производстве, снижают воздействие на персонал вредных и (или) опасных производственных факторов (ВОПФ). При выявлении вредных УТ работнику предоставляются дополнительные льготы, а работодатель в этом случае несет дополнительные затраты в фонд оплаты труда, а также социальные отчисления во внебюджетные фонды.

Анализ [11,12] показал, что применение обслуживающим персоналом качественных СИЗ улучшает защищенность персонала. Методика стимулирует

работодателя к приобретению таких СИЗ, поскольку на основании оценки их эффективности возможно понижение класса (подкласса) УТ (эффективность документально подтверждается экспертами) и уменьшается финансовая нагрузка предприятия на оплату дополнительных льгот.

Согласно [13] качество использования СИЗ проводится с помощью оценки набора показателей. Один из них $K_{из}$ характеризует наличие (количество) неснижаемого запаса СИЗ. Он определяется на основании наличия (присутствия) СИЗ, необходимого для обеспечения персонала при работе во вредных УТ сроком более 1 месяца; присутствия мест хранения, ремонта или договора на предоставление услуг. Оценка показателя считается положительной в случае присутствия рассмотренных характеристик (показателей), в другом случае – отрицательной.

Так как Методика, изложенная в [13], не приводит количественных методов и критериев оценки этого показателя, он может оцениваться экспертами субъективно.

Качество применения СИЗ оценивается экспертным путем, каждому показателю присваивается балл таким образом, что

$$\sum_{i=1}^n K_i, \bar{i} = 1,9, \text{ где } n - \text{число показателей.} \quad (1)$$

Уменьшение класса (подкласса) УТ проводится в отношении ВОПФ, который данный СИЗ защищает.

При соблюдении ряда параметров, указанных в пункте 44 [13] имеется возможность уменьшить подкласс на 1 ступень.

Методология. Исследование направлено на улучшение комплексной оценки эффективности СИЗ в части уточнения показателя оценки наличия (количества) неснижаемого запаса ($K_{нз}$), что повысит достоверность оценки СИЗ и эффективность системы управления ОТ в целом. Проактивный подход к управленческим процессам предполагает выбор и обоснование критериев, определяющих эффективность всех элементов системы управления [14], поэтому при оценке эффективности СИЗ необходимо учитывать потенциальные риски неучтенных факторов и стремиться своевременно их выявлять. О своевременности применения превентивных мероприятий заявлялось в работе [15,16].

Показатель $K_{нз}$, оценивающий наличие неснижаемого запаса СИЗ, входит в комплексную оценку эффективности СИЗ с удельным весом в общем показателе 0,20. Этот показатель является одним из ключевых при принятии решения об уменьшении класса (подкласса) УТ. Однако Методика, представленная в [13], в своем составе не предполагает количественную оценку неснижаемого запаса СИЗ, учитывающей антропометрические параметры работников [17-19].

Положительная оценка $K_{нз}$ должна предполагать гарантированное наличие на складе СИЗ нужного типоразмера, то есть, размерный ряд на складе должен удовлетворять всех работников предприятия в необходимом объеме, что предполагает создание антропометрической базы данных работников предприятия.

Основными методическими принципами для решения поставленной задачи, являлись управленческий подход *Data driven*, методы оптимизации и теории вероятностей при обработке антропометрической базы данных работников.

Одним из главных аспектов управленческого подхода, именуемого *Data driven*, является подход к принятию решений, опираясь не на личный опыт и интуицию, а на анализ цифр. Основной практической целью профессиональной деятельности в науке о данных является обнаружение закономерностей в данных, а также извлечение знаний из данных в обобщенной форме.

Результаты. В оборотно-сальдовой ведомости ТМЦ (товарно-материальные ценности) по складу Волгоградского филиала ПАО «РТК» имеются данные о размерном ряде и количестве выданных СИЗ. Эти данные можно представить в разном виде: по подразделением, по МОЛ (материально-ответственные лица), размеру и так далее.

В таблице 1 приведены данные о выданных за 3 года (2020 – 2022 год) в Волгоградском филиале ПАО «РТК» ботинках зимних (мужских, женских, универсальных), в таблице 2 – о выданных ботинках и полуботинках (мужских, женских, универсальных).

Данные представлены по размеру и годам. В первой части таблицы 1 и 2 приведены результаты расчета выданной обуви в процентном содержании конкретного размерного ряда от общего количества пар обуви. На рисунках 1 и 2 визуальным образом представлены в форме объемной гистограммы данные о выданной обуви в Волгоградском филиале по годам.

Таблица 1 – данные о выданной обуви: Ботинки зимние (мужские, женские, универсальные) в Волгоградском филиале по годам

Размер	Выданное со склада количество, штук			Процент от общего количества штук, %		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
38	0	0	3	0,00	0,00	0,77
39	1	11	13	0,13	1,31	3,32
40	5	29	12	0,63	3,44	3,07
41	24	93	17	3,04	11,05	4,35
42	170	173	102	21,52	20,55	26,09
43	247	255	123	31,27	30,29	31,46
44	179	112	41	22,66	13,30	10,49
45	92	111	61	11,65	13,18	15,60
46	48	27	11	6,08	3,21	2,81
47	24	29	8	3,04	3,44	2,05
48	0	2	0	0,00	0,24	0,00
ИТОГО	790	842	391	100	100	100

Таблица 2 – данные о выданной обуви: Ботинки и полуботинки летние (мужские, женские, универсальные) в Волгоградском филиале по годам

Размер	Выданное со склада количество, штук			Процент от общего количества штук, %		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
37	0	0	2	0,00	0,00	0,24
38	0	2	8	0,00	0,15	0,95
39	4	9	16	0,79	0,70	1,90
40	9	40	15	1,79	3,10	1,78
41	45	89	102	8,93	6,89	12,13
42	166	242	233	32,94	18,73	27,71
43	179	338	229	35,52	26,16	27,23
44	55	280	125	10,91	21,67	14,86
45	35	227	70	6,94	17,57	8,32
46	10	56	32	1,98	4,33	3,80
47	1	9	7	0,20	0,70	0,83
48	0	0	2	0,00	0,00	0,24
ИТОГО	504	1 292	841	100	100	100

Основные закономерности в изменении размеров стоп, причины несоответствия размеров обуви параметрам стоп, антропометрические исследования по определению параметров «среднетипичной» стопы установлены авторами в работах [17-20]. Если предприятие при закупке СИЗ привлекает иностранных производителей, целесообразно в целях устранения несоответствий размерного ряда разных стран переходить к оценкам размера стопы (длины). Распределение стоп по длине в виде полученных гистограмм (по другим размерным признакам аналогично) при некоторых допущениях можно представить функцией плотности распределения вероятностей нормального закона, имеющей характерную колоколообразную форму (рис. 3).

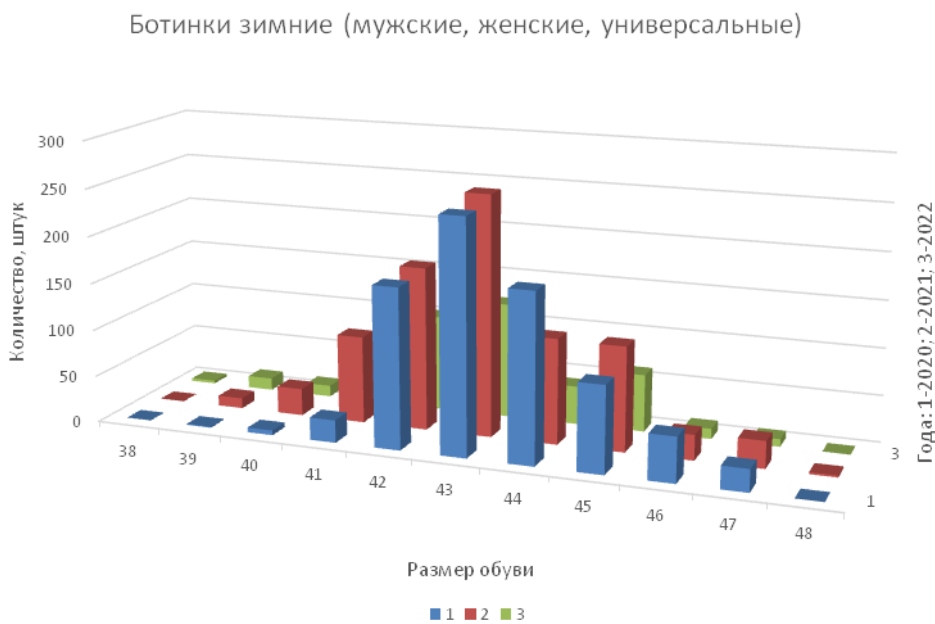


Рисунок 1 – Распределение типоразмера обуви по годам: Ботинки зимние (мужские, женские, универсальные)

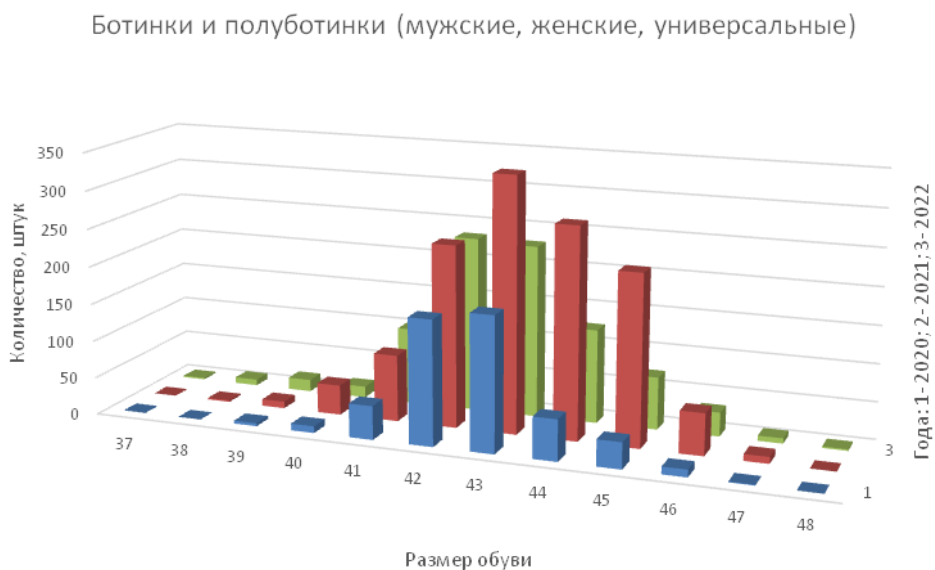


Рисунок 2 – Распределение типоразмера обуви по годам: Ботинки и полуботинки летние

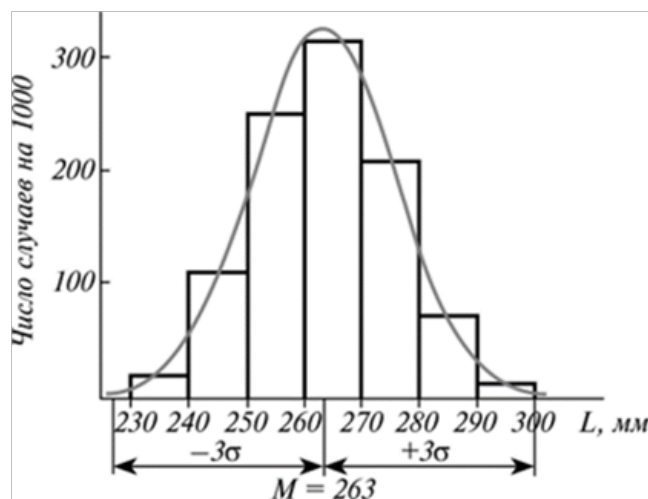


Рисунок 3 – Кривая нормального распределения размеров стопы (по длине)

При нормальном распределении длины стопы (размера обуви) и определения его среднего значения – M , можно пользоваться правилом 3 сигм с вероятностью 0,9973 [20]. Найдя M для предприятия, можно сформировать такой неснижаемый запас на складе, который не создавал бы ни дефицита, ни профицита при запросе СИЗ.

Анализ имеющихся данных в таблице 1 и 2 и рисунках 1, 2 показывает, что на долю выданной обуви работников Волгоградского филиала ПАО «РТК» приходится около 90% основных размеров: 41, 42, 43, 44, 45, а средний размер обуви в филиале является 43 (длина 263 мм). Поскольку форма, длина стоп зависит от пола, возраста, национальности и других параметров, то при изменении контингента следует вносить корректировки в соответствующую базу данных СИЗ.

Таким образом, исходя из нормального распределения и определения среднего размера обуви по предприятию, можно сделать вывод о необходимом количестве и размерном ряде неснижаемого запаса обуви более 1 месяца и оценить показатель $K_{из}$ с учетом антропометрии работников. Имеющиеся статистические данные о выданных ботинках и полуботинках (мужских, женских, универсальных) сведены в таблицу 3 и определено минимальное количество обуви для установления положительного показателя $K_{из}$ – неснижаемого запаса обуви более 1 месяца. По этим данным можно определить количественные данные необходимой обуви на складе.

Таблица 3 – Обобщенные данные

Размер	Выданное со склада количество, шт.			Расчетное среднее количество, шт. в:		Минимальное количество обуви для установления положительного показателя $K_{из}$ шт. в месяц
	2020	2021	2022	год	месяц	
37	0	0	2	0,67	0,06	1
38	0	2	8	3,33	0,28	1
39	4	9	16	9,67	0,81	1
40	9	40	15	21,33	1,78	2
41	45	89	102	78,67	6,56	7
42	166	242	233	213,67	17,81	18
43	179	338	229	248,67	20,72	21
44	55	280	125	153,33	12,78	13
45	35	227	70	110,67	9,22	10
46	10	56	32	32,67	2,72	3
47	1	9	7	5,67	0,47	1
48	0	0	2	0,67	0,06	1
ИТОГО	504	1 292	841	868,67	72,39	79

Обсуждение. Методикой, изложенной в [13], предполагается возможность уменьшения класса (подкласса) УТ в случае использования качественных СИЗ при выполнении оценки эффективности применения СИЗ. Этот экономический механизм направлен на стимулирование работодателей соз-

давать на предприятии эффективную систему по обеспечению и применению СИЗ на предприятии, что повышает безопасность труда на предприятии. Однако показатель $K_{из}$, входящий в комплексную оценку эффективности СИЗ, без количественных критериев оценки типоразмеров СИЗ позволяет эксперту только субъективно оценивать данный показатель. В настоящей статье предложено проводить оценку рассмотренного показателя с учетом распределения антропометрических характеристик работников предприятия по соответствующим типоразмерам, что позволит обеспечить соответствие «спроса» и «предложения».

Выводы. В Методике №976н, рассмотренной в [13], нет количественных методов и критериев оценки показателя, характеризующего наличие (количество) неснижаемого запаса СИЗ. Методика не подразумевает оценку антропологических параметров работников при комплексной оценке эффективности СИЗ.

На примере обеспечения предприятия Волгоградского филиала ПАО «РТК» необходимой защитной обувью (летней - ботинки и полуботинки: мужские, женские, универсальные) рассчитано минимальное количество обуви соответствующего типоразмера для установления положительного показателя $K_{из}$ с учетом антропометрии работников.

Предложено Методику в главе «Оценка применимости СИЗ» в части проверки на соответствие требованиям неснижаемого запаса дополнить требованием к наличию на складе нужного запаса типоразмера, соответствующего распределению антропометрических характеристик работников организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стасева Е.В. Роль производственного контроля в улучшении условий и охраны труда на предприятии / Стасева Е.В., Вельяненко А.А. // Материалы научно-технической конференции: Строительство и архитектура. Инженерно-строительный факультет. – 2017. – С.319-323.
2. Карначев И.П., Левашов С.П., Смирнова Н.К., Карначев П.И. Проблемы и перспективы формирования системы проактивного мониторинга безопасности работников предприятий горнодобывающей отрасли // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 10. С. 48-54.
3. Индекс персонального риска, как перспективный инструмент управления человеческим фактором в охране труда / М.В. Туманов, С.Г. Гендлер, Е.И. Кабанов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 230-247. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230. – EDN WLDDBEB.
4. Светлакова А.Ю., Каверзнева Т.Т. Оптимизация инструментов оценки состояния условий труда для малых и средних предприятий на основе расчета параметра эффективности // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 7. – С. 24-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-7-24-28.
5. Скрипник И.Л. Анализ условий труда бурильщика капитального ремонта скважин и разработка рекомендаций по их улучшению // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Высшая школа техносферной безопасности. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – С. 47-49.
6. Sutralaksana, I.Z. Linking basic human values, risk perception, risk behavior and accident rates: The road to occupational safety / I.Z. Sutralaksana, 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.

7. Shinkevich, P., Kaverzneva, T., Leonova, N. Assessment of occupational risk of oil industry workers in extraction of energy resources with regard to fatigue / E3S Web of Conferences, 2020, 221, 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022103005>.

8. Федорова И.А. Статистика производственного травматизма в России. 21 июля 2021. URL: <https://getsiz.ra/statistikaproizvodstvennogo-travma.html> (дата обращения 25.06.2022).

9. Сугак, Е.Б. Учет производственного травматизма при реализации процедур по управлению профессиональными рисками / Е.Б. Сугак // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 10(262). – С. 3-8.

10. Алибекова И.В., Кулакова Е.В., Каверзнева Т.Т., Шендакова Т.А. Влияние неблагоприятных производственных факторов на травматизм и заболеваемость работников строительной отрасли // Проблемы анализа риска. – Т. 17. – 2020. – №6. – С. 92–101. – <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-6-92-101>.

11. Патракова Г.Р. Оценка эффективности использования средств индивидуальной защиты на рабочем месте в нефтехимическом предприятии / Г.Р. Патракова, А.С. Патракова // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 11-2(69). – С. 126-129. – DOI 10.5281/zenodo.4313366. – EDN NMCMWK.

12. 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.

13. Приказ Минтруда РФ от 05.12.2014 № 976н. Об утверждении методики снижения класса (подкласса) условий труда при применении работниками, занятыми на рабочих местах с вредными условиями труда, эффективных средств индивидуальной защиты, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом.

14. Pushenko S.L. Hazards and occupational risk assessment in the bricklayer's workplace / S.L. Pushenko, E.V. Staseva, M.V. Kvitkina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20-22 октября 2020 г.- Rostov-on-Don, 2020. – P. 012115. - EDN KZWNEO. DOI: 10.1088/1757899X/1001/1/012115.

15. Combetti L, Demichela M. Customised risk assessment in manufacturing: A step towards the future of occupational safety management. Saf Sci 2022;154.

16. Оптимизация процесса планирования потребности в средствах индивидуальной защиты работающих на основе модели данных размерного ряда сотрудников / В.А. Сенченко, Т.Т. Каверзнева, А.Г. Фетисов [и др.] // Кадровик. – 2023. – № 2. – С. 92-99. – EDN GSGAGG.

17. К вопросу о факторах, влияющих на выбор обуви. Синева О.В., Конарева Ю.С., Карасева А.И. В сборнике: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности. Материалы Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 189-191.

18. Яковлева Н.В. Исследование соотношения формы и размеров стопы и внутренней формы обуви / Н.В. Яковлева, Е.Р. Шотовская // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2018. – Т. 42. – № 4. – С. 98-102. – EDN RUXUMK.

19. Антропометрические исследования по определению параметров среднетипичной стопы для проектирования внутренней формы обуви для катания на роликовых коньках / Т.А. Смирнова, Ю.С. Бутько, С.Ю. Киселев, Н.В. Княгичева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 275-277. – EDN UNKBVL.

20. Конструирование изделий из кожи. / Ю.П. Зыбин [и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.

Статья поступила в редакцию 19.03.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 621.31

EDN: VGPPZW

**ВЛИЯНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
НА ИХ БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 2268-0642

AuthorID: 138707

ORCID: 0000-0003-1756-0728

ЕФРЕМОВ Игорь Владимирович, доктор биологических наук, кандидат технических наук,
профессор, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»*Оренбургский государственный университет**(460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д.13; e-mail: ephremov56@yandex.ru)*

SPIN:9072-1132

AuthorID: 737780

ORCID: 0009-0002-3138-3326

ResearcherID: HZI-0763-2023

ScopusID: 57259958911

БАШИРОВ Вадим Депрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры «Безопасность жизнедеятельности»*Оренбургский государственный университет**(460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д.13; e-mail: vdbashirov@list.ru)*

SPIN:8098-2341

AuthorID:238963

ORCID:000-0002-6910-0283

ResearcherID: I-9052-2018

ScopusID: 57259958900

ТИМОФЕЕВ Дмитрий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»*Российский государственный аграрный университет (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)**(127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19 (учебный корпус № 28); e-mail: dntimofeev@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены технические особенности электрических измерений, проводимых как на стадии ввода электроустановок, так и в процессе периодических испытаний при эксплуатации жилых и общественных зданий. С технической стороны оценивается результативность измерений с точки зрения выявления и устранения повреждений, а также предупреждения возникновения аварийных и опасных ситуаций при последующей эксплуатации. Также принимается во внимание экономическая составляющая. Отмечается, что существующая система сметных расценок на различные виды электрических измерений не отвечает современным реалиям и реальным трудозатратам на каждый вид испытаний. Как следствие, это приводит к неоправданному значительному удорожанию тех видов работ, которые имеют наибольшее значение для безопасности электроустановок. Что приводит к снижению мотивации эксплуатирующих организаций для проведения этих видов испытаний. Кроме того, существующие разночтения и неопределённость существующих нормативных документов в сроках и объёмах выполняемых работ позволяют расширенные трактовки необходимого количества испытаний как при вводе электроустановок, так и при периодических испытаниях. По мнению авторов, требуется существенная доработка нормативных актов с целью устранения указанных в статье разночтений.

Ключевые слова: безопасность в электроустановках, испытания электроустановок, испытательные лаборатории, периодические испытания, пусконаладка, проверка соответствия, электролаборатории.

**INFLUENCE OF COMMISSIONING AND PERIODIC TESTS OF LOW-VOLTAGE ELECTRIC
INSTALLATIONS OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS ON THEIR SAFE OPERATION**

© The Author(s) 2023

EFREMOV Igor Vladimirovich, doctor of Biological Sciences, candidate of technical sciences,
professor, professor of the Department of Life Safety**BASHIROV Vadim Deprovich**, doctor of agricultural sciences, associate professor of the Department of Life Safety
*Orenburg State University**(460018, Russia, Orenburg, ave. Victory, d. 13; e-mails: ephremov56@yandex.ru, vdbashirov@list.ru)***TI MOFEEV Dmitry Nikolaevich**, candidate of agricultural sciences,
associate professor of the Department of Technosphere Safety*Russian State Agrarian University (RGAU-K.A. Timiryazev Agricultural Academy)**(19 127550, Moscow, Pryanishnikova str., 19 (academic building No. 28), e-mail: dntimofeev@mail.ru)*

Abstract. In the current work, the technical features of electrical measurements carried out both at the stage of commissioning electrical installations and in the process of periodic testing during the operation of residential and public buildings are considered. On the technical side, the effectiveness of measurements is evaluated in terms of identifying and eliminating damage, as well as preventing the occurrence of emergency and dangerous situations during subsequent operation. The economic component is also taken into account. It is noted that the existing system of estimated prices for various types of electrical measurements does not correspond to modern realities and real labor costs for each type of test. As a consequence, this leads to an unjustified significant increase in the cost of those types of work that are of the greatest importance for the safety of electrical installations. This leads to a decrease in the motivation of operating organizations to conduct these types of tests. In addition, the existing inconsistencies and the uncertainty of existing regulatory documents in the timing and scope of work performed allow extended interpretations of the required number of tests both when commissioning electrical installations and during periodic tests. According to the author, a significant revision of the regulations is required in order to eliminate the discrepancies indicated in the article.

Keywords: safety in electrical installations, testing of electrical installations, testing laboratories, periodic testing, commissioning, conformity testing, electrical laboratories.

Для цитирования: Ефремов И.В. Влияние пусконаладочных и периодических испытаний низковольтных электроустановок жилых и общественных зданий на их безопасную эксплуатацию / И.В. Ефремов, В.Д. Баширов, Д.Н. Тимофеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 155-162. – EDN: VGPPZW.

Введение. Низковольтные электроустановки жилых и общественных зданий – наиболее широко распространённая категория электрических объектов с массовым доступом к ним всех слоёв населения, за редким исключением представляющих собой квалифицированный электротехнический персонал. Вопрос безопасности используемого электрооборудования для населения является актуальным. Так, для контроля параметров электроустановок, непосредственно влияющих на безопасность её эксплуатации, существует ряд испытаний, относящихся как к вводу оборудования в работу, так и с целью проверки контролируемых параметров на протяжении всего её жизненного цикла. И конечная цель всех видов электрических испытаний электроустановок жилых и обществен-

ных зданий – безопасная эксплуатация и предупреждение аварийных ситуаций [1, 2]. Поэтому нужно стремиться к такому набору испытаний, в ходе которых, будет исключено или минимизировано появление в будущем негативных проявлений в виде аварий, неконтролируемых и неотключаемых перегрузок, коротких замыканий и поражений людей электрическим током [3-6, 8-13].

При планировании нормативных актов, определяющих характер, методы и периодичность испытаний, следует руководствоваться как практической, так и экономической целесообразностью, а также учитывать рациональностью различных видов испытаний.

В целом все испытания электроустановок можно разделить на три типа (табл. 1).

Таблица 1 – Типы испытаний электроустановок

№	Тип испытаний	Проверяемые объекты
1	Проверка сопротивления изоляции	Силовые проводящие части, секции шин, кабель электропроводки, изоляция электрооборудования
2	Проверка действия аппаратов защиты	Автоматические выключатели, устройства защитного отключения, измерение величины токов короткого замыкания
3	Проверка целостности системы заземления	Металлосвязь заземлённых металлических непроводящих частей с системой заземления, система уравнивания потенциалов, система молниезащиты, контур заземления

Каждое измерение имеет свои технические особенности, как при испытаниях при вводе электроустановок в работу, так и при их эксплуатации. В данной статье, исходя из практического опыта испытаний и соображений повышения безопасности электроустановок, даётся общий обзор текущей ситуации с лабораторными измерениями на объектах и делается ряд предложений по усовершенствованию пусконаладочных и периодических процедур испытаний.

Методология. Проверка сопротивления изоляции – пусконаладочные испытания.

Основная часть повреждённых проводящих

частей может быть выявлена монтажной или эксплуатирующей организацией в ходе пусконаладочных работ, когда повреждения имеют видимый характер и исключают возможность эксплуатации оборудования. Это приводит к коротким замыканиям ещё на стадии включения оборудования, легко диагностируется и устраняется без привлечения испытательных и электролабораторий. Однако, одна из распространённых причин возгорания электропроводки в ходе эксплуатации жилых и общественных зданий – повреждение силовых кабелей в ходе монтажа, которые можно разделить на следующие категории:

– случайные порезы и повреждения изоляции при прокладке;

– неправильная разделка кабелей, приводящая к повреждению всех слоёв изоляции;

– пробития при установке натяжных потолков, прокладке датчиков пожарной сигнализации, видеонаблюдения и др. работах, не связанных с электромонтажом.

Место повреждения зачастую частично изолируется непроводящим материалом – штукатуркой, пластиковым дюбелем и т.п. и может себя проявить спустя длительное время коротким замыканием электропроводки лишь при повышении влажности в помещении или повышении нагрузки на этой линии. Встречались случаи, когда дюбель натяжного потолка, повредивший силовую кабель, приводил к возгоранию спустя более 10 лет после монтажа и никак не проявил себя до этого. Поэтому обнаружение повреждений кабеля в ходе пуско-наладочных работ или периодических испытаний является основной задачей проведения испытаний электропроводок, поскольку «чистые» короткие замыкания фиксируются и устраняются сразу ещё до ввода электроустановки либо в ходе её эксплуатации. Скрытые же дефекты могут проявить себя много лет спустя, не вызывая срабатывание защиты и приводя к пожарам и человеческим жертвам.

Достоверное выявление скрытых дефектов, которые условно называются «грязной изоляцией», возможно только при испытаниях мегаомметром повышенным напряжением [5]. В некоторых случаях такие повреждения между фазным проводником и заземляющим (*L-PE*) или между нулевым и заземляющим (*N-PE*) можно выявить при включении кабельной линии под нагрузку, если на линии установлено устройство защитного отключения (УЗО) на стандартный ток 30 мА (для розеточных линий, редко – для линий питания освещения). Однако, оно не отключится при сопротивлении изоляции защищаемой линии порядка 20 кОм и более, тогда как норматив изоляции существенно выше и «скрытые» повреждения имеют показатели изоляции выше этих значений. Да и требования установки УЗО распространяются лишь на розеточные силовые линии. Осветительные электропроводки в обязательном порядке их установку не требуют.

Установка же УЗО противопожарного назначения на 300 мА вообще практически не даёт страховки от подобных «грязных» повреждений (не сработает при сопротивлении изоляции более 1 кОм), что ставит под вопрос их назначение как противопожарные в принципе.

Даже УЗО с токами утечки 10 мА не будут срабатывать при «грязной» изоляции выше 50 кОм. Но такие УЗО практически не используются в строящихся и проектируемых электроустановках жилых и общественных зданий. Их узкая сфера применения – защита розеточных и осветительных сетей санузлов и (редко) балконов/лоджий.

Пуско-наладочные работы регламентируются с одной стороны Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), которые устанавливают норматив испытательного напряжения 1000В для силовых линий электроустановок напряжением до 1000В (а общераспространённое напряжение в жилых и общественных зданиях 380В и 220В). Норма сопротивления изоляции в данном случае устанавливается в 500 кОм (0,5 МОм). Эти же нормы установлены и для периодических испытаний электроустановок до 1000В, которые установлены в Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП).

В 2019 г. в России был введён полный аналог международного норматива IEC 60364-6:2016 («*Low voltage electrical installations - Part 6: Verification*», IDT) – ГОСТ Р 50571.16-2019 (часть 6), который обновил старую версию ГОСТ Р 50571.16-2007. Норматив в части контролируемых параметров электропроводок не претерпел принципиальных изменений и содержит те же нормы испытательного напряжения и сопротивления изоляции, что и новая версия. Оба ГОСТа (и старый, и обновлённый) содержат ряд положений, отличных от существующих по сей день ПУЭ и ПТЭ ЭП в разделе проверки электропроводок. В частности, испытательное напряжение для общепринятых сетей 0,4 и 0,23 кВ установлено в 500В, а норма изоляции в ГОСТе повышена до 1 МОм (часть 6, п. 6.4.3.3). Такое расхождение в требованиях нормативной документации создавало неразбериху, и при испытаниях предпочтение отдавалось нормам ПУЭ и ПТЭ ЭП (1000В испытательного напряжения при испытаниях и 0,5 МОм нормы сопротивления изоляции) как более жёстким с точки зрения испытательного напряжения. Однако, с 2019 г. при аккредитации испытательных лабораторий или при получении свидетельства о регистрации в органах Ростехнадзора требуется приведение содержания протоколов и состояния приборной базы лабораторий к требованиям нового ГОСТ Р 50571.16-2019. Однако, надо отметить, что в целом введение нового ГОСТ Р 50571.16-2019 (в части 6, п. 6.4.3.3) ухудшило возможности электролабораторий по выявлению «грязных» повреждений изоляции на стадии пусконаладочных испытаний. Рассмотрим подробнее, почему это происходит.

Согласно требованиям нового ГОСТа с одной стороны повышается граница нормы изоляции с 0,5 МОм (по нормам ПУЭ и ПТЭ ЭП) до 1 МОм (ГОСТ), что положительно сказалось на недопуске повреждённых линий к эксплуатации. Так как значительная часть пробитых кабелей при проверке их мегаомметром показывает значения изоляции в пределах 0,1-1 МОм и даже выше при проведении испытаний напряжением 1000В вследствие наличия в месте пробития непроводящих дюбелей или штукатурки. Что по старым требованиям норматива изоляции в 0,5 МОм зачастую приводило к вводу в эксплуатацию фактически повреждённых кабелей.

Вместе с тем новый ГОСТ Р 50571.16-2019 изменил и нормативное напряжение проверки изоляции – с 1000В до 500В. Снижение испытательного напряжения заметно сократило количество выявленных пробитий кабелей, не смотря на повышение нормы изоляции, поскольку пониженное напряжение не ведёт к пробою повреждённой изоляции, загрязнённой непроводящими включениями. И измерение одной и той же линии на разных напряжениях приводит часто к разным результатам в фиксации фактически имеющих место быть повреждениях кабелей.

Кроме того, возникает коллизия – пусконаладочные и периодические испытания проводятся по разным требованиям. ПТЭ ЭП никто не отменял, и все испытания после пусконаладочных работ проходят по «старым» требованиям 1000В испытательного напряжения и 0,5 МОм норматива изоляции. Часть лабораторий в настоящее время по-своему решает эту проблему разночтения одновременно действующих норм в пользу наиболее жёстких требований каждого из них (1000В испытательного напряжения и 1 МОм норматива сопротивления изоляции), что положительно сказывается на своевременном выявлении скрытых дефектов электропроводок и значительно снижает вероятность пожароопасных ситуаций в будущем. Однако, это лишь частные инициативы. Которые, однако, показали более высокую результативность выявления скрытых повреждений кабельной изоляции.

Результаты. В целом можно заключить, что наиболее оптимальным с практической точки зрения нормативом испытательного напряжения для электроустановок до 1 кВ жилых и общественных зданий является 1000В, а нормой сопротивления изоляции – 1 МОм. Дальнейшее повышение напряжения до 2500В практически никогда не приводит к более качественному выявлению дефектов скрытого характера, но может привести к повреждению изоляции и электроустановочных изделий. Однако, встречаются случаи гарантированного повреждения всех слоёв кабельной изоляции посторонними предметами, когда значение сопротивления может быть близким к 1 МОм, но немного более этого значения при испытательном напряжении 1000В. Повышение испытательного напряжения до 2500В в данном случае не даёт ощутимого прироста качества результатов.

Проверка сопротивления изоляции – периодические испытания. Одна из наиболее чувствительных тем для управляющих компаний и собственников общественных зданий – это периодические испытания электроустановок. Согласно ПТЭ ЭП сопротивление изоляции проверяется раз в 3 года, в некоторых случаях – раз в год (особо опасные установки, краны, лифты и т.д.). Сложность проверки заключается в том, что с технической точки зрения для проверки каждой силовой кабельной линии необходимо физически отключить от неё питание и все электропотребители. Даже одна включённая в цепь

лампочка, например, на этаже общественного здания или на лестничном стояке многоэтажного жилого дома не позволит провести испытания сопротивления изоляции. Происходит это вследствие того, что измерение проводится мегаомметрами постоянным током, а любая нагрузка переменного тока, в том числе приборы учёта (трансформаторы тока и электросчётчики), для подобных приборов является коротким замыканием или «грязным» повреждением в пределах собственного сопротивления обмотки прибора (в подавляющем большинстве случаев не более 0,5 МОм). А отключение нагрузок в жилых домах в полном объёме практически всегда невозможно в краткие сроки.

Таким образом, исходя из практики в действующих жилых домах проведение периодических испытаний сопротивления изоляции невозможно по ряду причин:

а) в нормативных документах не установлено, в каком объёме должны проводиться испытания: только в местах общего пользования или и в жилых квартирах тоже. Как правило, управляющие организации и контролирующие органы с пониманием относятся к ситуации, и распространяют необходимость проведения испытаний только на места общего пользования (т.е. всю электроустановку кроме квартир). Поскольку и у них есть понимание, что чисто с практической точки зрения невозможно обеспечить проверку всех квартир в жилом доме не только одновременно, но и в какой-то объективно небольшой период времени;

б) технически невозможно обеспечить отключение всех нагрузок как в жилых помещениях, так и в местах общего пользования. В частности, это касается освещения – невозможно выкрутить все лампочки или демонтировать светильники прямого включения без ламп, отключить домофон, лифты, приточно-вытяжную вентиляцию, установки тепло- и водоснабжения;

в) ограниченность бюджета на испытания для эксплуатирующих организаций, когда заложенных средств заведомо недостаточно для проведения всего комплекса подготовительных работ и испытаний;

г) необходимость полного отключения электропитания на срок, пока испытания не будут закончены хотя бы на части электроустановки.

Исходя из сказанного, можно заключить, что все периодические испытания электроустановок жилых зданий, принимая во внимание многочисленные примеры на практике, всегда являются фиктивными и никак не влияющими на безопасность эксплуатации. Поэтому целесообразность требования отчётов об испытаниях сопротивления изоляции в действующих жилых зданиях минимальна.

В общественных зданиях, в основном за счёт более высокого уровня организации технических служб и арендаторов, проведение периодических испытаний с технической и практической точек зрения выполнимо. К тому же, в отличие от жилого фонда, в общественных

зданиях почти во всех случаях некрутосуточный режим работы, беспрепятственный доступ ко всем электропотребителям с целью отключения на время испытаний. Кроме того, выделяемый бюджет, как правило, в общественных зданиях несопоставим с жилыми домами, что также влияет на заинтересованность лабораторий в объективном проведении испытаний.

Однако, даже при столь относительно благоприятных условиях остаётся невозможным проведение проверки, например, осветительных проводов, поскольку физически невозможно обеспечить отключение всех светильников от силовой линии питания. Это же касается линий питания охранно-пожарных систем, вентиляции и т.п. – вероятность того, что будет выделено достаточно рабочих рук для демонтажнo-монтажных работ подключённого оборудования только для проверки изоляции питающих его силовых линий в данном случае ничтожно мала. Как правило, испытаниям подвергаются лишь магистральные линии между электрощитами, поскольку их несложно отключить и включить вновь малоквалифицированному персоналу, а также розеточных линий, где вся подготовительная работа заключается в отключении электрооборудования из розеток.

Таким образом, фактические измерения сопротивления изоляции в общественных зданиях проводятся в заведомо неполном объёме, фактически редко превышающим 50% от итогового протокола. В жилом же фонде измерения в подавляющем большинстве случаев провести невозможно. Поэтому целесообразность требований протоколов от эксплуатирующих организаций с позиции необходимости обеспечения безопасности эксплуатации электроустановки представляется минимальной.

Измерение параметров автоматических выключателей (АВ) и УЗО и токов короткого замыкания (сопротивления петли «фаза-нуль»).

Существенное отличие измерений сопротивления изоляции от испытания АВ и УЗО является практически полная невозможность проверки аппаратов защиты силами монтажных организаций без специализированного оборудования [7], тогда как неисправности на силовых линиях в виде коротких замыканий определяются простой подачей напряжения (и отключением защиты). Поэтому проверкам АВ и УЗО следует уделять повышенное внимание, поскольку именно их правильная работа в аварийных и опасных (перегрузки) режимах определяет безопасность эксплуатации электроустановки в целом.

Объём и периодичность испытаний автоматических выключателей в существующих нормативных документах часто вызывает разногласия, как со стороны лабораторий, так и со стороны регулирующих органов. С одной стороны, в ПУЭ указано, что при пусконаладочных работах проверяются все вводные АВ, выключатели, защищающие цепи питания

противопожарных нагрузок, аварийного освещения, а также не менее 1% остальных выключателей. Про УЗО в данном случае не сказано ничего конкретного, что может подразумевать проверку всех аппаратов в электроустановке. С другой стороны, ГОСТ Р 50571.16-2019 (часть 6) никак не регламентирует ограничение количества проверяемых АВ и УЗО, что также может подразумевать полную проверку. Другими словами, объём предъявляемых к испытаниям АВ может быть меньше 100%, и это с одной стороны выгодно заказчику испытаний, но с точки зрения безопасности будущей эксплуатации электроустановки может иметь отрицательные последствия.

В ПТЭ ЭП при периодических испытаниях никак не ограничен объём и периодичность проверок АВ. Указано лишь, что проверка действия их расцепителей должна проводиться лишь после капитальных ремонтов (п. 28.5), но это имеет значение фактически только для производственной сферы. Капитальный же ремонт оборудования жилого фонда или общественных зданий – явление редкое, зачастую с интервалом в десятилетия. Кроме того, часто указываемый интервал проверки АВ в 12 лет, во-первых, слишком велик для контроля надёжности их срабатывания, а во-вторых указан не для проверки расцепителей, а для срабатывания автоматов и контакторов, которые не являются автоматическими выключателями. Между тем, работоспособность автоматических выключателей (их тепловых и токовых расцепителей) является ключевым фактором безопасности электроустановок, однако понятные и не вызывающие двойственности трактовки нормы их периодических испытаний отсутствуют.

Периодичность же проверок УЗО нажатием кнопки «ТЕСТ» раз в квартал (п. 28.8 прил. 3 ПТЭ ЭП) не означает фактической проверки работы УЗО, поскольку, во-первых, эта проверка нигде и никак не фиксируется и, возможно, не проводится на практике. Во-вторых, срабатывание кнопки «ТЕСТ» не означает 100% правильной работы УЗО, так как при лабораторной проверке протекаемого тока тестовое сопротивление может иметь отличные от номинального тока УЗО реальные токи срабатывания. Впрочем, бракованные по такому параметру УЗО должны отсеиваться ещё на стадии пусконаладочных работ. И это свидетельствует о необходимости проверки аппаратов защитного отключения в полном объёме как минимум при вводе электроустановки в эксплуатацию.

Другими словами, объём и сроки проверки автоматических выключателей и УЗО на стадии ввода электроустановки в эксплуатацию в разных нормах размыты и могут трактоваться лабораториями и органами Ростехнадзора по своему усмотрению в силу одновременного действия различных нормативных актов. Периодическая же проверка АВ и УЗО в жилом фонде не проводится в принципе, а пуско-наладочные работы проводятся в заведомо недостаточном объёме.

Происходит это по вполне понятным экономическим причинам: по сметным расценкам ТЕРп-2001-01 испытания автоматических выключателей примерно втрое дороже проверки кабельных линий. Поэтому ограничение в 1% по объёму проверки в ПУЭ выбрано из экономической целесообразности. Проверка же автомата дифференциального тока расценивается примерно в 4 раза дороже, чем проверка отходящей от него кабельной линии. А согласно трудозатратам по ГЭСНп-2001-01 (Сборник №1) испытание УЗО в 5 раз дороже испытания кабельной линии, АВ – почти в 4 раза.

К тому же контролирующие органы в подавляющем большинстве случаев требуют лишь протоколы измерения сопротивления изоляции.

Если объём и сроки проведения периодических испытаний АВ, хоть и с разночтениями, но встречаются в нормативной документации для сдачи и эксплуатации электроустановок, то по объёмам и периодичности проверок УЗО понимания меньше. Что касается их установки на отходящих линиях, то в ПУЭ однозначно указана рекомендация их применения лишь на розеточных группах. Следовательно, снижается их противопожарное значение, так как электроустановка защищена от утечек не в полном объёме, в частности, нет защиты осветительных электропроводов в случае «грязной» изоляции. Кроме того, в целях общего снижения уровня электротравматизма, установка УЗО целесообразна на всех линиях, включая группы питания освещения [6].

Так как ремонтные общестроительные работы в жилом и общественном фонде – явление обычное и не приводящее к последующим испытаниям электропроводов, то с точки зрения безопасности эксплуатации целесообразна установка УЗО на всех линиях питания электропотребителей, включая осветительные электропроводки. Это позволит исключить отрицательное влияние «грязных» повреждений изоляции кабелей, не приводящих к непосредственному короткому замыканию или срабатыванию теплового расцепителя АВ, но влекущими за собой постепенную утечку в месте повреждения, изменяющуюся в зависимости от влажности окружающей среды или степени старения изоляции. Что приводит к нагреву и пожароопасной ситуации.

Важным моментом в периодических проверках АВ и УЗО является отсутствие препятствий для их испытаний. Для проверки АВ достаточно лишь отключить его от сети (чтобы исключить повреждение измерительного трансформатора тока, работающего на низких напряжениях вторичной обмотки). Для испытаний же УЗО вообще не требуется их отключения от сети, и они могут подвергаться проверкам в рабочем режиме под напряжением и нагрузкой.

Исходя из 100%-й возможности подвергнуть испытаниям аппараты защиты (АВ и УЗО) в отличие

от эксплуатируемых электропроводов, видится более целесообразным периодические проверки АВ и УЗО (каждые 3 года) вместо проверки сопротивления изоляции кабельных линий с точки зрения обеспечения безопасности электроустановок жилых и общественных зданий. Однако, с экономической точки зрения это будет значительно дороже привычных испытаний сопротивления изоляции. Хотя с технической точки зрения испытание УЗО современными измерительными приборами менее трудозатратно, чем проверка сопротивления изоляции или расцепителей АВ.

Обсуждение. Как следует из вышесказанного, существующие сметные расценки требуют значительного пересмотра для приведения в соответствие с существующими реалиями, принимая во внимание трудоёмкость подготовки силовой кабельной линии к проверке, тогда как АВ и УЗО практически не требуют предварительной подготовки к их испытаниям, а время подготовки кабельной линии складывается из необходимости как отключения потребителей, так и подключения в обратном порядке, и в сумме можеткратно превышать непосредственное время испытания, которое современными приборами в принципе не превышает 1 минуты даже для пятижильного кабеля. Особенно это касается периодических измерений сопротивления изоляции проводов и кабелей.

Сопротивление петли «фаза-нуль» (или значений токов короткого замыкания) – испытание, позволяющее оценить надёжность срабатывания максимальнотокковых расцепителей автоматических выключателей в случае короткого замыкания на наиболее удалённом участке защищаемой цепи. Измерение проводится только после подключения питания электроустановки по постоянной схеме, что подразумевает полностью собранную установку со всеми установленными электроустановочными изделиями и светильниками. Теоретически это испытание надо проводить на каждой линии, защищаемой автоматическим выключателем. Однако, во-первых, стоимость проведения такого измерения равна стоимости испытания расцепителей АВ (см. выше замечание по сметным расценкам ГЭСНп-2001-01 и ТЕРп-2001-01). То есть, проверка АВ и условий его срабатывания в сумме почти в 8 раз дороже расценки испытания самой защищаемой кабельной линии. Если линия питания защищена АВ и УЗО (дифавтоматом) – то более чем в 10 раз.

Во-вторых, в ходе пусконаладочных испытаний возникают сложности с измерениями на осветительных линиях. Особенно это касается общественных зданий с собранными потолками, зачастую неразборными. Поэтому проведение измерений представляется невозможным. На практике обычно ограничиваются измерением токов короткого замыкания в наиболее удалённых от электропитательных точках верхних этажей зданий. В жилых домах с типовым расположением электрооборудования

в каждой квартире это технически обоснованный подход. В общественных же зданиях с нетиповым расположением помещений и разным оборудованием на разных этажах такой подход нецелесообразен, и требуется проведение испытаний в полном объёме. Однако, как уже было сказано выше, на осветительных линиях провести такое измерение затруднительно, зачастую невозможно, что отрицательно сказывается на выявлении потенциальных неисправностей: заниженного сечения проводников, их большой протяженности, а также некачественного монтажа, что приводит к понижению фактических токов короткого замыкания до величин ниже порога срабатывания АВ.

Что касается периодических испытаний токов короткого замыкания, то для жилого фонда их следует измерять в наиболее отдалённых точках квартир верхних этажей, что в заселённом жилом доме практически невозможно в силу ограниченности доступа в жилые помещения, а проверка в местах общего пользования – это лишь проверка в сетях освещения с означенными выше проблемами доступа к наиболее отдалённым точкам сетей. Плюсом является то, что измерение проводится под нагрузкой и отключения потребителей или питания не требуется.

Суммируя сказанное, надо отметить, что полноценные периодические испытания сопротивления петли «фаза-нуль» (или токов короткого замыкания, что аналогично) в жилом фонде для испытательной лаборатории практически невыполнимая задача. В зданиях же общественного назначения трудности заключаются в основном в отсутствии доступа к осветительным сетям. В остальных случаях, как правило, измерение значительных технических препятствий не имеет.

Измерение металlosвязи, сопротивления контура заземления и элементов системы уравнивания потенциалов.

Это наиболее технически простой раздел испытаний как при пусконаладочных, так и периодических измерениях. Отключения электроустановки и отдельных потребителей в данных случаях не требуется, также не требуется обязательный доступ в жилые помещения в случае испытаний в жилом фонде. С точки зрения безопасности эксплуатации нормативные параметры, периодичность их проверки и расчётная стоимость затрат на проведение испытаний находятся в соответствии с современными реалиями работы электролабораторий.

Выводы. В ходе исследования установлено, что в существующей нормативной и сметной документации существуют технически и экономически необоснованные обязательные требования, имеются разночтения относительно границ нормативных измеряемых показателей, а также присутствуют неверные подходы к контролю за безопасностью эксплуатации низковольтных электроустановок жилых и общественных зданий.

Установлено, что в части испытания сопротивления изоляции можно отменить обязательные

требования о проверке каждые 3 года как минимум для жилого фонда, так как проведение подобных проверок по ряду технических и экономических причин невозможно и следует их заменить испытаниями аппаратов защиты, так как испытания такого рода оборудования технически выполнимы в эксплуатируемых жилых домах. Однако, существующие сметные расценки на такие виды работ многократно завышены, и переводение таких работ в статус обязательных приведёт к значительному росту затрат эксплуатирующих организаций и, как следствие, населения. Однако, расценки на испытания АВ и УЗО представляются завышенными, и необходимо пересмотреть их в сторону занижения.

Также, с целью предупреждения возникновения пожаров и снижения электротравматизма при проведении работ с осветительными приборами и потолочными конструкциями, настоятельно рекомендуется расширить спектр применения УЗО на все групповые электропроводки в жилых и общественных зданиях (кроме магистральных линий питания). Также, представляется целесообразным снизить нормативную стоимость проведения измерений токов короткого замыкания, поскольку это одно из самых технически простых испытаний. При этом рекомендуется привести сметные расценки на измерение сопротивления изоляции кабелей в соответствие с реальными трудозатратами, учитывая все подготовительные мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Михайлов В.М. Обеспечение мер электробезопасности в бытовых помещениях / В. М. Михайлов // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем "РАДИОИНФОКОМ-2019" Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции, Москва, 11-15 ноября 2019 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019. – С. 356-359. – EDN NYGRWW.
2. Черкасов В. Н. Вопрос - ответ / В. Н. Черкасов, А. С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 9. – С. 92-93. – EDN XACGXZ.
3. Жилин О.И. Пожарная безопасность электроустановок / О. И. Жилин // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2007. – № 4. – С. 19-31. – EDN KFAAAT.
4. Ламков И.М. О необходимости формирования профессиональных компетенций в области пожарной безопасности электрооборудования / И.М. Ламков // Актуальные вопросы образования. – 2019. – Т. 2. – С. 116-119. – EDN VVXVDX.
5. Рябов С.И. Обзор современных методов для диагностики изоляции электрооборудования / С.И. Рябов, С.А. Елфимов, Е.С. Гончаров // Colloquium-Journal. – 2020. – № 3-2(55). – С. 81-82. – EDN STNSLV.
6. Монаков В.К. Электробезопасность: Теория и практика / В.К. Монаков, Д.Ю. Кудрявцев. – Москва: Инфра-Инженерия, 2017. – 184 с. – ISBN 978-5-9729-0188-3. – EDN ZVBQIN.
7. Каложный А.И. Актуальность и качество проверки автоматических выключателей современными приборами / А.И. Каложный // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XLVI Международной научно-практической конференции в 2 частях, Пенза, 15 июня 2021 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 53-57. – EDN WUCJIA.
8. Математическое моделирование систем управления с использованием дифференциальных уравнений / Д.И.

Прошин, И.А. Прошин, В.Н. Прошкин, Ю.В. Конопацкий // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 52-55. – EDN SLSFTN.

9. Карпухин, Э.В. К вопросу применения эффективных численных методов для моделирования магнитострикционных приборов уровня / Э.В. Карпухин, Е.С. Демин, С.Б. Демин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 58-64. – EDN OWRRNB.

10. Медведева С.Н. Метод идентификации потребителей электроэнергии, генерирующих в сетях общего электроснабжения помехи, превышающие нормированные значения показателей качества / С.Н. Медведева, М.В. Чернецов, М.М. Чернецова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 2(34). – С. 121-131. – DOI 10.21685/2227-8486-2020-2-9. – EDN VU-KBFB.

11. Роганов В.Р. Три подхода к оценке работоспособности систем активного резервирования / В.Р. Роганов, А.К. Гришко, И.И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2(26). – С. 9-18. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-2. – EDN ZJJABN.

12. Метод обработки экспериментальных данных линейными функциями переменной длины / А.В. Затылкин, Д.А. Голушко, Ю.А. Вареник [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – 2018. – № 12. – С. 74-82. – EDN YQDSFV.

13. Чулков В.А. Синхронизированный с сетью тактовый генератор / В.А. Чулков // Приборы и техника эксперимента. – 2018. – № 3. – С. 61-63. – DOI 10.7868/S0032816218030096. – EDN XQNHSP.

Статья поступила в редакцию 21.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 614.841
EDN: TZLGTZ

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЛОКОМОТИВНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

© Автор(ы) 2023
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)

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: KoltsovaELI@ya.ru)

AuthorID: 349880
ORCID: 0009-0009-4443-4103

КОНОНОВА Ольга Владимировна, аспирант кафедры «Управление безопасностью в техносфере»
Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: olkaknn@mail.ru)

SPIN: 2200-4594
Author ID: 716274
ORCID: 0000-0002-1563-3850
Scopus ID: 5722004297

СТРУЧАЛИН Владимир Гайзович, кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: v.struchalin@ubt-rut-miit.ru)

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопроса обеспечения пожарной безопасности. Актуальность проблемы подтверждается статистическими данными относительно пожаров в разных странах и отраслях промышленности. Более подробно в статье рассматриваются причины инцидентов на железнодорожном транспорте Российской Федерации. Констатируется, что, несмотря на имеющиеся положительные изменения, требуются модернизация и дальнейшее совершенствование систем пожарной сигнализации и пожаротушения на подвижном составе. Отмечается необходимость поиска решений, обеспечивающих безопасность работников и бесперебойность движения транспорта в текущей ситуации, при имеющихся технических возможностях. Исследуются причины различных инцидентов на железнодорожном транспорте, в том числе пожаров в локомотивном хозяйстве. Анализ показывает, что независимо от характера инцидента и места происшествия человеческий фактор как фактор риска остается на одном из первых мест, особенно в наиболее опасных событиях в сфере железнодорожного транспорта. Предлагаются рекомендации, учитывающие наряду с техническими и организационными причинами, влияние человеческого фактора. Выполнение рекомендаций на данном этапе будет способствовать снижению риска возникновения пожаров, уровня производственного травматизма и материального ущерба.

Ключевые слова: пожарная безопасность, локомотивное хозяйство, причины пожара, человеческий фактор, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы.

FIRE SAFETY IN THE RAILWAY LOCOMOTIVE INDUSTRY

© The Author(s) 2023

NARUSOVA Elena Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor

KOLTSOVA Ekaterina Leonidovna, postgraduate student

KONONOVA Olga Vladimirovna, postgraduate student

STRUCHALIN Vladimir Gaiozovich, candidate of technical sciences, associate professor
of the Department "Management of safety in a technosphere"

Russian University of Transport

(127994, Russia, Moscow, Obratsov St. 9, building 9,

e-mails: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, KoltsovaELI@ya.ru, olkaknn@mail.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru)

Abstract. The article is devoted to the consideration of the issue of fire safety. The urgency of the problem is con-

firmed by statistical data on fires in different countries and industries. In more detail, the article discusses the causes of incidents on the railway transport of the Russian Federation. It is stated that, despite the positive changes, modernization and further improvement of fire alarm and fire extinguishing systems on rolling stock are required. It is noted that there is a need to find ways and solutions to ensure the safety of workers and uninterrupted traffic in the current situation, with the available technical capabilities. The causes of various incidents in railway transport, including fires in the locomotive industry, are being investigated. The analysis shows that regardless of the nature of the incident and the location of the incident, the human factor as a risk factor remains in one of the first places, especially in the most dangerous events in the field of railway transport. Recommendations are proposed that take into account, along with technical and organizational reasons, the influence of the human factor. The implementation of the recommendations at this stage will help reduce the risk of fires, the level of occupational injuries and material damage.

Keywords: fire safety, locomotive industry, causes of fire, human factor, Pareto diagram, Ishikawa diagram.

Для цитирования: Нарусова Е.Ю. Пожарная безопасность в локомотивном хозяйстве / Е.Ю. Нарусова, Е.Л. Кольцова, О.В. Кононова, В.Г. Стручалин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 163-168. – EDN: TZLGTZ.

Введение. Пожарная безопасность объекта обеспечивается созданием условий, снижающих вероятность возникновения пожара, и одновременно наличием отвечающих всем современным требованиям средств предупреждения и тушения пожара.

Пожары, к сожалению, происходят на предприятиях всех отраслей экономики и во всех странах. Так, например, в России с начала 2023 года ликвидировано 11 тыс. пожаров (по состоянию на конец марта 2023 г.) [1]. Среди крупных пожаров в зарубежных странах можно назвать, например, произошедшие в текущем году пожары на предприятии химических веществ в итальянской Новаре [2] и в Латвии на заводе по производству беспилотников компании Edge Autonomy [3].

Транспортная отрасль не является исключением. 9 февраля 2023 г. на станции Дрезден-Нидерседлиц в Германии сорел поезд, который использовался для обслуживания контактной сети. Поезд серии 711.1, о котором идет речь, представляет собой служебную моторису для ремонта контактной сети. 20 января недалеко от австрийской границы поезд той же серии, оставленный без управления, пришел в движение и покатился под уклон. Пожарным и железнодорожным службам удалось перевести моторису на боковой путь возле станции Фрайлассинг, остановить и потушить. Аналогичный инцидент произошел и в 2020 году, когда такой же поезд загорелся и потерял управление [4]. 5 февраля 2023 года грузовой поезд сошел с рельсов в американском штате Огайо. В результате инцидента из более чем 150 вагонов почти треть состава сошла с полотна. Часть из них позже была охвачена огнем. В вагонах перевозился высокотоксичный винилхлорид [5]. 1 марта 2023 г. произошла крупная железнодорожная авария в Греции. Почти сразу же после столкновения пассажирского и грузового состава произошел пожар.

Только за прошедший год территориальными подразделениями Комитета транспорта Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (МИИР РК) установлено более 100 нарушений требований пожарной безо-

пасности, взыскано административных штрафов на сумму свыше 2 млн. тенге. За последние 3 года в пассажирских поездах Patentes Talgo S.L. зафиксировано три случая возгорания технических вагонов. Причиной стало ненадлежащее обеспечение пожарной безопасности собственниками подвижного состава. С марта 2023 года в Республике Казахстан проводятся дополнительные проверки пассажирских поездов «Тальго» в пунктах формирования, что исключит выезд неисправных вагонов в рейс [6].

Очевидно, что вопрос снижения пожарных рисков является одним из приоритетных во всем мире и требует соответствующих технических и управленческих решений.

С 2019 года ОАО «РЖД» участвует в проекте «База данных по безопасности движения» Международного союза железных дорог (далее – МСЖД) и ежегодно на основе международных критериев проводит сравнительный анализ состояния безопасности движения (бенчмаркинг). Бенчмаркинг по итогам 2021 года проводился с учетом только официальных источников, доступных в сети интернет. В ходе анализа установлено, что по сравнению с 2020 годом количество серьезных происшествий (по классификации МСЖД) в странах МСЖД увеличилось на 8%, в США – на 6%, а на инфраструктуре ОАО «РЖД» – снизилось на 3% [7]. Российские железные дороги являются одними из самых безопасных в мире, согласно рейтингу Международного союза железных дорог.

Несмотря на имеющийся прогресс, необходимы дальнейшая деятельность по обеспечению пожарной безопасности и связанная с ней модернизация на железных дорогах, которые требуют значительных капиталовложений и времени.

Методология. Целью исследования является разработка рекомендаций, соответствующих текущему положению в железнодорожной отрасли, осуществление которых необходимо во время пожара для обеспечения сохранения жизни и здоровья людей. Следует отметить, что эти рекомендации не отменяют необходимости поиска новых технических решений

по предотвращению пожаров [8].

Рассмотрим причины различных инцидентов в локомотивном комплексе Российских железных дорог

на примере нескольких событий в 2022 году.

Для этого используем диаграммы Исикавы (рис. 1, 2, 3) [14].

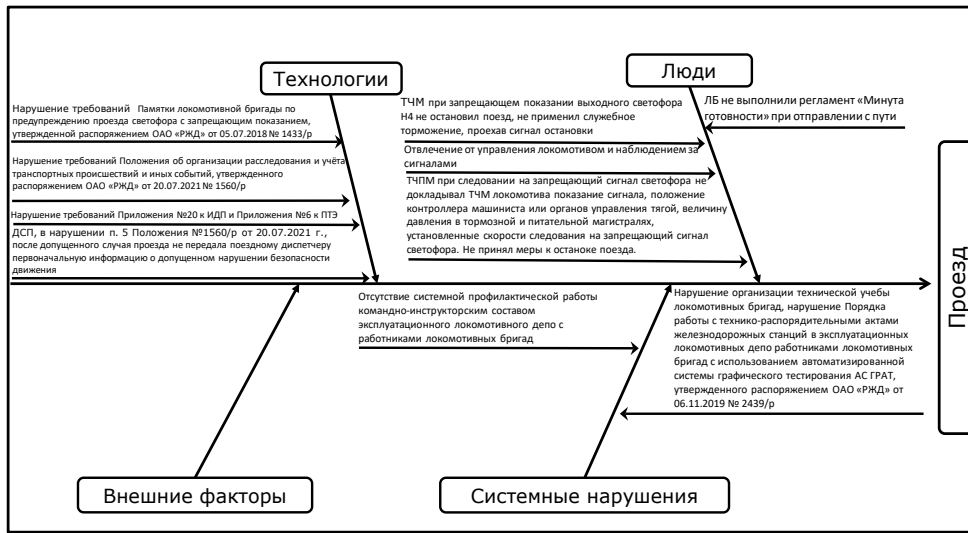


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы по случаю проезда запрещающего сигнала светофора



Рисунок 2 – Диаграмма Исикавы по случаю столкновения ж.д. составов при маневровой работе



Рисунок 3 – Диаграмма Исикавы по случаю схода ж.д. состава при маневровой работе

Результаты. Анализ диаграмм показывает, что независимо от характера инцидента и места происшествия человеческий фактор как фактор риска остается на одном из первых мест, особенно в наиболее опасных событиях в сфере железнодорожного транспорта. Невозможно устранить негативное воздействие человеческого фактора, выполнив какие-либо рекомендации или проведя определенные мероприятия. Характер влияния человеческого фактора определяет необходимость постоянной работы руководителя и службы охраны труда, направленной на повышение уровня подготовки персонала и его ответственности.

Пожары от общего количества событий в ОАО «РЖД» составляют всего 1,0%, но при этом ущерб от них гораздо выше, чем от других инцидентов. Это

связано с тем, что после пожара техника, как правило, восстановлению не подлежит, а также с тем, что могут потребоваться значительные материальные затраты для устранения разрушений инфраструктуры и экологических последствий.

Следует отметить, что локомотивный комплекс оснащен эффективными системами пожаротушения, которые позволяют минимизировать риски развития данного события и исключить вызов пожарного поезда, так как задымление устраняется своевременно пожарными установками, в том числе типа СПСТ Эл4-04. На рисунке 4 показано распределение пожаров на различных типах локомотивов, начиная с 2008 г.

На рисунке 5 представлено ранжирование оборудования, послужившее причинами пожаров на локомотивах в 2008 – 2022 г.г. [9].

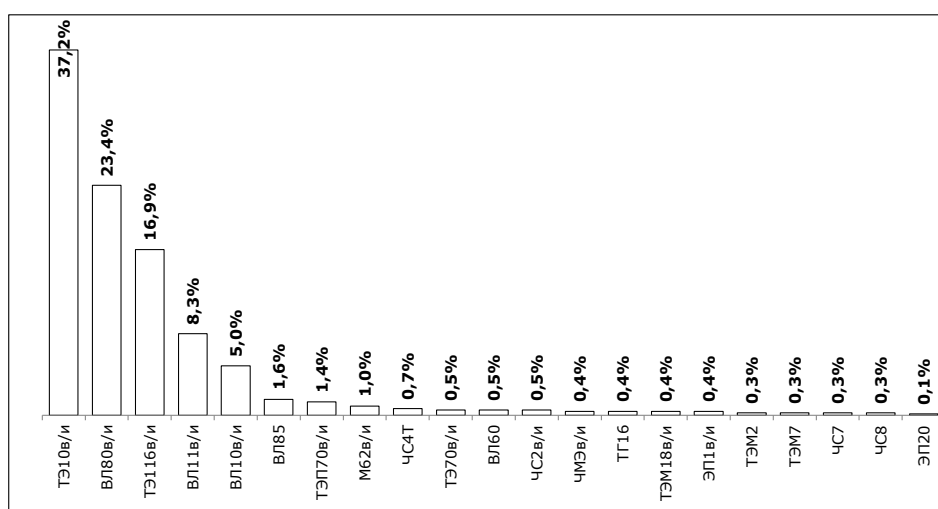


Рисунок 4 – Распределение пожаров на различных типах локомотивов в 2008 – 2022 г.г.

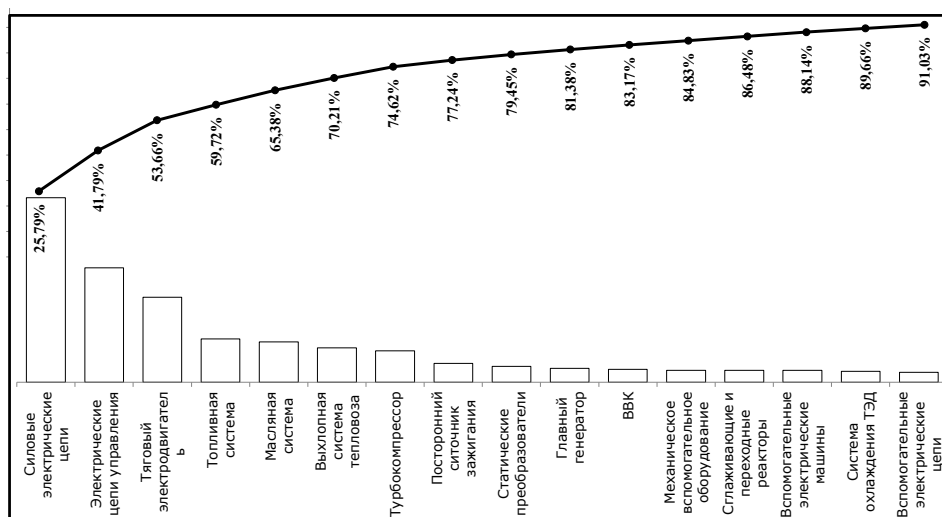


Рисунок 5 – Ранжирование оборудования, неисправность которого привела к пожарам на локомотивах в 2008 – 2022 г.г.

Обсуждение. С целью улучшения технического, противопожарного и культурного состояния локомотивов проводятся весенние и осенние комиссионные осмотры локомотивов в соответствии с требованиями Положения о порядке проведения комиссионного осмотра и сезонной

подготовке локомотивов [10]. Во время проведения комиссионного осмотра выполняются декларирование пожарной безопасности на локомотивах, проверки систем искрогашения тепловозов, исправности систем пожарной сигнализации и пожаротушения.

Проводится сверка в автоматизированной системе «Электронный паспорт локомотива» информации о наличии системы искрогашения тепловозов, её соответствия технической документации, с указанием даты установки, технических характеристик, информации о техническом состоянии, последнем проведенном ремонте или обслуживании; вносятся в карты приёмки локомотивов отметки о проверке узлов и агрегатов, ранее уже послужившими причинами пожара [13].

В состав комиссий по осмотру локомотивов включаются пожарные инспектора. Обобщенные

результаты проверок с указанием наиболее серьезных нарушений противопожарной безопасности еженедельно обобщаются для оперативного принятия мер.

На основании проведенного анализа установлено, что существует ряд проблем в вопросах пожарной безопасности тягового подвижного состава [9]. Диаграмма Парето представлена на рисунке 6. Изучению причин пожаров на тяговом подвижном составе и их устранению посвящено большое количество исследований, но проблема остается актуальной [14-18].

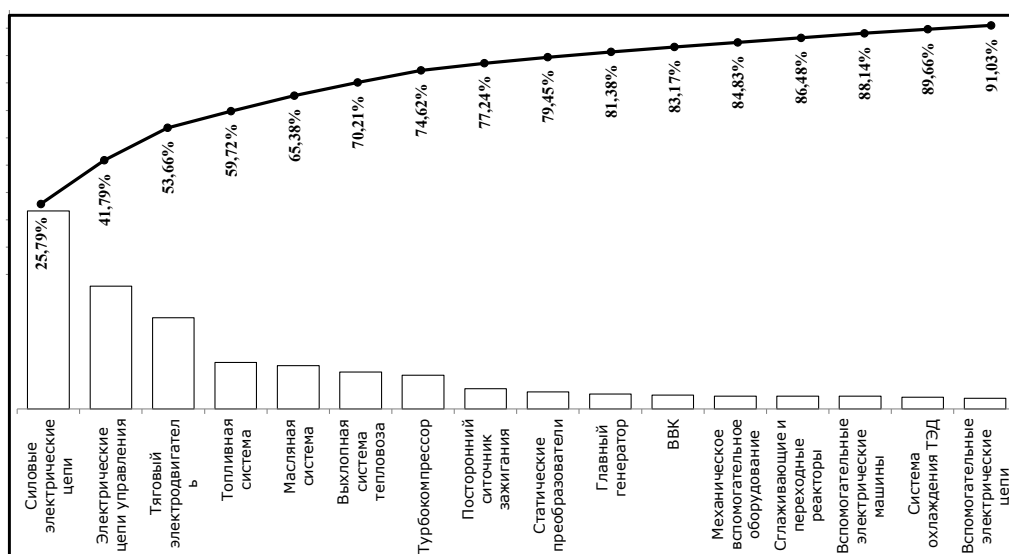


Рисунок 6 – Использование системы пожарной сигнализации и пожаротушения при пожарах на локомотивах в 2021-2022 г.г.

Выводы. В 2022 году в Дирекции тяги – филиале ОАО «РЖД» количество случаев производственного травматизма составило величину менее 1% от общего числа сотрудников локомотивного комплекса [11]. Для достижения «нулевого травматизма», в частности, за счет ликвидации производственного травматизма вследствие пожаров, разработан ряд рекомендаций.

1. Должна быть исключена эксплуатация локомотивов, не полностью укомплектованных инструментом, инвентарем, а также диэлектрическими перчатками.

2. В существующий перечень инвентаря можно включить в качестве средства индивидуальной защиты огнестойкие одеяла, обеспечивающие защиту от прямого воздействия пламени, отражающие излучаемое огнем тепло. Экранирование пламени позволит если не полностью обезопасить человека от пожара, то минимизировать потенциальный ущерб здоровью.

3. Необходимо постоянно работать над повышением качества обучения персонала. Модификация обучения в области охраны труда происходит на постоянной основе, разрабатываются наглядные и понятные документы. В настоящее время все большее распространение получают короткие

видео, поскольку значительной части обучающихся сложно воспринимать информацию, требующую длительной концентрации внимания на одном объекте. Эффективная реализация разработанных рекомендаций может быть ускорена за счет обучения по экспресс-методикам, например, в Корпоративном университете ОАО «РЖД» [19].

4. Целесообразно печатать памятки о действиях в случае пожара в формате А6, чтобы они умещались в кармане рабочей одежды и были легко доступны.

5. Для повышения надёжности работы систем пожарной сигнализации и пожаротушения на локомотивах необходимо проводить внутренние аудиты в сервисных локомотивных депо, касающиеся выполнения технологических процессов по техническому обслуживанию и текущему ремонту систем пожарной автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. МОСКВА. ТАСС. МЧС России (2023) В России с начала 2023 года произошло 11 тыс. пожаров // Сайт Rambler. 24 января (<https://news.rambler.ru/fire/50080141-v-rossii-s-nachala-2023-goda-proizoshlo-11-tys-pozharov/>).
2. La Repubblica. (2023) Крупный пожар произошел на предприятии химических веществ в итальянской Новаре // Сайт ren.tv. 29 марта (<https://ren.tv/news/v-mire/1089229-krupnyi-pozhar-proizoshel-na-khimzavode-v-italii/>).

3. Delfi. (2023) В Латвии загорелся завод по производству беспилотников // Сайт ntv.ru. 7 февраля (<https://www.google.com/amp/s/www.ntv.ru/novosti/amp/2746463/>).

4. Мониторинг «Основные события в области железнодорожного транспорта» № 6/Февраль 2023», утвержденный телеграфным указанием Центра научно-технической информации и библиотек – ОАО «РЖД» от 17 февраля 2023 г. № ИСХ-292/ЦНТИБ – 61 с.

5. Houston Public Media. (2023) Один человек погиб после столкновения грузовика и поезда в США // Сайт iz.ru. 14 февраля (<https://iz.ru/1469718/2023-02-14/odin-chelovek-pogib-posle-stolknoveniia-gruzovika-i-poezda-v-ssha/>).

6. Газета «Казахский железнодорожник». (2023) Дополнительные проверки вводят для поездов «Тальго» // Сайт rail-news.kz. 8 февраля (<https://rail-news.kz/ru/qauipsizdik/13689-talgo-zolausylar-poiyzyna-profilaktikalyq-tekseris-zurgiziledi.html/>).

7. Информационная рассылка Департамента безопасности движения, утвержденная телеграфным указанием Департамента безопасности движения – филиала ОАО «РЖД» от 29 декабря 2022 г. № ИСХ-3088/ЦРБ – 4 с.

8. Мария Берк. (2023) Вагон завалился, вспыхнул пожар, люди кричали: Выживший в страшной катастрофе с поездами в Греции рассказал, как состав летел под откос // Сайт kp.ru. 1 марта (<https://www.kp.ru/daily/27472/4727671/>).

9. Анализ пожарного состояния локомотивов парка ОАО «РЖД», утвержденный телеграфным указанием Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» от 23 января 2023 г. № ИСХ-1195/ЦТ – 188 с.

10. Положение о порядке проведения комиссионного осмотра и сезонной подготовке локомотивов, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 1 сентября 2016 № 1792р, в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 1 сентября 2022 № 2301/р – 17 с.

11. Мониторинг по несчастным случаям 2022 года, утвержденный телеграфным указанием Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» от 28 декабря 2022 г. № ИСХ-27470/ЦТ – 5 с.

12. Дополнительные рекомендации по проведению весеннего комиссионного осмотра локомотивов, утвержденные телеграфным указанием Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» от 21 марта 2023 г. № ИСХ-6599 – 5 с.

13. Факторный анализ нарушений безопасности движения и отказов технических средств в локомотивном комплексе ОАО «РЖД» за 2022 г., утвержденный телеграфным указанием Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» от 23 января 2023 г. № ИСХ-1182/ЦТ – 255 с.

14. Бутузов, С. Ю. Исследование алгоритмов и моделей управления профилактикой пожаров на локомотивах / С. Ю. Бутузов, А. П. Дегтярев, А. С. Чашин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 3(35). – С. 98-107. – EDN UNTXCH.

15. Фомин, А. В. Анализ и риски возникновения пожаров на железнодорожном подвижном составе / А. В. Фомин, В. В. Сай, И. Б. Елисеев // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. – № 1(41). – С. 45-50. – EDN YLKBXZ.

16. Шабров, С. М. Обеспечение пожарной безопасности на тяговом подвижном составе дирекции тяги и анализ причин возникновения пожаров / С. М. Шабров // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – № 4(80). – С. 36-45. – DOI 10.25257/TTS.2018.4.80.36-45. – EDN YOXUGT.

17. The solution of fire safety problems under a design stadia with computer fire and evacuation simulation / E. Kirik, A. Malyshev, A. Dekterev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Novosibirsk, 01–08 июля 2018 года. Vol. 456. – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012073. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012073. – EDN SKWBZL.

18. Нарусова, Е. Ю. Пожарная безопасность тягового подвижного состава / Е. Ю. Нарусова, В. Г. Стручалин, Д. А. Брянцев // Проблемы безопасности российского общества. – 2017. – № 4. – С. 73-78. – EDN YVFSZS.

19. Корпоративный университет ОАО «РЖД». Знания. Экспресс (<https://universitetzd.ru/>).

Статья поступила в редакцию 26.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 614.841.2.001.2

EDN: TQOZUB

**АНАЛИЗ ОСТАТКОВ МАТЕРИАЛА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПОСЛЕ
ТЕПЛОВОГО РАЗГОНА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА**

© Автор(ы) 2023

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)

Аннотация. Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) привлекли беспрецедентное внимание и стали самой оживленной темой для исследователей всего за три десятилетия. Этот короткий путь от концепции до превращения в самую важную часть современных средств связи, электронных устройств и электромобилей говорит об успехе этого накопителя энергии. Тем не менее, это постоянно развивающаяся тема, проводится много исследований, т.к. существуют проблемы пожарной безопасности, связанные с литий-ионными элементами, поскольку высвобождение горячих легковоспламеняющихся газов из аккумулятора, при высоких температурах, может ускорить реакции горения, что приведет к возгоранию или взрыву его компонентов. Понимание пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов важно для обеспечения безопасности при их изготовлении, хранении, транспортировке и использовании. В данной статье приведены результаты исследования остатков литий-ионных аккумуляторов после экспериментального моделирования теплового разгона. Описаны последствия теплового разгона при разных степенях зарядки литий-ионных аккумуляторов. Проведено визуальное исследование внутреннего содержимого аккумуляторов после теплового разгона. Проведен рентгенофазовый анализ остатков литий-ионных аккумуляторов. Проведена расшифровка полученных дифрактограмм. Определены фазы присутствующие в остатках литий-ионных аккумуляторах методом рентгенофазового анализа. Полученные результаты способствуют определению типа литий-ионных батарей. Целью данной статьи является поиск следов теплового разгона на остатках материала литий-ионных аккумуляторных батарей, методом рентгенофазового анализа. Практическая ценность данной работы является актуальной в связи с участвовавшими случаями возгорания литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: литий-ионная аккумуляторная батарея, экспертиза пожаров, тепловой разгон, катод, анод, электролит, рентгенофазовый анализ, фаза.

**ANALYSIS OF THE REMAINING MATERIAL OF LITHIUM-ION BATTERIES AFTER THERMAL
RUNNING BY THE METHOD OF X-RAY PHASE ANALYSIS**

© The Author(s) 2023

MOKRYAK 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)

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-mail: anna_par.74@mail.ru)

Abstract. Lithium-ion batteries (LIBs) have attracted unprecedented attention and become the hottest topic for researchers in just three decades. This short journey from concept to becoming the most important part of modern communications, electronic devices and electric vehicles speaks to the success of this energy storage. However, this is a constantly evolving topic with a lot of research going on. There are fire safety concerns associated with lithium-ion cells because the release of hot, flammable gases from a battery at high temperatures can accelerate combustion reactions, leading to a fire or explosion of its components. Understanding the fire hazard of lithium-ion batteries is important to ensure the safety of their manufacture, storage, transport and use. This article presents the results of a study of the re-

mains of lithium-ion batteries after experimental simulation of thermal runaway. The consequences of thermal runaway at different degrees of charging of lithium-ion batteries are described. A visual study of the internal contents of the batteries after thermal runaway was carried out. An X-ray phase analysis of the remains of lithium-ion batteries was carried out. The obtained diffraction patterns were interpreted. The phases present in the remains of lithium-ion batteries were determined by X-ray phase analysis. The results obtained contribute to the determination of the type of lithium-ion batteries. The purpose of this article is to search for traces of thermal runaway on the remnants of the material of lithium-ion batteries using X-ray phase analysis. The practical value of this work is relevant in connection with the increasing cases of ignition of lithium-ion batteries.

Keywords: lithium-ion battery, fire examination, thermal acceleration, cathode, anode, electrolyte, X-ray phase analysis, phase.

Для цитирования: Мокряк А.В. Анализ остатков материала литий-ионных аккумуляторов после теплового разгона методом рентгенофазового анализа / А.В. Мокряк, А.Ю. Парийская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 169-173. – EDN: TQOZUB.

Введение. В современном мире литий-ионные аккумуляторы являются наиболее энергоёмкими источниками питания, имеющими широкое применение. Они используются повсюду – ноутбуки, телефоны, электроинструменты, роботы-пылесосы, электросамокаты и другая портативная техника. Также их можно найти в автомобилях и электронных устройствах из-за их способности удовлетворять высокие потребности в энергии.

Все аккумуляторы структурно похожи друг на друга. Четырьмя основными функциональными компонентами литий-ионного аккумулятора являются отрицательный электрод (анод), положительный электрод (катод), сепаратор и электролит. Электроды изготовлены из паст, состоящих из мелких частиц, нанесённых на тонкие токосъёмники (обычно тонкая алюминиевая фольга или медная фольга).

Анод является очень важной и эффективной частью литий-ионного аккумулятора. Он вносит большой вклад в работу батареи, а также в её производительность, потому что материалы анода поглощают ион лития во время периода зарядки. В настоящее время в литий-ионных аккумуляторах широко используются различные типы анодных материалов, такие как литий, кремний, графит, интерметаллиды или материалы, легирующие литий. Как правило, анодные материалы обладают способностью накапливать энергию. Химические и физические характеристики, которые являются очень важными свойствами, зависят от размера, формы, а также от модификации анодных материалов. Наноразмер анодных материалов улучшает электрохимические характеристики литий-ионных аккумуляторов.

Катод является ещё одним основным компонентом ионно-литиевой батареи. Он также обозначается положительным электродом. Поскольку он поглощает литий-ион во время разрядки, его материалы и характеристики оказывают большое влияние на производительность батареи. По этой причине элементарная форма лития недостаточно стабильна. Активный материал, такой как оксид лития, обычно используется в качестве катода, если в оксиде лития присутствует ион лития. Высокое напряжение, большая ёмкость и большая разность потенциалов зависят от присут-

ствия большого количества лития. Такие материалы, как $LiCoO_2$, $LiMn_2O_4$ и $Li(Ni_xMn_yCo_z)O_2$, в основном используются в качестве оксидов металлов лития.

Кроме того, существуют оливины ($LiFePO_4$), оксид ванадия и оксид лития, которые перезаряжаемы и доступны в настоящее время в качестве катодных материалов в литий-ионных аккумуляторах. Катодные материалы на основе кобальта ограничены высокой стоимостью и отсутствием термической стабильности. Материалы на основе марганца обеспечивают трёхмерный перенос ионов лития благодаря их кубической кристаллической структуре. Марганцевые материалы дешевле, но имеют несколько ограничений. Например, марганец имеет тенденцию растворяться в электролите во время циклирования, что приводит к нестабильному циклированию катода [4, 6-8].

Фосфат лития-железа ($LiFePO_4$) был наиболее широко используемым катодным электродным материалом для литий-ионных аккумуляторов из-за его высокой безопасности, относительно низкой стоимости, высокой производительности цикла и плоского профиля напряжения. Батарея с литий-железо-фосфатным катодом похожа на литий-никель-кобальт-алюминий-оксид ($LiNiCoAlO_2$) батарею, однако это безопаснее.

Литий-ионные аккумуляторы обладают рядом желательных характеристик, включая высокую мощность энергии, высокую эффективность приёма-передачи, портативность. Однако в последнее время участились случаи возгорания данного вида батарей в ноутбуках и мобильных телефонах и некоторых других технических средствах.

Некоторые случаи были связаны с перегревом (тепловым выходом из строя) литий-ионных аккумуляторов, что могло привести к возгоранию и взрыву. Тепловое поведение литий-ионного элемента определяется экзотермическими реакциями между электролитом и электроактивными материалами. Тепловой разгон происходит, когда экзотермические реакции выходят из-под контроля, поэтому скорость саморазогрева ячейки увеличивается до такой степени, что начинает выделять больше тепла, чем может рассеивать [4, 5].

Существуют проблемы безопасности, связанные

с увеличением размеров литий-ионных элементов и использованием катодных материалов на основе оксидов, поскольку высвобождение кислорода из материала катода при высоких температурах может ускорить реакции горения в элементе, что приведет к возгоранию или взрыву его компонентов.

В данной статье приведен анализ остатков литий-ионных элементов после экстремальных условий, таких как тепловой разгон, методом рентгенофазового анализа.

Методология. Объектами исследования являлись литий-ионные аккумуляторные батареи, типа «18650» емкостью 3500 мАч, номинальным напряжением 3,7 В.

Исследование остатков литий-ионных аккумуляторов проводилось методом рентгенофазового анализа.

Рентгенофазовый анализ позволяет идентифицировать фазы в кристаллических веществах. Данный метод является не разрушающим. Обнаружение фаз, входящих в состав литий-ионных аккумуляторных батарей, дает возможность определять тип аккумулятора. Исследование проводилось на рентгеновском дифрактометре РАДИАН ДР-01.

Рентгенофазовый анализ образцов проводился следующим образом. Вещество, отобранное из внутренней части корпуса аккумуляторов, растирали в яшмовой ступке, пропустив через сито. Полученный порошок помещали в кювету [14].

Расшифровка дифрактограмм осуществлялась ис-

пользованием литературных данных [16, 17].

Результаты. В результате экспериментального моделирования теплового разгона произошла разгерметизация, вызванная экзотермической реакцией с образованием газа и мощным выбросом пламени, что привело к разрыву корпуса батарей.

Повреждения корпуса при заряде батареи 50% оказались значительно меньше, чем при 100% заряде (рис. 1). Внутренние составляющие батарей (медная и алюминиевая фольга) разлетались на расстояние до 6 м.

При визуальном исследовании остатков внутреннего содержимого аккумуляторов после теплового разгона на медной фольге обнаружены оплавления металла серого цвета, предположительно, являющиеся остатками алюминиевой фольги. Оплавления имеют, как шарообразную, так и неправильную форму. Визуальная оценка позволяет отметить, что участков, на которых обнаруживаются оплавленные частицы, становится больше при увеличении степени заряда. В результате теплового разгона литий-ионной батареи при 50% заряда на медной фольге были обнаружены участки с частицами, предположительно образовавшимися в результате плавления алюминиевой фольги (рис. 2).

Для определения фазового состава были отобраны образцы остатков внутреннего содержимого литий-ионных аккумуляторов, которые в дальнейшем были исследованы методом рентгенофазового анализа (рис. 3), фазовый состав показал следующее (табл. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид содержимого литий-ионной аккумуляторной батареи после теплового разгона, а – 50 % заряд батареи; б – 100 % заряд батареи

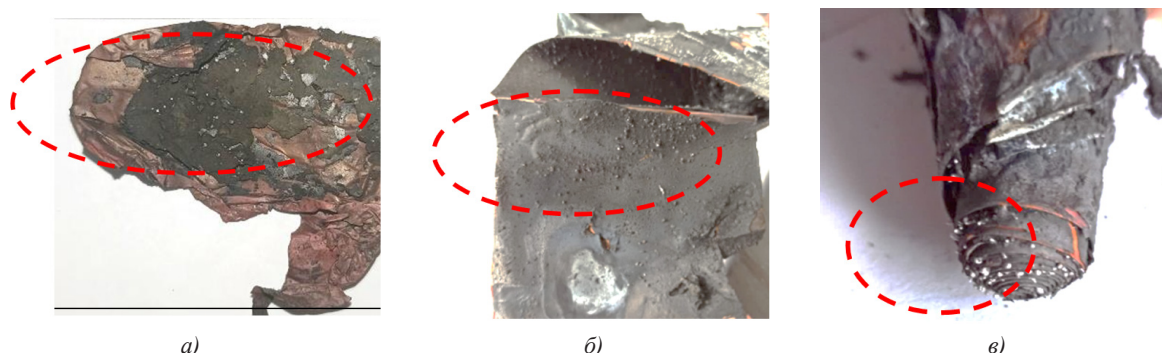
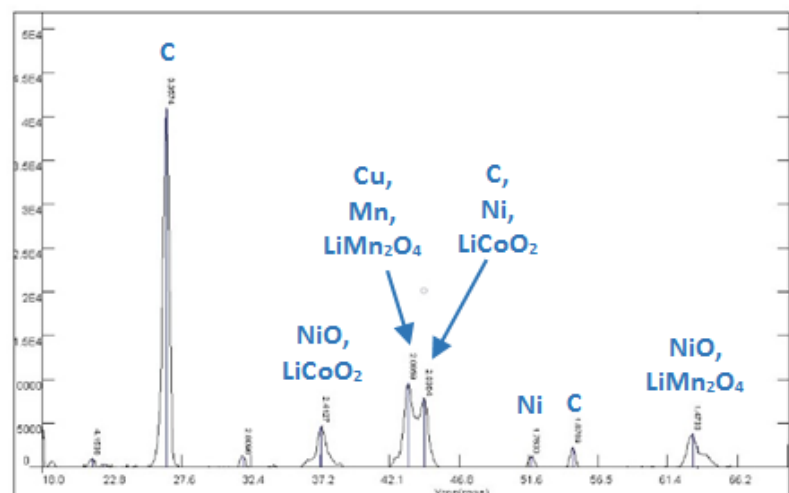
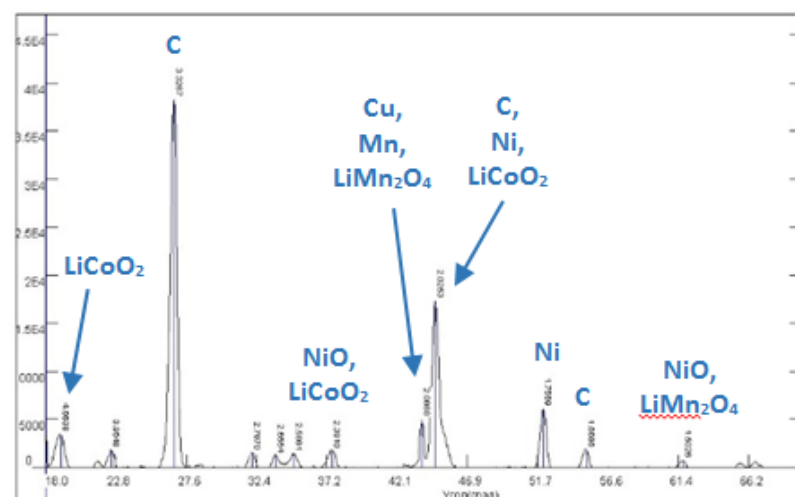


Рисунок 2 – Оплавления, обнаруженные на остатках литий-ионных аккумуляторных батарей после теплового разгона при различных степенях заряда: а – 50 % заряда; б, в – 100 % заряда



а)



б)

Рисунок 3 – Дифрактограммы остатков внутреннего содержимого литий-ионных аккумуляторов после теплового разгона: а – 50 % заряда; б – 100 % заряда

Таблица 1 – Фазовый состав внутреннего содержимого литий-ионных аккумуляторов после теплового разгона (50 и 100 % заряда)

Угол 2θ, град	Межплоскостное расстояние d/n, Å	Интенсивность абсолютная I _{абс} , ед.	Наименование фазы
C	3,38	100	Графит
	2,02	10	
	1,69	10	
Ni	2,03	100	Никель
	1,76	50	
NiO	2,40	60	Оксид никеля
	2,08	100	
	1,47	60	
Mn	2,09	100	Марганец
	1,74	16	
LiCoO ₂	4,68	100	Оксид кобальта лития
	2,40	16	
	2,00	35	
	1,55	10	
LiMn ₂ O ₄	2,47	90	Литий марганцевый оксид
	2,05	100	
	1,58	50	
	1,45	90	

Обсуждение. По результатам расшифровки дифрактограмм установлено наличие таких фаз, как графит, оксид кобальта лития, литий марганцевый

оксид, а также никель, марганец, оксид никеля. При обоих процентах заряда литий-ионных батареи все обнаруженные фазы сохраняются. В исследуемых

образцах обнаружены фазы, входящие в состав анода – графит, а также катода – оксид кобальта, оксид никеля, литий марганцевый оксид, а также никель, марганец и оксид лития. Данные химические вещества используют в материалах катодов и анодов литий ионных аккумуляторов [17-18]. В данном случае наличие таких фаз как, оксид кобальта лития, литий марганцевый оксид, а также никель, марганец, оксид никеля, дает возможность предположить, что данный тип литий-ионной аккумуляторной батареи является литий-никель-марганец-кобальт-оксидными аккумуляторами (NMC). Таким образом, наличие соответствующих фаз в остатках литий-ионных аккумуляторных батарей при их исследовании после пожара дает возможность определять тип аккумулятора.

Выводы. Вопросы расследования пожаров связанные с тепловым разгоном ЛИА представляют собой очень сложный процесс, необходимо исследовать все элементы от электродных материалов до электролита. В данной статье приведен анализ остатков содержимого ЛИА методом рентгенофазового анализа.

В результате исследования было обнаружено, что основным химическим элементом частиц шарообразных частиц на внутренней поверхности корпуса является никель.

Также метод рентгенофазового анализа позволяет определять тип литий-ионной батареи после теплового разгона, что может иметь криминалистическую значимость при проведении экспертизы пожаров, связанных с возгоранием подобного рода объектов.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проведении экспертизы пожаров с целью установления факта работы литий-ионных аккумуляторов в аварийном режиме при тепловом разгоне, а также при дальнейших научных исследованиях подобного рода пожароопасных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Плотников В.Г., Чешко И. Д., Кондратьев С. А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе // Расследования пожаров. – 2014. – Вып. 4. – С. 53-58.
2. Q. Wang, B. Mao, S.I. Stolarov, J. Sun A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies Prog. Energy. Combust. Sci., 73 (2019). – Pp. 95-131.
3. Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов // Успехи химии. – 2012. – Т. 71. – № 4. – С. 378-398.
4. X. Tian, Y. Yi, B. Fang, P. Yang, T. Wang, P. Liu, L. Qu, M. Li, S. Zhang Design strategies of safe electrolytes for preventing thermal runaway in lithium ion batteries Chem. Mater., 32 (2020). – Pp. 9821-9848
5. Y. Fu, S. Lu, K. Li, C. Liu, X. Cheng, H. Zhang An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter J. Power Sources, 273 (2015). – Pp. 216-222
6. Влияние эксплуатационных факторов на работу литий-ионного аккумулятора / М.А. Бураков [и др.]. // Символ науки. – 2019. – № 7.
7. Мельник А.А., Елисеев Ю.Н., Мокряк А.В. Основные

факторы, провоцирующие пожарную опасность литий-ионных аккумуляторов / Техносферная безопасность. – 2021. – № 2 (31). – С. 113-116.

8. B. Mao, P. Huang, H. Chen, Q. Wang, J. Sun Self-heating reaction and thermal runaway criticality of the lithium ion battery Int. J. Heat Mass Transf., 149 (2020), Article 119178

9. Chen, Mingyi & Ouyang, Dongxu & Cao, Shuchao & Liu, Jiahao & Wang, Zhi & Wang, Jian. (2018). Effects of heat treatment and SOC on fire behaviors of lithium-ion batteries pack. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 136. 10.1007/s10973-018-7864-9.

10. W.C. Chen, J. De Li, C.M. Shu, Y.W. Wang Effects of thermal hazard on 18650 lithium-ion battery under different states of charge J. Therm. Anal. Calorim., 121 (2015). – Pp. 525-531

11. C. Zhao, J. Sun, Q. Wang Thermal runaway hazards investigation on 18650 lithium-ion battery using extended volume accelerating rate calorimeter Journal of Energy Storage, 28 (2020), Article 101232

12. Schmich, R., Wagner, R., Hörpel, G. et al. Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries. Nat Energy 3, 267-278 (2018)

13. Юнцич В.М., Балобан А.П. Некоторых вопросах исследования литий-ионных аккумуляторных батарей при проведении пожарно-технической экспертизы// Судебная Экспертиза Беларуси. – 2021.– Вып.: 2 (13). – С. 68-74

14. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. – 632 с.

15. Кристалл М.М., Ясников И.С., Полунин В.И., Филатов А.М., Ульяновков А.Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения: Москва. Техносфера, 2009. – 208 с.

16. Применение рентгеновских методов анализа в судебной пожарно-технической экспертизе: Методическое пособие. Мокряк А.Ю., Соколова А.Н., Чешко И.Д., Колмаков А.И., Шульгин С.О., Черничук Ю.П. / М.:ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013. – 171 с.

17. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: учеб. Пособие для вузов. 4-е изд., доп. и перераб. М.:МИСИС, 2002. – 360 с.

18. Schalkwijk van W. A., Scrosati B., Advances in Lithium-Ion Batteries // Kluwer Academic Publishers, 2002, eBook ISBN978-0-306-47508-5. – P. 513

Статья поступила в редакцию 20.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 911.2

EDN: SBYDRJ

ВЛИЯНИЕ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ВЕТРОВ В РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ

©Автор(ы) 2023

SPIN: 2419-5410

AuthorID: 467295

ORCID: 0000-0002-9757-5219

ХОЛОПЦЕВ Александр Вадимович, доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
(662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, 1, e-mail: kholoptsev@mail.ru)

SPIN: 4222-9302

AuthorID: 159572

ORCID: 0000-0002-7163-8146

ScopusID: 57704690300

ШУБКИН Роман Геннадьевич, кандидат технических наук,
начальник кафедры контрольно-надзорной деятельности
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
(662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, 1, e-mail: rshubkin@gmail.com)

SPIN: 4497-0920

AuthorID: 1191233

ORCID: 0009-0000-0068-2968

ПРОСКОВА Наталья Юрьевна, преподаватель кафедры контрольно-надзорной деятельности
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
(662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, 1, e-mail: knd@sibpsa.ru)

Аннотация. Одним из значимых факторов риска возникновения в Арктической зоне Сибири ландшафтных пожаров и других опасных природных явлений, способных приводить к техногенным чрезвычайным ситуациям, является ветер. Поэтому развитие существующих представлений об изменениях повторяемости в различных ее районах ветров, скорость которых превышает тот или иной уровень, является актуальной проблемой не только метеорологии и физической географии, но и техносферной безопасности. Целью статьи является выявление участков территории и акватории Арктической зоны Сибири, где значения для современного климатического периода климатических норм повторяемости опасных ветров для месяцев пожароопасного периода (с мая по сентябрь) являются повышенными, а также проявились устойчивые и значимые тенденции их изменений в сторону увеличения (за период 1961-2020 гг.). Как опасные рассматривались ветры любых румбов, для которых среднечасовые значения модуля их скорости на высоте 10 м над земной поверхностью превышали 7 м/с. Для достижения указанной цели в качестве фактического материала использована информация реанализа ERA-5 об изменениях меридионального и зонального компонентов вектора среднечасовой скорости такого ветра. Оценены значения климатических норм повторяемости опасных ветров для месяцев с мая по сентябрь, а также тенденции ее межгодовых изменений в 1961-2020 гг. на различных участках территории и акватории Арктической зоны Сибири. Выявлены все ее участки, где в современном климатическом периоде повторяемость изучаемых ветров является повышенной и устойчиво возрастает. Полученные результаты позволяют предположить, что в ближайшие годы на таких участках повторяемость опасных ветров и риски возникновения связанных с ними техногенных чрезвычайных ситуаций, будут увеличиваться.

Ключевые слова: повторяемость, опасный ветер, потепление климата, Арктическая зона Сибири, климатическая норма, тенденция, пожарная безопасность.

IMPACT ON THE FIRE HAZARD OF CHANGES IN WIND REPEATMENT IN THE AREAS OF THE ARCTIC ZONE OF SIBERIA

©The Author(s) 2023

KHOLOPTSEV Alexander Vadimovich, doctor of Geographical Sciences, leading researcher,
professor of Control and Supervision Department
Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia
(662972, Krasnoyarsk Territory, Zheleznogorsk, Severnaya St., 1, e-mail: kholoptsev@mail.ru)

SHUBKIN Roman Gennadievich, candidate of Technical Sciences,
head of the Department of Control and Surveillance Activities
Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia
(662972, Krasnoyarsk Territory, Zheleznogorsk, Severnaya St., 1, e-mail: rshubkin@gmail.com)

PROSKOVA Natalya Yurievna, lecturer of the Department of Control and Surveillance Activities

*Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service Ministry of Emergency Situations of Russia
(662972, Krasnoyarsk Territory, Zheleznogorsk, Severnaya St., 1, e-mail: knd@sibpsa.ru)*

Abstract. One of the significant risk factors for landscape fires and other dangerous natural phenomena that can lead to technogenic emergencies in the Arctic zone of Siberia is wind. Therefore, the development of existing ideas about changes in the recurrence in its various regions of winds, the speed of which exceeds one or another level, is an urgent problem not only of meteorology and physical geography, but also of technosphere safety. The purpose of the article is to identify areas of the territory and water area of the Arctic zone of Siberia, where the values for the modern climatic period of climatic norms of frequency of occurrence of dangerous winds for months of fire-dangerous period (from May to September) are increased and also there were stable and significant trends of their changes towards increase (for the period 1961-2020). Winds of any rumble, for which the average hourly values of their velocity modulus at a height of 10 m above the ground surface exceeded 7 m/s, were considered as dangerous. To achieve the above objective, information of ERA-5 reanalysis on changes in the meridional and zonal components of the mean hourly velocity vector of such winds was used as factual material. The values of climatic norms of hazardous winds recurrence for months from May to September as well as trends of its interannual changes in 1961-2020 in different parts of the territory and water area of the Arctic zone of Siberia were assessed. All its areas were identified, where in the modern climatic period the frequency of the studied winds is elevated and steadily increases. The results suggest that in the coming years, the frequency of dangerous winds and the risks of man-made emergencies associated with them will increase in such areas.

Keywords: frequency, hazardous winds, climate warming, Arctic zone of Siberia, climatic norm, trend, technogenic safety.

Для цитирования: Холопцев А.В. Влияние на пожарную опасность изменения повторяемости ветров в районах арктической зоны Сибири / А.В. Холопцев, Р.Г. Шубкин, Н.Ю. Проскова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 174-185. – EDN: SBYDRJ.

Введение. Воздействие ветра на земную поверхность способно приводить к возникновению на ней природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Поэтому выявление участков территорий и акваторий различных регионов мира, где в современном периоде повторяемость таких ветров была повышенной и устойчиво возрастала, является актуальной проблемой физической географии, климатологии и техносферной безопасности.

Решение рассматриваемой проблемы представляет наибольший интерес для регионов, обладающих значительными природными ресурсами, в которых системы мониторинга их ветрового режима недостаточно эффективны. В России к их числу принадлежат регионы, а также акватории ее морей, относящиеся к Арктической зоне [1].

Границы сухопутной (континентальной) части этой зоны определены Указами Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 296 и от 27.06.2017 № 287, а ее схема приведена на рисунке 1.

Из рисунка 1 следует, что континентальная часть Арктической зоны России, включает территории Республики Коми, Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского автономных округов, Красноярского края и Республики Саха (Якутия). На ней расположены многочисленные нефтяные месторождения, где добывается более 57% всей нефти России. Здесь же ведется добыча многих ценнейших руд, в том числе молибдена, цинка, серебра, золота, и др., а также алмазов.

К Арктической зоне России относятся также принадлежащие ей акватории морей Северного Ледовитого океана: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. По ним пролегают маршруты важнейшей транспортной

коммуникации Арктики – Северного Морского пути (далее СМП), обеспечивающей жизнедеятельность населения и функционирование экономики всех северных регионов России.

На шельфе Баренцева моря разведано четыре нефтяных (Приразломное, Долгинское, Варандейское, Медынское), три газовых (Мурманское, Лудловское, Северо-Кильдинское), три газоконденсатных (Поморское, Ледовое и крупнейшее в мире Штокмановское), а также Северо-Гуляевское нефтегазоконденсатные месторождения.

Многочисленные газовые и газоконденсатные месторождения, в том числе уникальные по своим запасам – Ленинградское и Русановское, открыты также на шельфе Карского моря [1-3].

Преобладающая часть неосвоенных месторождений полезных ископаемых России находится на территориях и акваториях Арктической зоны, относящихся к Сибири, а также на шельфе морей Карского, Лаптевых, Восточносибирского [2, 4, 5]. Поэтому в будущем вероятно ускоренное развитие их экономики, которое должно быть устойчивым и экологически безопасным. Последнее возможно, если это развитие будет осуществляться комплексно, вследствие чего упомянутые территории и акватории целесообразно рассматривать как единый объект физико-географического исследования – Арктическую зону Сибири (АЗС).

Существенной особенностью АЗС является малое количество пунктов, в которых осуществляется систематический мониторинг ее ветрового режима. Ввиду чего его особенности изучают в основном по результатам того или иного глобального реанализа [6, 7], либо по результатам математического моделирования [8].



Рисунок 1 – Карта-схема территории континентальной части Арктической зоны Российской Федерации в соответствии с Указами Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 296 и от 27.06.2017 № 287

Согласно существующим представлениям о геоэкологических факторах [9-11], ветер целесообразно рассматривать как опасный, если при его возникновении повышаются различного рода риски для населения, транспорта, а также объектов инфраструктуры. Степень опасности ветра характеризуется значением модуля его скорости и зависит от особенностей территорий и акваторий, на которые он воздействует.

Геоэкологические риски для населения той или иной местности во многом зависят от повторяемости на ней ветров, рассматриваемых как опасные.

Повторяемость ветра какого-либо румба и силы над некоторым участком земной поверхности определяется как часть рассматриваемого периода времени, в течение которой значение модуля их скорости превышало тот или иной уровень [12, 13]. В исследованиях, посвященных оценке последствий изменений повторяемости опасного ветра, этот показатель, как правило, оценивается за тот или иной месяц.

Риски возникновения многих опасных природных явлений в АЗС определяются не пиковой, а средней интенсивностью процесса обмена теплом, влагой и импульсом между атмосферой и земной поверхностью, который обусловлен ветром. Их примерами могут служить удаление влаги из горючего материала (сушка) [2, 14 - 21], развитие поверхностного волнения в морях, способного разрушать их берега [22, 23], а также дрейф ледяного покрова морей [24-26].

При изучении таких явлений, как показатель по сути аналогичный повторяемости, но не зависящий от количества суток в том или ином месяце, может рассматриваться количество относящихся

к нему часов (далее T), в течение которых среднечасовая скорость изучаемого ветра превышала рассматриваемый уровень.

Пороговый уровень, указываемый при оценке T , зависит от вида изучаемого опасного последствия, возникающего под влиянием рассматриваемого ветра. Одно из наименьших значений этого уровня соответствует такому опасному последствию действия ветра, как сжатие, которое угрожает судам в арктических морях, если среднечасовые скорости ветра превышают 7 м/с [27, 28].

Характеристиками межгодовых изменений T в течение некоторого периода времени являются среднее значение этого показателя, а также тенденция, определяемая как угловой коэффициент линейного тренда временного ряда, образованного из его значений (далее Тренд) [29].

Как одна из характеристик местного климата может рассматриваться климатическая норма T (далее КН), вычисляемая как среднее значение этого показателя для рассматриваемого месяца за тот или иной климатический период. Тенденция перемен КН определяется путем сопоставления ее значений для современного (1991-2020 гг.) и базового климатического периода (1961-1990 гг.) [30].

Будущее не предопределено, однако сохранение в нем современной тенденции изменений изучаемого показателя тем более вероятно, чем более устойчивой и значимой она является. Поэтому оценка для различных участков АЗС современных значений КН, а также выявление участков, где тенденции изменений T указанными свойствами представляет теоретический и практический интерес.

Одним из наиболее совершенных источников

информации об изменениях характеристик поля скорости ветра в земной атмосфере является реанализ ERA-5 [31-34], который поддерживается сервисом Copernicus.

Реанализ содержит сведения об изменениях меридиональных и зональных компонентов вектора среднечасовой скорости ветра над любым пунктом земной поверхности, который совпадает с тем или иным узлом его координатной сетки с шагом $0,25^\circ$.

Эти сведения соответствуют различным высотам над земной поверхностью и каждому часу из интервала времени с 00 час. 01.01.1959 г. по 23 час. 31.12.2021 г. [35]. Тем не менее, современные значения КН, Тренд, а также тенденции изменения КН для различных месяцев, для каких-либо пунктов АЗС с их использованием ранее установлены не были. Не выявлены также участки АЗС, для которых современные тенденции межгодовых изменений T могут быть признаны устойчивыми и значимыми. Последнее не позволяет для таких участков определить вероятные тенденции дальнейших изменений T , а также учесть их при планировании основных мероприятий соответствующих подразделений МСЧ России.

Учитывая сезонные изменения повторяемости ландшафтных пожаров и других опасных природных явлений в АЗС [9, 10], наиболее важным представляется получение этой информации для месяцев май-сентябрь и ветров, для которых среднечасовые значения модуля их скорости в нижнем слое тропосферы превышают 7 м/с.

Целью данной работы является выявление участков территории и акватории АЗС, где современные значения КН для указанных месяцев и ветров являются повышенными, а также за период 1961-2020 гг. проявились устойчивые и значимые тенденции изменений T в сторону их увеличения.

При достижении указанной цели, для всех пунктов АЗС, соответствующих узлам координатной сетки реанализа и для всех месяцев с мая по сентябрь решаются задачи:

1) оценка значений $КН$ для современного и базового климатического периода, а также значений Тренда для всех отрезков времени продолжительностью не менее 30 лет, относящихся к 1961-2020 гг.;

2) выявление участков АЗС, на которых изменения T за период 1961-2020 гг. происходили в сторону их увеличения, а проявляющиеся при этом тенденции были устойчивыми и значимыми.

Методология. Российские ученые климатологи все чаще сталкиваются со сложностью получения достоверных данных, отражающих реальную картину происходящего, и это касается не только АЗС. К проблеме разреженности метеостанций и отчетливой тенденции к их сокращению, отмеченной, например, Сурковой Г.В. и Крыловым А.А. [36], добавились санкционные ограничения доступа России к данным спутникового зондирования Земли (в том числе

ESA-Copernicus).

Реанализ, как метод исследования климата, позволяет сгладить недостаточность данных посредством математического моделирования, а также получить дополнительных характеристики изучаемой системы [36]. Вместе с тем, и этот метод не универсален, поскольку в различных регионах мира наблюдательная сеть, по информации которой осуществляется верификация и валидация соответствующих моделей, включает разное количество станций мониторинга. В регионах, где упомянутых станций мало, либо их вовсе нет, оценить погрешности моделирования, сравнив его результаты с эмпирической информацией, невозможно.

Учитывая, что для всех регионов мира моделирование осуществляется с применением одних и тех же моделей, верифицированных фактически по информации полученной лишь в части его регионов, принимается допущение о том, что в прочих погрешности моделирования имеют тот же порядок. Последнее не позволяет для регионов, где мониторинг не проводится, определить доверительные интервалы количественных оценок гидрометеорологических характеристик, основанных на информации реанализа, что не исключает возможности ее применения для получения качественных выводов.

Так как решаемые задачи предполагают нахождение лишь ориентировочных оценок изучаемых показателей, применение в качестве фактического материала информации реанализа допустимо. На основании этого при решении поставленных задач, как фактический материал, использована информация реанализа ERA-5 об изменениях меридиональной и зональной составляющей СЧС, в период с 00 часов 01.01.1961 по 23 часа 31.12.2020 г., на высоте 10 м над всеми пунктами АЗС, соответствующими узлам его координатной сетки.

Как западная и восточная граница АЗ, рассматривались отрезки меридианов 60° в.д. и 180° в.д., расположенные между параллелью 80° с.ш. (принимаемой за северную границу АЗС) и ее южной границей, показанной на рисунке 1.

Учитывалось, что риски возникновения ландшафтных пожаров и других опасных природных явлений тем выше, чем больше скорость ветра, действующего на некоторой местности. Тем не менее, влияние на них такого ветра является значимым, начиная лишь с некоторых пороговых уровней его скорости. Для каждого опасного природного явления упомянутый пороговый уровень индивидуален.

В данной работе рассматриваются риски возникновения любого из опасных природных явлений, возможных в АЗС. Во внимание принималось, что чем ниже значение среднечасовой скорости ветра, которое рассматривалось в качестве порогового уровня, тем шире круг опасных природных явлений, для которых получаемые в работе выводы адекватны.

Одним из опасных природных явлений, воз-

никающих в морях у побережий АЗС, является сжатие их ледяного покрова, которое может приводить к разрушению корпуса и гибели судна, подвергающих его воздействию. Это явление возникает при наличии ветра, среднечасовая скорость которого превышает 7 м/с [27, 38, 39]. Указанное обстоятельство определило пороговое значение изучаемого показателя.

Методика решения первой задачи включала выполнение для каждого изучаемого пункта АЗС, соответствующего тому или иному узлу координатной сетки реанализа и для каждого рассматриваемого месяца, следующих расчетов:

1. Вычисление значения модуля среднечасовой скорости рассматриваемого ветра для каждого часа, относящегося к изучаемому периоду времени.

2. Определение значений T , соответствующих выбранному пороговому значению модуля среднечасовой скорости ветра.

3. Оценка значений КН, для периодов 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг..

4. Вычисление показателя *Тренд* (с использованием метода наименьших квадратов) [29], а также оценка его статистической значимости для каждого отрезка времени продолжительностью не менее 30 лет, относящегося к периоду 1961-2020 гг.

При оценке значимости этого показателя применен критерий Фишера [40]. Решение о значимости тренда принималось, если достоверность такого статистического вывода превышала 0,95.

При решении второй задачи принято допущение о том, что для некоторого пункта и месяца современная тенденция изучаемого процесса устойчива для всего периода 1961-2020 гг., если выполнялось условие:

$$M = \frac{X}{445} > 0.95, \quad (1)$$

где X – количество разных отрезков времени продолжительностью не менее 30 лет, относящихся к указанному периоду, для которых знак углового коэффициента линейного тренда T совпадает со знаком этого показателя для отрезка 1991-2020 гг.;

445 – общее количество таких отрезков.

Проверка выполнимости этого условия осуществлена для каждого пункта АЗС и каждого рассматриваемого месяца.

Также для каждого пункта и месяца, в соответствии с рекомендацией ВМО, оценена тенденция перемен КН за период 1961-2020 гг., для чего вычислено:

$$R = \text{КН}_{(1991-2020 \text{ г.г.})} - \text{КН}_{(1961-1990 \text{ г.г.})}. \quad (2)$$

Знаки R и *Тренд* (1991-2020гг.) сопоставлены между собой. Решение об устойчивости принималось при их совпадении.

Нетрудно видеть, что в основу использованной методики положены допущения, справедливость которых предварительно не оценивалась. Поэтому результаты, которые с ее помощью могут быть получены, могут носить лишь качественный характер.

Результаты. С применением рассмотренной методики поставленные задачи решены.

В результате решения первой задачи для всех месяцев с мая по сентябрь и для каждого участка АЗС вычислены значения КН (1991-2020гг.), а также КН (1961-1990 гг.), соответствующие современному и базовому климатическому периоду. Построенные с использованием этих значений распределения в пределах АЗС КН (1991-2020 гг.) для указанных месяцев представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2а, значения КН для мая в современном климатическом периоде превосходили 250 часов в обширном районе юго-западной части Карского моря, включающем также заливы Байдарацкая, Обская, Гыданская и Енисейская губа. В пределы указанного района попадают все порты Карского моря, а также все крупнейшие наземные, морские и прибрежные месторождения углеводородов Ямала.

Столь же высоки значения рассматриваемого показателя для района Карского моря, расположенного к северо-востоку от мыса Желания (остров Северный архипелага Новая Земля), пересекаемого маршрутами Северного Морского пути (далее СМП), а также для района моря Лаптевых, находящегося к северу от дельты реки Лены.

Не меньших уровней достигали современные значения КН и для прибрежных территорий Ямало-Ненецкого, Ненецкого автономных округов и Республики Коми, а также Красноярского края.

На прибрежных территориях АЗС, принадлежащих Республике Саха (Якутия) современные значения КН СЧС для мая достигали 183 часов.

Следует отметить, что на всех территориях АЗС, по мере их удаления от морских побережий современные значения КН снижаются до уровней менее 5 часов в месяц.

Из рисунка 2б следует, что для июня современные значения КН превышали 250 часов лишь над морскими районами АЗС. В Карском море крупнейшие из таких районов находятся к северо-востоку от мыса Желания, к северу от входов в заливы Обская, Гыданская и Енисейская губа. В море Лаптевых такой же район выявлен к северу от дельты р. Лены. Общая площадь таких районов для июня значительно меньше, чем для мая.

Над континентальными районами АЗС в рассматриваемом месяце современные значения КН достигали 193 часов (на территории Ямало-Ненецкого автономного округа).

Рисунок 2в показывает, что для июля современные значения КН превосходили 250 часов лишь для морских районов АЗС, суммарная площадь которых больше чем для июня, но меньше чем для мая. В Карском море столь высокая средняя повторяемость опасных ветров характерна для его западной части (от мыса Желания, до входов в заливы Обская, Гыданская и Енисейская губа). В море Лаптевых такой же район простирается от дельты р. Лены на северо-восток, к острову Котельный и далее к северу от островов архипелага Анжу.

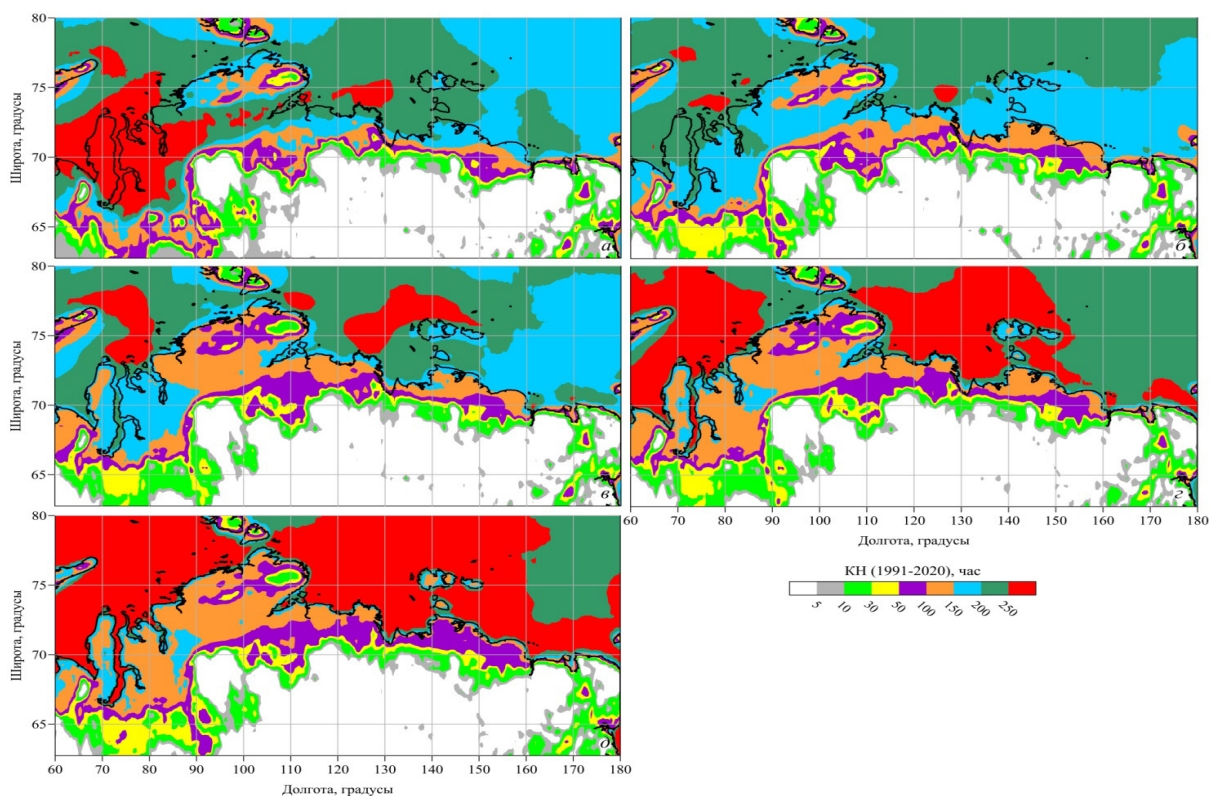


Рисунок 2 – Участки Арктической зоны Сибири, где КН (1991-2020 гг.) принимали те или иные значения для месяцев: а) Май; б) Июнь; в) Июль; г) Август; д) Сентябрь

Наибольшие современные значения КН, лежащие в пределах 150-200 часов, для июля характерны на территориях АЗС, принадлежащих Ямало-Ненецкому автономному округу и Красноярскому краю. Важно отметить, что для июля и августа над указанными территориями преобладают ветры северных румбов, доставляющие на них воздух из Арктики. Несмотря на то, что в современном периоде акватория Арктика летом частично свободна от льда, температуры формирующегося над ней воздуха значительно ниже, чем температуры прибрежной суши.

Насыщающее значение абсолютной влажности воздуха тем ниже, чем ниже его температура.

Абсолютная влажность арктического воздуха, при его перемещении на сушу, практически не изменяется, так как поверхность прибрежной суши (тундры) значительно теплее, чем температура такого воздуха, теплообмен между ними приводит к его потеплению. В результате этого относительная влажность воздуха, пришедшего с севера, снижается.

При взаимодействии любой подстилающей поверхности с таким воздухом, с нее происходит испарение влаги. В результате находящийся на ней горючий материал становится суше, а вероятность его возгорания увеличивается.

Как следует из рисунка 2г, современные значения КН для августа, превосходили 250 часов на всей акватории моря Лаптевых, а также над западными частями акватории Карского и Восточносибирского моря. Общая площадь таких акваторий превышает значение для всех предыдущих месяцев.

На прибрежных территориях АЗС наибольших значений (от 150 до 200 часов) эти показатели достигали в районе портов Сабетта и Дудинка. Такие же уровни характерны для них и на удаленных от моря территориях северных районов Красноярского края.

Рисунок 2д свидетельствует о том, что для сентября суммарная площадь акваторий АЗС, где современные значения КН составляет не менее 250 часов, больше, чем во все предыдущие рассматриваемые месяцы. Такие акватории включают все районы морей Карского и Лаптевых, а также южные районы Восточносибирского моря.

Расположения территорий АЗС, где современные значения КН Т для сентября достигали наибольших уровней (от 150 до 200 часов), практически не отличаются от их расположения для августа.

Сопоставление рисунков 2а-д позволяет заключить, что ветровой режим в АЗС для июня является наиболее безопасным. С июня до сентября суммарные площади морских акваторий, где современные значения КН превосходят 250 часов, устойчиво возрастают.

На территориях АЗС рассматриваемые ветры возникают с такой же повторяемостью лишь в мае (Ямало-Ненецкий, Ненецкий автономные округа, Республика Коми и Красноярский край). От мая к сентябрю общая площадь территорий этих регионов, где современные значения КН Т составляли от 150 до 200 часов, устойчиво снижается.

Также при решении первой задачи для каждого пункта АЗС, каждого месяца и каждого отрезка

временного ряда T длиной не менее 30 членов, соответствующего периоду 1961-2020 гг. вычислен показатель Тренд.

Как пример, на рисунке 3 показаны распределения по поверхности АЗС этого показателя для месяцев май-сентябрь, соответствующие отрезку времени 1991-2020 гг. (современный климатический период).

Рисунок 3а свидетельствует о том, что для мая в АЗС существуют как морские, так и континентальные районы, для которых значения показателя

Тренд положительны, а достоверность вывода об их значимости превышает 0,95.

Указанные районы в Карском море расположены к северо-востоку от мыса Желания и в заливе Обская губа.

Аналогичные районы выявлены также в морях Лаптевых, Восточносибирском и прилегающей к ним части Арктического бассейна Северного Ледовитого океана. Они находятся к востоку от островов архипелага Северная Земля и к северу от островов архипелага Анжу.

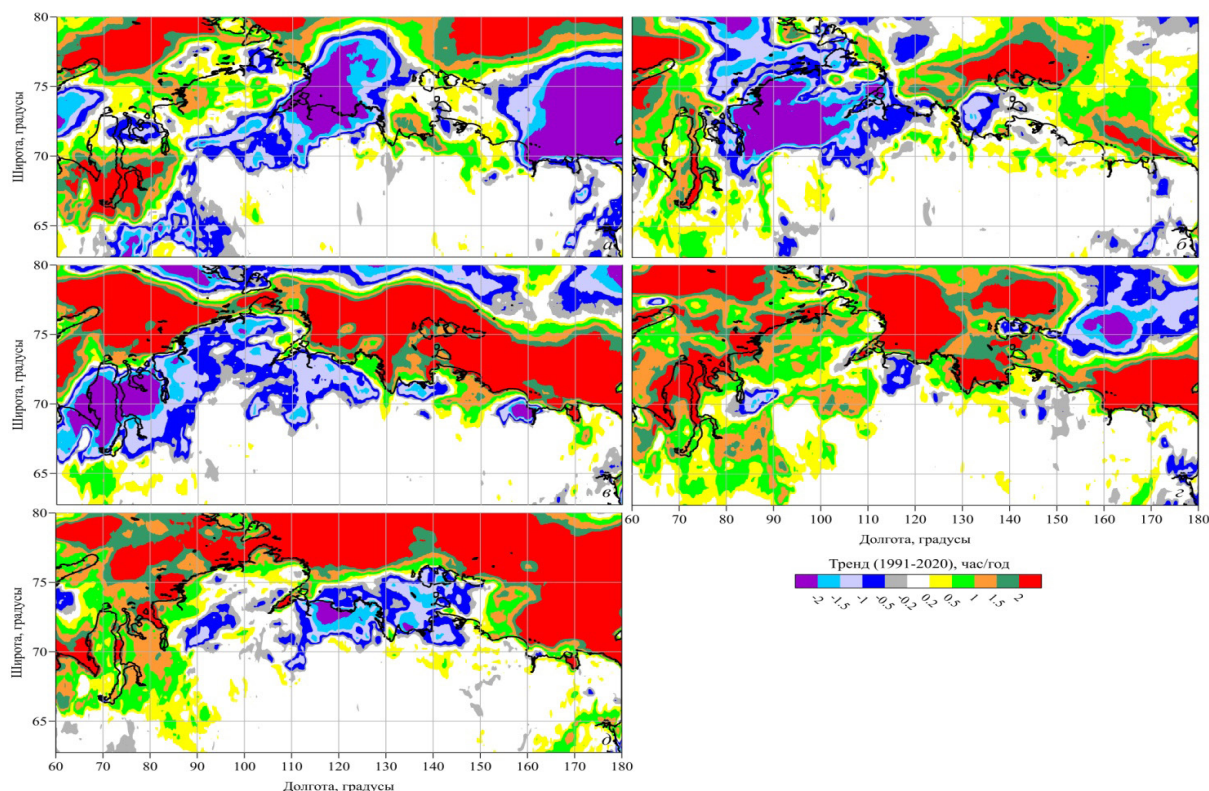


Рисунок 3 – Расположения участков АЗС, где значения углового коэффициента линейного тренда значений T для современного климатического периода (1991-2020 гг.) принимали те или иные значения для месяцев: а) Май; б) Июнь; в) Июль; г) Август; д) Сентябрь

Сравнение рисунка 3а с рисунком 2а позволяет установить, что морские районы, где тренд рассматриваемых показателей для мая за 1991-2020 гг. является восходящим и значимым, обнаружены также на многих из установленных ранее участков акватории тех же морей. Для них современные значения КН превосходят 250 часов.

Континентальные районы АЗС, для которых за период 1991 - 2020 гг. для мая имело место значимое увеличение повторяемости изучаемых ветров, находятся в южной части полуострова Ямал, а также на граничащих с ним территориях Ямало-Ненецкого, Ненецкого автономного округа и Республики Коми. Из рисунка 2а видно, что для указанных территорий современные значения КН также превосходят 250 часов.

Рисунок 3б показывает, что для июня в Карском море существуют районы, где тренд межгодовых изменений T за 1991-2020 гг. являлся восходящим

(с достоверностью не менее 0,95). Эти районы расположены к северу от мыса Желания, к востоку от Северного острова архипелага Новая земля и в заливе Обская губа.

Такие же районы присутствуют в море Лаптевых: к северу от дельты р. Лены и к северу от островов архипелага Анжу. Выявлены они и в Восточносибирском море: у северного побережья островов Котельный и Новая Сибирь, а также у материкового побережья (на участке от Колымского залива и Медвежьих островов до мыса Якан).

Континентальные районы АЗС, в которых тренд межгодовых изменений T за 1991-2020 гг. признан восходящим (с достоверностью не менее 0,9), расположены лишь в южной и северо-восточной части полуострова Ямал.

Рисунок 3в позволяет заключить, что морские районы АЗС, где в межгодовых изменениях T для июля за 1991-2020 гг. присутствует возрастающий

тренд, включают в себя все районы, где современные значения КН превышало 250 часов.

Наибольший по площади континентальный район АЗС, где в 1991-2020 гг. межгодовых изменениях T для июля присутствует возрастающий тренд, а современные значения КН лежат в пределах 150-200 часов, находится в восточной части Яно-Индибирской низменности.

Из рисунка 3г следует, что для августа многие морские АЗС, где тренд межгодовых изменений T за 1991-2020 гг. с достоверностью 0,95 признан возрастающим, расположены практически там же, где, как видно из рисунка 2г, современные значения КН превышают 250 часов.

Континентальные районы АЗС, где показатель Тренд для августа с такой же достоверностью признан возрастающим, находятся в северной части полуострова Ямал. В южной части полуострова значения этого показателя меньше (уровень достоверности не превышает 0,9). Здесь же современные значения КН лежат в пределах 200-250 часов.

Как следует из рисунка 3д, для сентября суммарная площадь морских районов АЗС, в которых межгодовые изменения T за 1991-2020 гг. происходили в сторону увеличения, а достоверность этого вывода превышала 0,95, что по сравнению с предыдущими месяцами, значительно увеличилось. Такие районы занимают практически все акватории морей Лаптевых и Восточносибирского, а также весьма распространены в восточной и южной (прибрежной) части Карского моря.

Сравнение рисунков 3д и 2д показывает, что во многих из указанных районов современные значения КН превышают 250 часов.

Континентальный район, где вывод о наличии возрастающего тренда характеризуется достоверностью не менее 0,9, но не более 0,95, расположен в нижнем течении р. Енисей (он включает п. Дудинка).

Сопоставление рисунков 2а-д и 3а-д позволяет заключить, что для рассматриваемых месяцев в современном климатическом периоде между расположениями районов, где КН превышают 250 часов, а в изменениях T с достоверностью не менее 0,95 присутствуют возрастающие тренды, существует соответствие.

При решении второй задачи установлено, что аналогичное соответствие имеет место и с расположениями районов, где в изменениях T с такой же достоверностью выявлены возрастающие тренды для многих других отрезков времени продолжительностью не менее 30 лет, относящихся к периоду 1961-2020 годов.

Для районов, где в те или иные месяцы современного климатического периода КН превышают 250 часов, значения T превышают выбранный пороговый уровень, что позволяет рассматривать соответствующие им современные тенденции изменений T , как устойчивые.

Для подтверждения справедливости этого выво-

да, на рисунке 4 приведены расположения районов АЗС, в которых те или иные уровни превышаются разностью значений КН для современного климатического периода по отношению к базовому периоду.

Из рисунка 4а понятно, что КН для мая за период 1961-2020 гг. с наибольшей скоростью (более 50 час/год) повышались в двух районах АЗС.

Первый расположен на акватории Баренцева моря, к западу от мыса Желания, непосредственно на маршрутах СМП. Второй район находится на территории Красноярского края, на юге полуострова Таймыр.

Из рисунка 4а и рисунка 2а следует, что во многих районах, где КН для мая увеличились за 1961-2020 гг., по отношению к аналогичным показателям для базового периода на 10-30 часов в год, значения этих показателей для современного климатического периода превысили 250 часов.

Такие участки расположены как на выявленных морских акваториях, так и на различных территориях. К последним относятся и территории полуострова Ямал, где ведется добыча углеводородов, а также побережья, на которых находятся порты Харасавэй, Новый порт и Сабетта.

Рисунок 4б позволяет утверждать, что для июня в период 1961-2020 гг. характерно преобладание в АЗС тенденций к снижению КН. Тем не менее, противоположные тенденции выявлены и в тех морских, а также континентальных ее районах, где для этого месяца в современном климатическом периоде КН превосходили 250 часов.

В Карском море один из районов, где значение этого показателя увеличилось на величину от 30 до 50 часов, расположен к северу от входов в заливы Обская, Гыданская и Енисейская губа.

В море Лаптевых такой же район, где современное значение КН превышает аналогичный показатель для периода 1061-1990 гг. на величину от 10 до 30 часов, находится к северу от дельты р. Лены.

На побережьях Карского моря, а также на территории полуострова Таймыр существуют многочисленные районы, где для современного климатического периода значение повысилось по отношению к базовому периоду на 30-50 часов.

Как видно из рисунка 4в, для июля наиболее быстрое увеличение КН за период 1961-2020 гг. (более чем на 50 часов) происходило именно в тех районах морей Карского и Лаптевых (рис. 2в), где в современном климатическом периоде значения этого показателя превышают 250 часов. Практически совпадает расположение континентальных районов, принадлежащих Ямало-Ненецкому, Ненецкому автономному округу, Красноярскому краю и Республике Коми, где для июля в современном климатическом периоде КН превышает такой же показатель для базового периода на 10-30 часов, а также расположения районов, где современные значения КН превосходит 150 часов.

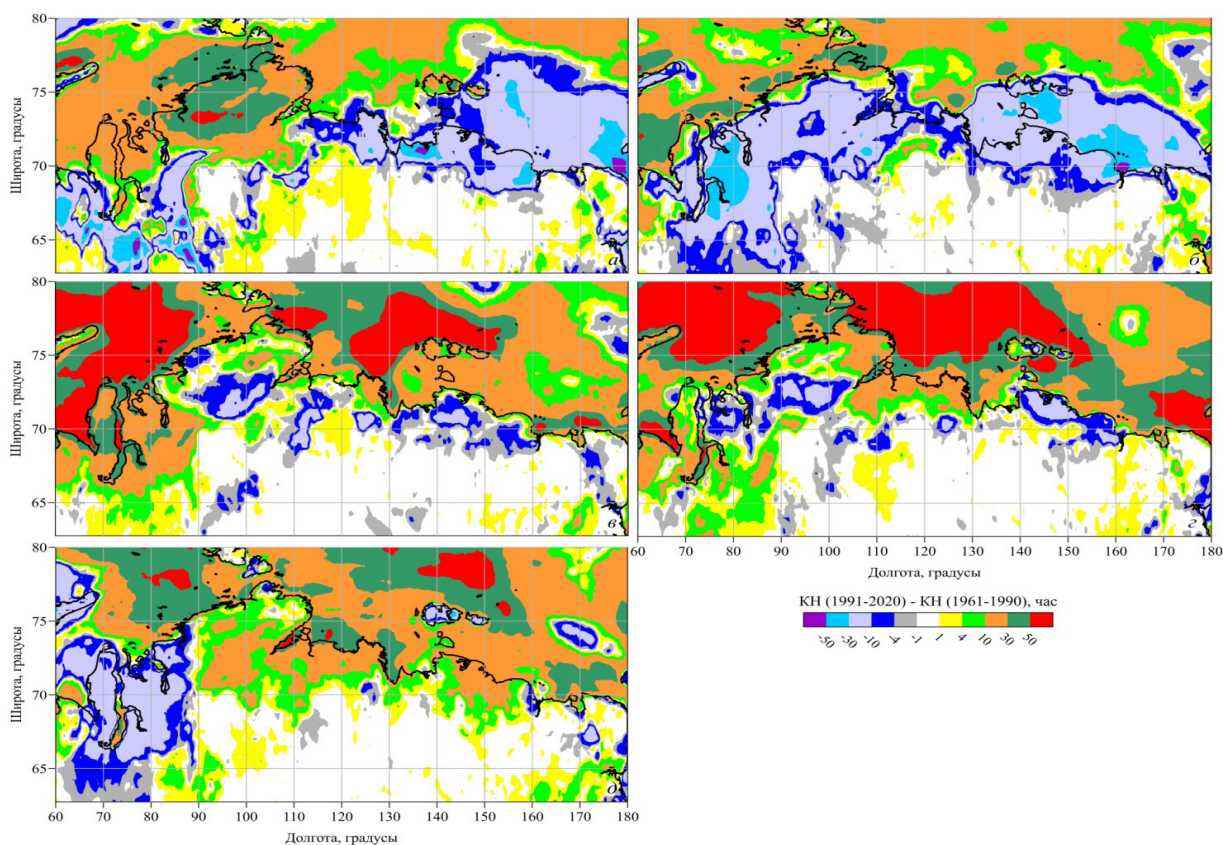


Рисунок 4 – Расположения участков АЗС, где значения КН (1991-2020 гг.) – КН (1961-1990гг.) принимали те или иные значения для месяцев: а) Май; б) Июнь; в) Июль; г) Август; д) Сентябрь

Тенденция к увеличению КН выявлена и на прибрежных территориях Республики Саха (Якутия). Суммарная площадь территорий и акваторий, где в 1961-2020 гг. преобладали тенденции к увеличению КН, для июля значительно больше, чем для июня и мая.

Из рисунка 4г следует, что в августе общая площадь морских районов АЗС, где в 1961-2020 гг. преобладали тенденции к увеличению КН, в сравнении с аналогичным показателем для июля заметно увеличилась.

Для континентальных районов существенного изменения этого показателя не выявлено. Для территорий, принадлежащих Ямало-Ненецкому, Ненецкому автономному округу и Республике Коми, его значение уменьшилось, а для территорий полуострова Таймыр (Красноярский край) и приморских районов Республики Саха (Якутия) оно увеличилось.

Сравнение рисунка 4г и рисунка 2г свидетельствует о том, что в районах, где августовские значения КН для современного климатического периода максимальны, либо повышены, за 1961-2020 гг. преобладали тенденции к увеличению этих показателей со скоростью близкой к максимальной.

Из рисунка 4д можно заключить, что для сентября общая площадь морских районов АЗС, где в 1961-2020 гг. преобладали тенденции к увеличению КН, в сравнении с аналогичным показателем для августа значительно уменьшилась. Общая площадь таких

же континентальных районов практически не изменилась. Такие территории выявлены лишь в районах Красноярского края и Республики Саха (Якутия), а их площадь, в сравнении с аналогичным показателем для августа, увеличилась.

Сопоставление рисунков 4а-д и 2а-д позволяет утверждать, что за период 1961-2020 гг. тенденции к увеличению КН преобладали на тех участках АЗС, где в современном климатическом периоде значения этих показателей превышали 150 часов.

Сравнение рисунков 4а-д и 3а-д показывает, что тенденции к повышению КН выявлены во многих из тех районов АЗС, где современные тенденции изменений T для периода 1961-2020 гг. с достоверностью не ниже 0,95 признаны устойчивыми (что подтверждает это).

Следует отметить, что континентальные районы АЗС, в которых тренд межгодовых изменений T за 1991 - 2020 гг. признан восходящим (с достоверностью не менее 0,9) и устойчивым, расположены лишь в ее западной части. Их территории принадлежат Ямало-Ненецкому, Ненецкому автономному округу и Республике Коми.

Согласно существующим представлениям о последствиях потепления для летних месяцев климата Сибири [9, 10], одним из них является увеличение повторяемости и средней скорости ветров северных румбов над многими ее территориями, относящимися к АЗС.

Последнее свидетельствует о том, что при

дальнейшем потеплении климата АЗС, выявленные тенденции изменений T и повторяемости опасных ветров в указанных ее районах могут сохраниться.

Поскольку в значительном количестве таких районов современные значения КН превышают 250 часов в месяц, дальнейшее увеличение этих показателей приведет к увеличению рисков возникновения в них чрезвычайных ситуаций, которые обусловлены действием опасных ветров.

В морских районах АЗС такие риски для судоходства могут быть вызваны увеличением повторяемости не только штормов, но и непредвиденных изменений состояния их ледяного покрова (выноса льда на маршруты следования судов, сжатия и др.).

При увеличении в будущем повторяемости опасных ветров может усложниться работа не только водного и воздушного транспорта, но также морских, речных портов и аэропортов, где чаще будет приостанавливаться работа кранов, возникать проблемы при швартовке судов, взлете и посадке самолетов. Увеличатся также риски прибойного разрушения берегов абразионного, термоабразионного, аккумулятивного и абразионно-аккумулятивного типа.

В континентальных районах АЗС дальнейшее увеличение повторяемости опасных ветров будет способствовать уменьшению средних запасов влаги в горючем материале, что увеличит вероятность его воспламенения. Вероятность возникновения пожаров на таких территориях будет повышаться и в результате более частых обрывов при опасных ветрах воздушных линий электропередачи.

Так как ветер доставляет в область горения кислород и удаляет из нее диоксид углерода, искры и тепло, в тундре дальнейшее увеличение T будет способствовать более быстрому развитию ландшафтных пожаров и их распространению на более обширные территории. В лесах оно чаще будет приводить к трансформации низовых пожаров в верховые пожары, что существенно повысит их опасность и усложнит их ликвидацию.

Следствием увеличения повторяемости в будущем опасных ветров явится повышение вероятности разрушений различных инженерных сооружений, а также техногенных аварий, угнетающих экосистему Арктики (или приводящих к экологическим катастрофам). Поэтому установленные закономерности свидетельствуют о том, что во многих выявленных районах АЗС следует ожидать дальнейшего увеличения рисков возникновения не только природных, но и техногенных чрезвычайных ситуаций. Их увеличение наиболее вероятно на территориях Ямало-Ненецкого, Ненецкого автономного округа и Республики Коми, а также на участках акватории СМП, по которым проходят его Прибрежный и Высокоширотный маршруты. Поэтому в указанных районах необходимо опережающими темпами развивать местные подразделения МЧС РФ.

Обсуждение. Полученные результаты в целом соответствуют существующим представлениям о последствиях современного потепления климата в АЗС [9-11, 37].

Новизной обладают следующие установленные выше факты:

1. Существуют многочисленные районы АЗС, где в современном климатическом периоде для месяцев с мая по сентябрь значения КН превышают 250 часов, а тенденции к увеличению этих показателей статистически значимы.

2. Для многих из этих районов указанные современные тенденции в период с 1961 по 2020 гг., были устойчивыми (достоверность этого вывода не менее 0,95).

Полученные результаты обосновывают допустимость предположения о том, что в таких районах АЗС, при дальнейшем потеплении ее климата, вероятно увеличение T , которое способно представлять опасность для населения и транспорта, а также хозяйственной деятельности.

Выводы. Таким образом, установлено:

1. Климатические нормы повторяемости опасных ветров на территориях и акваториях Арктической зоны Сибири для современного климатического периода и месяцев с мая по сентябрь существенно зависят от их географического положения. Они достигают наибольших значений на территориях полуострова Ямал и в прилегающих к нему районах западной части этой зоны (Ямало-Ненецкий, Ненецкий автономные округа, Республика Коми и Красноярский край, а также акватории морей, по которым проходят Прибрежный и Высокоширотный маршруты Северного Морского пути). Поэтому именно в таких регионах тенденции увеличения повторяемости рассматриваемых ветров способны приводить к возрастанию рисков чрезвычайных ситуаций, негативно влияющих как на пожарную, так и на техносферную безопасность региона в целом.

2. На территориях выявленных регионов, а также граничащих с ними акваторий арктических морей выявлены участки, где в современном периоде преобладают значимые тенденции к увеличению повторяемости опасных ветров, которые были устойчивы на всем интервале 1961-2020 гг.

3. При дальнейшем потеплении климата Арктической зоны Сибири, в таких ее районах риски возникновения природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, вызванных действием опасных ветров, могут возрастать, что целесообразно учитывать при планировании осуществления в них любых видов хозяйственной деятельности, а также развития региональной группировки МЧС РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Павленко В.И., Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны. // Арктика: экология и экономика. – № 4 (12), 2013. – С. 16-25.
2. Волков А.В. Месторождения стратегических металлов

- Арктического региона / А.В. Волков, Н. С. Бортников // Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. – Москва: Российская академия наук, 2019. – Т. 2: Научные сессии Общих собраний отделений РАН. – С. 104-114.
3. Григорьев Г.А. Перспективы освоения углеводородного потенциала российского арктического шельфа с нефте-геологических, технологических и финансово-экономических позиций // Современные вызовы нефтяной геологии. Альтернативы и перспективы развития: сборник докладов Юбилейной конференции (Санкт-Петербург, 6–8 ноября 2019 г.). – Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2019. – С. 21-27. DOI: <https://doi.org/10/17353/AnniversaryConference2019/Grigoryev>
4. Итоги геологоразведочных работ на арктическом шельфе России в 2014–2019 гг. и перспективы проведения работ на ближайшее время / П.Н. Мельников, М.Б. Скворцов, М.Н. Кравченко [и др.] // Геология нефти и газа. – 2019. – № 6. – С. 5-18. – DOI: <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-6-5-18>.
5. Прищепа О.М. Перспективы дальнейшего изучения и освоения углеводородного потенциала арктического шельфа Российской Федерации / О.М. Прищепа, Ю.В. Нефедов, Г.А. Григорьев // Научный журнал Российского газового общества. – 2019. – № 3/4. – С. 5-20.
6. Изменчивость ресурсов солнечной и ветровой энергии в российском секторе Арктики / К.Н. Пустовалов, Е.В. Харюткина, В.А. Корольков, П.М. Нагорский // Оптика атмосферы и океана. – 2019. – Т. 32, № 11. – С. 908-914. – DOI: <https://doi.org/10.15372/AOO20191105>.
7. Кононова Н.К. Исследование циркуляционных факторов изменений климата на территории Сибирского сектора по данным типизации Б.Л. Дзердзеевского [Электронный ресурс] / Н.К. Кононова, И.В. Латышева // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ (Иркутск, 5-7 июня 2019 г.). – Иркутск: Издательство ИГУ, 2019. – С. 578-586.
8. Дианский Н.А. Прогностические оценки климатических изменений в Арктике на основе комбинированного сценария [Электронный ресурс] / Н.А. Дианский, И.В. Соломонова, А.В. Гусев // Российская Арктика. – 2019. – № 4. – С. 24-33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognosticheskie-otsenki-klimaticheskikh-izmeneniy-v-arktike-na-osnove-kombinirovannogo-stsenariya/viewer> (дата обращения: 03.01.2023).
9. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Изд-во Росгидромета, 2014. – 1009 с.
10. Е.М. Аментьева, Е.И. Александров, Г.В. Алексеев, О.А. Анисимов, Ж.А. Балонишникова, О.Н. Булыгина, В.Ю. Георгиевский, М.Д. Докукин, С.В. Ефимов, Н.Е. Иванов, Х.М. Калов, В.М. Катцов, А.А. Киселев, А.В. Клепиков, М.В. Клюева, Н.В. Кобышева, В.В. Оганесян, В.Н. Павлова, Т.В. Павлова, А.А. Постнов, В.В. Стадник, С.А. Солдатенко, Е.И. Хлебникова, А.Л. Шалыгин, И.М. Школьник. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург: 2017. – 106 с. ISBN 978-9500833-1-5. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (дата обращения: 25.12.2022).
11. Соловьев Д.А. Современные изменения климата в Арктике: причины и экологические последствия [Электронный ресурс] / Д.А. Соловьев // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: II Юдахинские чтения: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием (24 – 28 июня 2019 г.). – Архангельск: Типография № 2 [и др.], 2019. – С. 152-156.
12. Концепция использования ветровой энергии в России. Под ред. Безруких П.П. – М.: Книга – Пента, 2005. – 128 с.
13. Применение статистических методов в метеорологии / под ред. Л.С. Гандина, Р.Л. Кагана // Труды Ордена Трудового Красного знамени Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1980, 146 с.
14. Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной запыленности и сезонов года. Хабаровск. – 2000. – 46 с.
15. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.
16. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭК-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
17. Дроздова Т.И., Сороковикова Е.В. Анализ лесных пожаров в Иркутской области в 2010-2019 гг. // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. – 6(1). – С. 29-41. DOI: [10.21285/2500-1582-2021-1-29-41](https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-1-29-41)
18. Нестеров В.Г. Вопросы управления природой. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 263 с.
19. Соколова Г.В., Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2014. – №5. – С. 50-62.
20. Шешуков М.А., Ковалев А.П., Орлов А.М., Позднякова В.В. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров // Сибирский лесной журнал. – 2020. – № 2. – С. 14-20. URL: <https://doi.org/10.15372/SJFS20200202> (дата обращения: 28.12.2022).
21. Шубкин Р.Г. Результаты долгосрочного прогнозирования крупномасштабных лесных пожаров в Байкальском регионе / Шубкин Р.Г., Ширинкин П.В. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2016. – № 3. – С. 35-38.
22. Каплин П.А. Прогноз развития береговой зоны морей России [включая арктические] в условиях повышения их уровня и потепления климата / Каплин П.А., Павлидис Ю.А., Селиванов А.О. // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке: XX Междунар. конф., посвящ. 90-летию В.П. Зенковича (4-5 февр. 2000 г.). – Москва. – 2001. – С. 16-28.
23. Ogorodov S.A., Aleksyutita D.M. et al., 2020. Coastal erosion of the Russian Arctic: An overview. In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), Global Coastal Issues of 2020. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 95, pp. 599-604. Coconut Creek (Florida).
24. Дмитриев А.А. Динамика атмосферных процессов над морями Российской Арктики. – СПб.: Гидрометиздат, 2000. – 233 с.
25. Бузин И.В., Клячкин С.В., Фролов С.В., Смирнов К.Г., Михальцева С.В., Соколова Ю.В., Гудошников Ю.П., Войнов Г.Н., Григорьев М.Н. Сжатия ледяного покрова в Печорском море: природное явление и его влияние на морские операции // Арктика: экология и экономика. – 2022. – Т. 12. – № 4. – С. 500-512. – DOI: [10.25283/2223-4594-2022-4-500-512](https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-500-512).
26. Цой Л.Г. К оценке риска при плавании судов по Северному морскому пути // Изучение ледовых качеств и обоснование рациональных параметров судов ледового плавания: Сборник трудов. – СПб.: Нестор-История, 2017. – С. 386-400.
27. Клячкин С.В., Гудкович З.М., Май Р.И., Фролов С.В. Сжатия льдов // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е.У. Миронова. – СПб.: ААНИИ, 2010. – С. 33-91.
28. Миронов Е.У., Фролов С.В. Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е.У. Миронова. – СПб.: ААНИИ. – 2010. – С. 12-32.
29. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити. – 1998. – 1022 с.
30. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. /ВМО № 1203. – 2017. – 21 с. ISBN 978-92-63-41203-4.
31. Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production // ECMWF Newsletter. – 2016. – Vol. 147. – P. 7.
32. N. K. Kononova and A. R. Lupo, Changes in the Dynamics of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation and the Relationship to Surface Temperature in the 20th and 21st Centuries// Atmosphere. – 2020, 11(3), 255; <https://doi.org/10.3390/atmos11030255>.
33. Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // Atm. Chem. Phys. – 2019. – Vol. 19. – P. 3097-3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>, 2019.
34. Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F.,

Villaume, S., and Thépaut, J.-N.: The ERA5 global reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 1999-2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020.

35. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.

36. Суркова Г.В., Крылов А.А. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века // Арктика и Антарктика, 2018 – 3. – С. 26 – 36. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27395.

37. Котляков В.М. (2012). О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. – 2012. – Вып. 21. – С. 110-114.

38. Фролов С.В. Влияние ориентации нарушений сплошности льда на эффективность движения судов в Арктическом бассейне в летний период // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 3. – С. 35-45.

39. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике: монография / под ред. Е.У. Миронова. СПб.: ААНИИ, 2010. – 319 с.

40. Закс Ш.Т. Теория статистических выводов. – М.: Мир. – 1975. – 776 с.

Статья поступила в редакцию 11.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК: 614.8

EDN: RWDVGM

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В 2022 ГОДУ

© Автор(ы) 2023

SPIN:8654-3788

AuthorID: 709088

ORCID: 0000-0002-4037-1231

ScopusID: 57209274032

ИВАНОВ Евгений Вячеславович, кандидат технических наук,

доцент кафедры аварийно-спасательных работ

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Химки, улица Соколовская, 1, e-mail: linia-zhizni@yandex.ru)

SPIN: 5470-1533

AuthorID: 888327

ORCID: 0000-0002-9093-1559

ScopusID: 56979008100

РЫБАКОВ Анатолий Валерьевич, доктор технических наук,

профессор кафедры высшей математики

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Химки, улица Соколовская, 1, e-mail: anatoll_rubakov@mail.ru)

SPIN: 5955-7224

AuthorID: 744282

БАРИНОВ Михаил Фёдорович, кандидат технических наук,

доцент кафедры аварийно-спасательных работ

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Химки, улица Соколовская, 1, e-mail: m.barinov@amchs.ru)

Аннотация. В статье представлены значения основных показателей, характеризующих состояние защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации 2022 году. Проведен анализ и сопоставление показателей с аналогичными показателями прошлого года, позволяющими судить о положительной динамике значений основных показателей. Вместе с тем, более объективной величиной оценки состояния защиты территории является величина индивидуального риска. Исходя из известных данных по количеству погибших (за субъекты), а также статистической отчетности по численности населения, проживающего в пределах региона рассчитаны значения индивидуального риска чрезвычайных ситуаций для территорий субъектов Российской Федерации и агрегированные значения для федеральных округов. Проведенный анализ значений индивидуального риска позволил определить субъекты с наибольшими значениями индивидуального риска чрезвычайных ситуаций для страны и для каждого федерального округа. Сравнение полученных значений с допустимыми, позволяет сделать вывод о том, что для подавляющего числа субъектов Российской Федерации в 2022 году удалось не допустить их превышения. Вместе с тем, для случая превышения значений индивидуального риска (Ульяновская область), превышение значений допустимого индивидуального риска сопряжено с разовым крупным дорожно-транспортным происшествием. В статистике такие случаи относятся к так называемым «выбросам» и являются трудно прогнозируемыми событиями.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации; индивидуальный риск; ранжирование; анализ риска; динамика показателей; допустимые значения риска; статистический анализ; защита населения и территорий; материальный ущерб; пострадавшие; погибшие.

RESULTS OF THE ASSESSMENT OF THE STATE OF PROTECTION OF THE POPULATION AND TERRITORIES FROM EMERGENCY SITUATIONS IN 2022

© Author(s) 2023

IVANOV Evgeny Vyacheslavovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Emergency Rescue Operations

RYBAKOV Anatoliy Valerievich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of Higher Mathematics

BARINOV Mikhail Fedorovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Emergency Rescue Operations
Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia

(141435, Russia, Khimki, Sokolovskaya street, 1,

e-mails: linia-zhizni@yandex.ru, anatoll_rubakov@mail.ru, m. barinov@amchs.ru)

Abstract. The article presents the values of the main indicators characterizing the state of protection of the pop-

ulation and territories from emergency situations in the Russian Federation in 2022. The analysis and comparison of indicators with similar indicators of the previous year, allowing to judge the positive dynamics of the values of the main indicators, is carried out. At the same time, a more objective value for assessing the state of protection of the territory is the value of individual risk. Based on the known data on the number of the deceased (for the subjects), as well as statistical reporting on the population living within the region, the values of individual risk of emergency situations for the territories of the subjects of the Russian Federation and aggregated values for the federal districts are calculated. The analysis of individual risk values made it possible to identify subjects with the highest values of individual risk of emergency situations for the country and for each federal district. Comparison of the obtained values with the permissible ones allows us to conclude that for the overwhelming number of subjects of the Russian Federation in 2022 it was possible to prevent their excess. At the same time, in case of exceeding the values of individual risk (Ulyanovsk region), exceeding the values of the permissible individual risk is associated with a one-time major traffic accident. In statistics, such cases refer to the so-called "emissions" and are difficult to predict events.

Keywords: emergency situations; individual risk; ranking; risk analysis; dynamics of indicators; acceptable risk values; statistical analysis; protection of the population and territories; material damage; victims; dead.

Для цитирования: Иванов Е.В. Результаты оценки состояния защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в 2022 году / Е.В. Иванов, А.В. Рыбаков, М.Ф. Баринов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 186-191. – EDN: RWDVGM.

Введение. Ежегодно, в целях обеспечения деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, учреждений и организаций осуществляется подготовка систематизированной аналитической информации о состоянии защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного и техногенного характера [1].

При этом, важны как сами предоставляемые абсолютные значения показателей, характеризующих состояние защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций, так и агрегированные, и полученные по соответствующим методикам аналитические данные [2].

Такие аналитические данные о состоянии защиты населения и территорий от ЧС необходимы для определения той или иной модели при формировании

программ стратегического планирования по вопросам обеспечения комплексной безопасности, в рамках социально-экономического развития территорий [3-5].

В России в качестве федерального органа исполнительной власти, ответственного за сбор, обобщение, анализ информации по представленному направлению выступает МЧС России.

Методология. Осуществленный в настоящее время на основе оперативных данных можно сделать следующие первые выводы по итогам ЧС, имевшим место в 2022 году:

1. Так, традиционно, в структуре чрезвычайных ситуаций, по масштабу преобладают чрезвычайные ситуации муниципального характера (составляют более половины – 62%).

Распределение чрезвычайных ситуаций по масштабам представлено на рисунке 1.

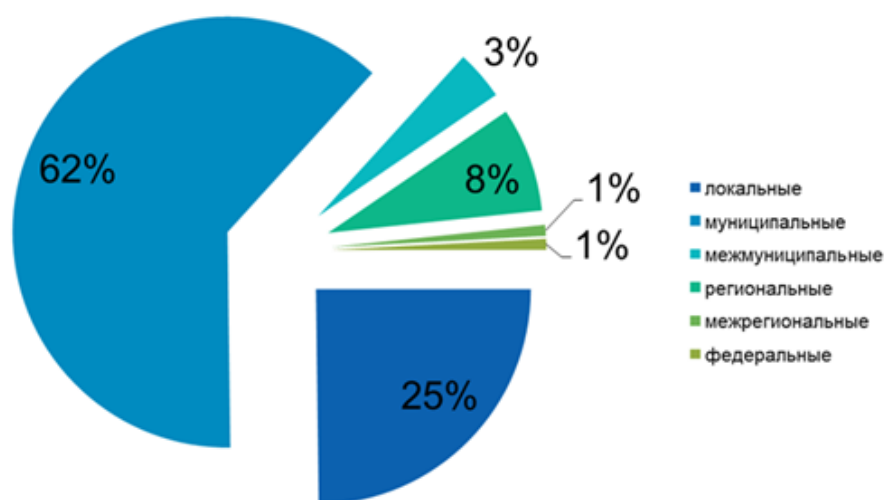


Рисунок 1 – Распределение ЧС по масштабам в 2022 году

2. Среди чрезвычайных ситуаций, по генезису возникновения преобладали техногенные чрезвычайные ситуации (67,8%, в абсолютном исчислении - 164), соответственно природных чрезвычайных

ситуаций произошло 78, что составляет 32,2% от общего числа (рис. 2). Следует отметить, что изменилась методология расчета количества природных чрезвычайных ситуаций, к которым при

осуществлении анализа статистических данных относят чрезвычайные ситуации, связанные с биологической опасностью.

3. Что касается числа погибших, то здесь также преобладают техногенные чрезвычайные ситуации (погиб 181 человек, что составило 91% от общего числа погибших), от природных чрезвычайных ситуаций погибло 18 человек, что соответственно составило 9% от общего числа погибших (рис. 3).

4. Для пострадавших в результате чрезвычайных ситуаций картина несколько отличается, здесь количество пострадавших от природных чрезвычайных ситуаций выше (134 362 человека, против 100 912 человек пострадавших в техногенных

чрезвычайных ситуациях). Распределение в процентном соотношении представлено на рисунке 4.

5. Количество спасенных в 2022 году составило 789 человек. Численность по спасенным в зависимости от вида чрезвычайной ситуации распределилась примерно одинаково (природные ЧС – 389 человек, техногенные ЧС – 400 человек) (рис. 5).

6. Значения материального ущерба от всех видов чрезвычайных ситуаций в 2022 году составили 7 828 394,733 тыс. руб., подавляющая доля которых пришлась на ущерб от природных чрезвычайных ситуаций (7 231 853,9987 тыс. руб.), на рисунке 6 представлено распределение ущерба от чрезвычайных ситуаций в процентном соотношении.

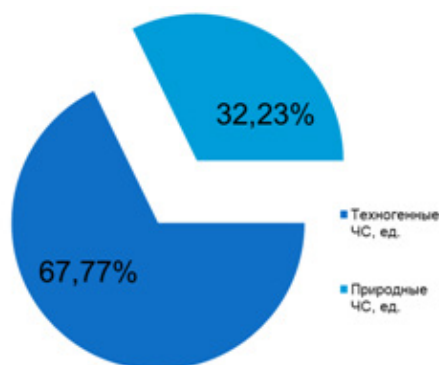


Рисунок 2 – Распределение ЧС по видам в 2022 году

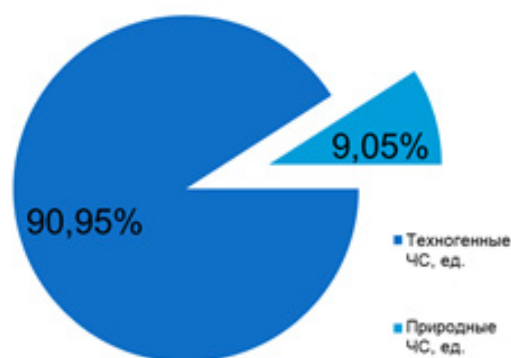


Рисунок 3 – Распределение погибших в ЧС по видам в 2022 году

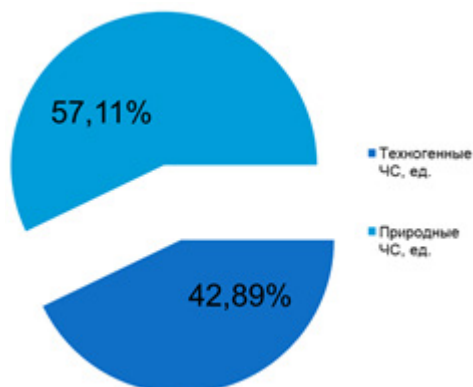


Рисунок 4 – Распределение пострадавших в ЧС по видам в 2022 году

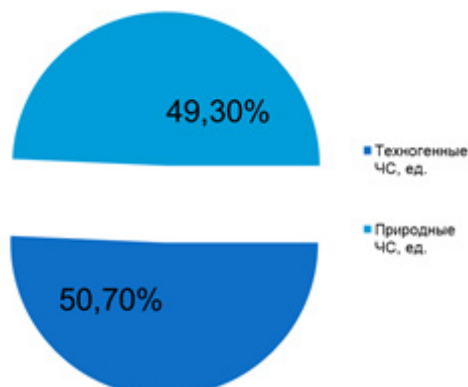


Рисунок 5 – Распределение спасенных в ЧС по видам в 2022 году

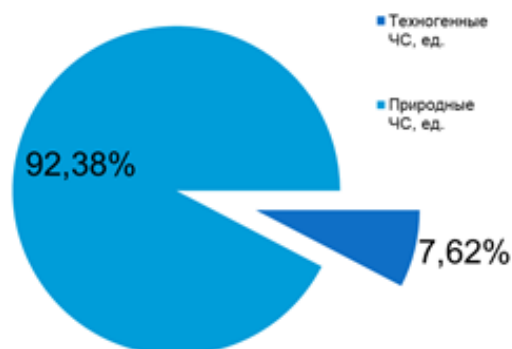


Рисунок 6 – Распределение ущерба от ЧС по видам в 2022 году

7. Основными тенденциями, описывающими изменение основных показателей качественных и количественных характеристик чрезвычайных ситуаций являются следующие:

- уменьшение количества чрезвычайных ситуаций межмуниципального, муниципального, локального характера, с примерно прежним уровнем чрезвычайных ситуаций федерального и межрегионального характера;

- наблюдается снижение общего количества чрезвычайных ситуаций, в сравнении с 2021 годом (снижение на 37,3%);

- снизилось количество погибших на 62,4%, что в абсолютном исчислении составляет снижение на 328 человек;

- в то же время наблюдается рост количества пострадавших более чем в 4,5 раза;

- и снижение числа спасенных на 58,4%;
- значительным стало и снижение размеров материального ущерба от чрезвычайных ситуаций, на 83,65%.

Для более корректной оценки осуществим оценку индивидуального риска для территорий Российской Федерации [6, 7] в соответствии со следующей формулой [8]:

$$R_{инд} = \sum_{i=1}^k n_{погиб\ i} / N, \tag{1}$$

где $n_{погиб\ i}$ – количество погибших по i -ому числу чрезвычайных ситуаций (чел.);

N – численность населения в период наблюдений (чел.);

k – число чрезвычайных ситуаций по которым осуществляется расчет.

Результаты. Результаты расчетов в разрезе федеральных округов проиллюстрированы рисунком 7.



Рисунок 7 – Величина индивидуального риска по федеральным округам за 2022 г.

В соответствии со шкалой оценки (год-1):

	Нижняя граница	Верхняя граница
Lightest blue	0,00000000	0,00000079
Light blue	0,00000079	0,00000159
Medium-light blue	0,00000159	0,00000238
Medium blue	0,00000238	0,00000318
Dark blue	0,00000318	0,00000397
Very dark blue	0,00000397	0,00000477
Darkest blue	0,00000477	0,00000556

Для:

ЦФО – 0,00000077, год-1; СЗФО – 0,00000036, год-1;

СКФО – 0,00000021, год-1; ЮФО – 0,00000207, год-1;

ПФО – 0,00000118, год-1; УФО – 0,00000114, год-1;

СФО – 0,00000095, год-1; ДФО – 0,00000556, год-1.

Обсуждение. В то же время для территорий федеральных округов в настоящее время величины допустимого индивидуального риска чрезвычайных ситуаций не нормированы, в отличие от субъектов Российской Федерации [9].

Наибольшие значения индивидуального риска среди субъектов (таблица 1 – значения по субъектам с наибольшими величинами за РФ; таблица 2 – значения по субъектам с наибольшими величинами за федеральные округа) составляют:

Таблица 1 – Значения по субъектам с наибольшими величинами риска за Российскую Федерацию

№ п.п.	Субъект РФ	Число погибших	Значения риска (год ⁻¹)	Федеральный округ	Значения риска допустимого (год ⁻¹)	Вывод о превышении / не превышении
1.	Сахалинская область	10	0,0000207	ДФО	0,000175	не превышен
2.	Камчатский край	5	0,000016	ДФО	0,0000381	не превышен
3.	Ульяновская область	16	0,0000132	ПФО	0,00000957	превышен
4.	Приморский край	13	0,00000698	ДФО	0,0000163	не превышен
5.	Хабаровский край	8	0,00000616	ДФО	0,0000238	не превышен

Таблица 2 – Значения по субъектам с наибольшими величинами риска за Федеральные округа

№ п.п.	Федеральный округ	Субъект РФ	Число погибших	Значения риска (год ⁻¹)	Значения риска допустимого (год ⁻¹)	Вывод о превышении / не превышении
1.	ЦФО	Рязанская область	5	0,00000461	0,0000169	не превышен
2.	СЗФО	Республика Коми	3	0,00000373	0,0000244	не превышен
3.	СКФО	Республика Дагестан	14	0,00000444	0,0000155	не превышен
4.	ЮФО	Краснодарский край	25	0,0000044	0,00000653	не превышен
5.	ПФО	Ульяновская область	16	0,0000132	0,00000957	превышен
6.	УФО	ХМАО Югра	10	0,00000587	0,0000206	не превышен
7.	СФО	Республика Хакасия	3	0,00000568	0,000015	не превышен
8.	ДФО	Сахалинская область	10	0,0000207	0,000175	не превышен

Вместе с тем для всех субъектов Российской Федерации не превышены значения допустимого индивидуального риска чрезвычайных ситуаций, за исключением Ульяновской области (было обусловлено дорожно-транспортным происшествием на 808 км автомобильной дороги федерального значения М-5 «Урал» с участием 2 грузовых автомобилей и частного микроавтобуса, в результате которого погибло 16 человек, было травмировано 3 человека)[10].

Выводы. Таким образом, проведенный анализ позволяет закончить статью следующими выводами:

1. Среди федеральных округов, наибольшие значения индивидуального риска чрезвычайных ситуаций характерны для Дальневосточного федерального округа (в дополнение собственно высоким значениям индивидуального риска в ЧС, 4 субъекта входят в пятерку субъектов с наиболее высокими значениями индивидуального риска в ЧС).

2. Проведенный анализ и сопоставление с аналогичными показателями прошлого года, позволяют судить о положительной динамике значений основных показателей состояния защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

3. Сравнение полученных значений с допустимыми позволяет сделать вывод о том, что для подавляющего числа субъектов Российской Федерации в 2022 году удалось не допустить их превышения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Правительства РФ от 29 апреля 1995 г. №444 «О подготовке ежегодного государственного доклада о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». [Электронный ресурс] // Материалы системы ГАРАНТ. URL: <https://base.garant.ru/2107889/> (15.02.2023).
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ и обеспечение защищенности от чрезвычайных ситуаций / В.А. Акимов, А.А. Антюхов, Е.В. Арефьева [и др.]; Совет Безопасности Российской Федерации, Российская академия наук, МЧС России, Ростехнадзор, Российский научный фонд, ГК «Ростех», ГК «Росатом», ПАО «НК «Роснефть», ОАО «РЖД», ПАО «Транснефть», ПАО «Газпром». – Москва: МГОФ «Знание», 2021. – 500 с.
3. Аюбов Э.Н. Зарубежный и отечественный опыт оценки уровня социально-экономического развития территорий // Технологии гражданской безопасности. – 2022. – Т. 19, № 1(71). – С. 36-40.
4. ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций. Введ. 01.06.2017. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с. [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (15.02.2023).
5. Гусева В.И., Нарбаев К.А., Кусаинов А.Б. Влияние социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций на устойчивое развитие государства // Наука и образование сегодня. – 2016. – № 8(9). – С. 9-10.
6. Фалеев М.И., Малышев В.П., Быков А.А., Кондратьев-Фирсов В.М. Методологические подходы к зонированию территорий Российской Федерации по уровням риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // – 2015. – Т. 5, № 1(8). – С. 67-90.

7. Арефьева Е.В., Крапухин В.В. Оценка климатических рисков для разработки отраслевого плана адаптации к изменениям климата // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 22 апреля 2022 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2022. – С. 88-91.

8. Олтян И.Ю., Коровин А.И. Оценка состояния защиты населения субъектов Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18, № 5. – С. 29-34.

9. ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций. Введ. 01.06.2017. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с. [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (15.02.2023).

10. Крупные ДТП в России в 2022 году. [Электронный ресурс] // РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20220929/dtp-1820334485.html> (15.02.2023).

Статья поступила в редакцию 24.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 331.453

EDN: RUQEVC

ОЦЕНКА СОВОКУПНОГО ВЛИЯНИЯ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 5251-635

AuthorID: 352624

ORCID: 0000-0003-2074-9695

ResearcherID: AAI-1662-2019

ScopusID: 57196279711

КОРШУНОВ Геннадий Иванович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Безопасность производств»

Санкт-Петербургский горный университет

(199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2, e-mail: korshunov_gi@pers.spmi.ru)

SPIN: 4586-8078

AuthorID: 609617

ORCID: 0000-0002-6878-0512

ResearcherID: E-1062-2014

ScopusID: 56149908500

НИКУЛИН Андрей Николаевич, кандидат технических наук,

доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

(190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4., e-mail: anikulin@lan.spbgasu.ru)

SPIN: 3162-9667

AuthorID: 1069829

ORCID: 0000-0001-7573-3864

ResearcherID: GVVU-1908-2022

ScopusID: 57211297562

КРАСНОУХОВА Дарья Юрьевна, аспирант кафедры «Безопасность производств»

Санкт-Петербургский горный университет

(199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2, e-mail: darya.krasnouhova@yandex.ru)

Аннотация. Авторами статьи проводится исследование воздействия факторов производственной среды на работников горнодобывающей промышленности. Последние достижения в области технологий добычи полезных ископаемых и обеспечения безопасных условий труда позволяют оснащать шахты системами азрогазового контроля, контроля пылевых отложений, геофизических и сейсмических наблюдений, технологического позиционирования и подземной связи. Актуальной остаётся проблема постоянного воздействия вредных и опасных производственных факторов, оценка которых на данный момент производится на основании специальной оценки условий труда. В результате чего периодичность, интенсивность и совокупное воздействие факторов среды остаются до конца не изученными. Опасное влияние данных факторов можно изучить при анализе статистических данных травматизма и профессиональной заболеваемости среди работников, которая ежегодно пополняется новыми случаями. В статье рассматривается влияние факторов шума и микроклимата на профессиональный риск травмирования работников. Для анализа опасных ситуаций рассматривается система «вредный фактор – ошибочное действие – опасная ситуация» и проводится анализ отечественных и зарубежных исследований, направленных на оценку человеческой ошибки в условиях воздействия факторов производственной среды. В результате произведена оценка рисков реализации профессионального риска травмирования работников в зависимости от уровня воздействия.

Ключевые слова: шум, микроклимат, освещенность, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, вибрация, безопасное поведение, риск ошибочных действий, травматизм, оценка профессиональных рисков, оценка совокупного воздействия.

ASSESSMENT OF THE CUMULATIVE EFFECT OF HARMFUL PRODUCTION FACTORS ON THE OCCUPATIONAL RISK OF INJURY TO EMPLOYEES

© The Author(s) 2023

KORSHUNOV Gennadiy Ivanovich, doctor of technical sciences professor of «Industrial Safety Department»

Saint-Petersburg Mining University

(199106, Russia, Saint-Petersburg, 21st Line, 2, e-mail: korshunov_gi@pers.spmi.ru)

NIKULIN Andrey Nikolaevich, candidate of technical sciences, head of the Department «Technosphere safety»

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

(190005, Russia, Saint-Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4., e-mail: anikulin@lan.spbgasu.ru)

KRASNOUKHOVA Darya Yurievna, post-graduate student «Industrial Safety Department»

Saint-Petersburg Mining University

(199106, Russia, Санкт-Петербург, 21st Line, 2, e-mail: darya.krasnoukhova@yandex.ru)

Abstract. The authors of the article conduct a study of the impact of factors of the production environment on workers in the mining industry. The latest achievements in the field of mining technologies and ensuring safe working conditions make it possible to equip mines with systems of aerogas control, control of dust deposits, geophysical and seismic observations, technological positioning and underground communication. The problem of constant exposure to harmful and dangerous production factors remains relevant, the assessment of which at the bottom moment is made on the basis of a special assessment of working conditions. As a result, the frequency, intensity and cumulative effects of environmental factors remain not fully understood. The dangerous influence of these factors can be studied by analyzing statistical data on injuries and occupational morbidity among workers, which is updated annually with new cases. The article examines the influence of noise and microclimate factors on the occupational risk of injury to workers. For the analysis of dangerous situations, the system "harmful factor – erroneous action - dangerous situation" is considered and an analysis of domestic and foreign studies aimed at assessing human error under the influence of factors of the production environment is carried out. As a result, an assessment of the risks of realizing the occupational risk of injury to employees, depending on the level of exposure, was made.

Keywords: noise, microclimate, illumination, dust, vibration, safe behavior, risk of erroneous actions, injury, occupational risk assessment, assessment of cumulative impact.

Для цитирования: Коршунов Г.И. Оценка совокупного влияния вредных производственных факторов на профессиональный риск травмирования работников / Г.И. Коршунов, А.Н. Никулин, Д.Ю. Красноухова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 192-198. – EDN: RUQEVC.

Введение. В исследованиях различных стран установлено, что отсутствие или недостаточный уровень системы управления охраной труда на предприятии, приводит к травмам и смертельным случаям, преобладающей причиной которых становятся физические, механические, химические, биологические, шумовые, эргономические и психологические опасности [1].

Согласно мнениям зарубежных исследователей, безопасность труда на предприятии представляет собой сложную систему, состоящую из трех компонентов, а именно человеческого, технологического и организационного факторов. Недостаточное взаимодействие между тремя системами приводит к несчастным случаям, травмам или авариям. Проводимые исследования указывают на недостаточную изученность факторов, которые вызывают травмы при наличии постоянных опасностей в горнодобывающей промышленности [2].

Ghosh A.K. и др. проводили анализ взаимосвязи различных показателей, таких как: возраст, уровень восприятия условий труда, уровень безопасности на рабочих местах, недостаточное управление и надзор, рискованное поведение, эмоциональную нестабильность, негативное вовлечение в работу, неудовлетворенность работой, стресс на работе, и низких показателей безопасности работников с профессиональными травмами [3]. В результате чего риск возникновения опасных ситуаций имеет различные значения. Moloudi A. и др. применили методику приоритизации уровней риска с учетом шести критериев: 1) вероятность возникновения, 2) тяжесть последствий, 3) одновременные эффекты и 4) осуществимость, 5) эффективность и 6) стоимость корректирующих действий, что позволило выявить наиболее опасные ситуации [4].

Вопросы обеспечения безопасности и охраны труда остаются особо актуальными при мелкой добыче полезных ископаемых неразвитых стран, где преобладающими являются проблемы социального взаимоотношения и уровня жизни и не учитываются реальные действующие опасности при осуществлении работ [5-7].

Согласно статистике Росстата на конец 2021 года в горнодобывающем и перерабатывающем секторе России около 70% работников подвергаются воздействию вредных производственных факторов [8]. К наиболее распространённым факторам производственной среды и трудового процесса относятся шум, запыленность, вибрация и микроклимат, при этом воздействие на работников производится при условиях повышенной тяжести условий труда [9].

В регионах России с мощными производственными комплексами добывающей и перерабатывающей промышленности выявлено, что среди факторов повышения смертности населения трудоспособного возраста в качестве одного из показателей риска низкой продолжительности жизни необходимо рассматривать условия труда [10].

Как показано в годовом отчете О деятельности федеральной служб по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2021 году [11] для горнодобывающей и перерабатывающей промышленности наблюдается снижение показателей производственного травматизма. Но, несмотря на положительную динамику, уровень производственного травматизма остается высоким [12-14]. В отечественных и зарубежных исследованиях проводится анализ влияния факторов производственной среды, оценке профессиональных рисков и уровня производственного травматизма [15], на основе

чего выявлено, что среди основных причин получения травм можно выделить ряд непосредственных опасностей, к которым относятся: обрушение пород, работа с выступающими и движущимися частями машин и оборудования, падение с высоты, термические или электрические ожоги. Распределение несчастных случаев по факторам травматизма в отрасли показано на рисунке 1.

К основными причинам травматизма относят действия самого пострадавшего [16], к которым относятся нарушение технологического процесса, несогласованность действий с другими работниками,

несоблюдение требований безопасности, низкий уровень организации работ и трудовой дисциплины.

На рисунке 2 представлена статистика травматизма за 20 лет, которая имеет тенденцию к снижению. В трудах И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров и др. была выявлена проблема регистрации НС на производстве, при этом, как отмечают авторы, статистика бытового травматизма значительно возросла, в связи с чем в последние десятилетия официальные статистические данные о производственном травматизме не отражают реальной ситуации на предприятиях РФ [17].

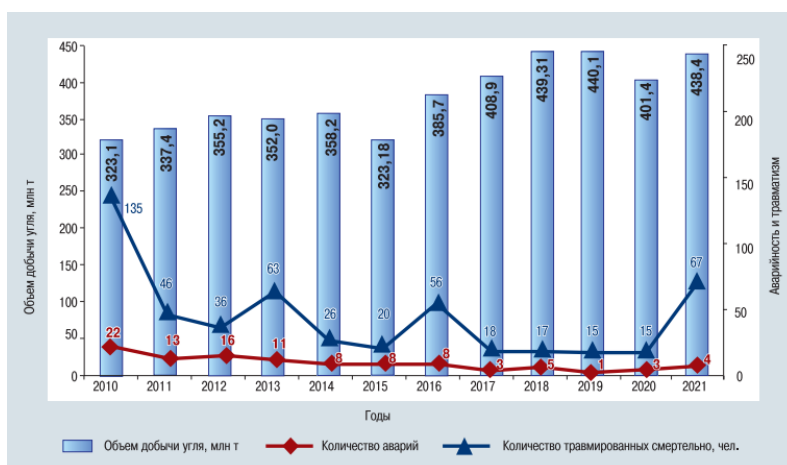


Рисунок 1 – Данные об объемах добычи горной массы, смертельного травматизма и аварийности в горнорудной отрасли [5]

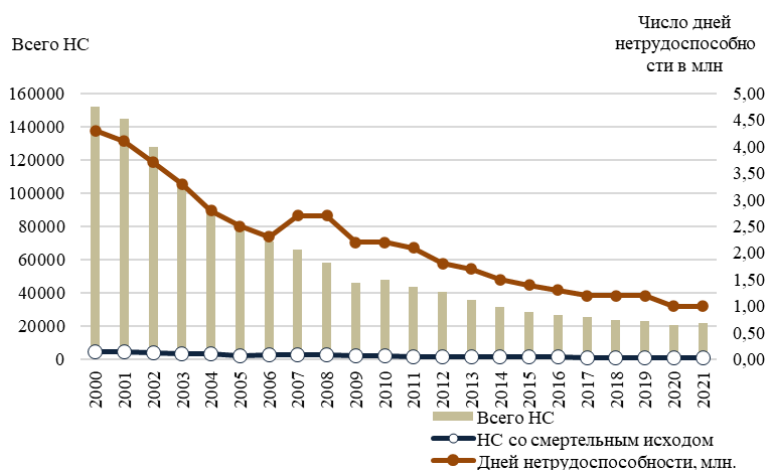


Рисунок 2 – Уровень травматизма на предприятиях добывающей промышленности с указанием числа дней нетрудоспособности [1]

На сегодняшний день в большинстве случаев исходят из концепции о том, что необходимо разрабатывать мероприятия, направленные на улучшение производственной обстановки, только по факту произошедших аварий и инцидентов [18], при этом первоначальные опасности и факторы эскалации за частую расходятся с официально установленной причиной аварии.

При этом уровень травматизма на предприятиях оценивается по факту произошедших событий на основании величин коэффициентов травматизма

[19, 20], но оценка профессиональных рисков должна подразумевать выявление опасностей для предупреждения реализации нежелательного события, что невозможно, если определение показателей осуществляется по статистическим данным уже произошедших событий, которые не в состоянии повлиять на вероятность будущих событий и, как следствие, на риск получения травмы.

Целью данной статьи является обоснование мероприятий по снижению профессиональных рисков травмирования персонала горнодобывающих

предприятий при работе в условиях воздействия вредных производственных факторов.

Методология. Проходка выработок и выемка полезного ископаемого сопровождаются передвижением машин и оборудования, перемещением работников, изменением горного давления, а в шахтах опасных по газу и пыли возникает риск взрыва. Таким образом могут возникать опасные ситуации, а работы требуют повышенной опасности. При этом работники подвергаются совокупному воздействию наиболее распространенных факторов, к которым, согласно статистике, относятся: АПФД, шум, вибрация, микроклимат, освещенность [21-23] и выполняют трудовые функции при воздействии фактора тяжести трудового процесса.

Если проводить оценку рисков, можно сразу

выявить основные опасности – работа с движущимся оборудованием, падение породы, выделения опасных газов, взрывопожароопасность и т.д. Действующие факторы в то же время будут служить факторами эскалации.

С учетом применения средств защиты коммуникативные способности, и как следствие взаимодействия в бригаде работников снизятся [24-26], в результате чего риск совершения ошибочных действий и получения травм значительно возрастает [27].

Авторами предложена методика определения совокупного воздействия выявленных факторов в зависимости от их фактического значения. Распределение баллов в зависимости от установленного значения каждого фактора представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Бальная оценка воздействия факторов производственной среды

№	Уровень значения фактора согласно классификации, используемой при специальной оценке условий труда	Бальная оценка, f
1	Класс условий труда 3.1	1
2	Класс условий труда 3.2	2
3	Класс условий труда 3.3	3
4	Класс условий труда 3.4	4

Уровень воздействия по *i*-му фактору $F_{ПФ_i}$ определяется по формуле (1):

$$F_{ПФ_i} = \frac{f_i}{f_{max}}, \tag{1}$$

где f_{max} – максимальная бальная оценка;
 f_i – бальная оценка *i*-го фактора.

Оценка совокупного воздействия факторов производственной среды определяется по формуле (2) для всех факторов на рабочем месте, превышающих нормативное значение:

$$A = \frac{\sum F_{ПФ_i}}{\sum F_{ПФ_{MAX}}} \tag{2}$$

где $F_{ПФ_i}$ – уровень воздействия по *i*-му фактору.

Результаты. При осуществлении рабочего процесса уровень воздействия разных факторов не постоянный и может превышать нормативные

значения в определенные промежутки времени. Были проведены измерения трех факторов, выявленных на рабочих местах дробильщика и грохотовщика цехов переработки гранитной породы: шум, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия и температура. Далее была произведена бальная оценка полученных значений и рассчитано совокупное воздействие рассматриваемых факторов на период измерений

Исходя из возможных комбинаций сочетанного действия рассматриваемых факторов была построена гистограмма, выражающая зависимость вероятности реализации и уровня совокупного воздействия (рис. 3).

Таким образом, наиболее опасными являются сочетание факторов с вероятностью реализации более 0,4 и уровнем совокупного воздействия более 0,45.

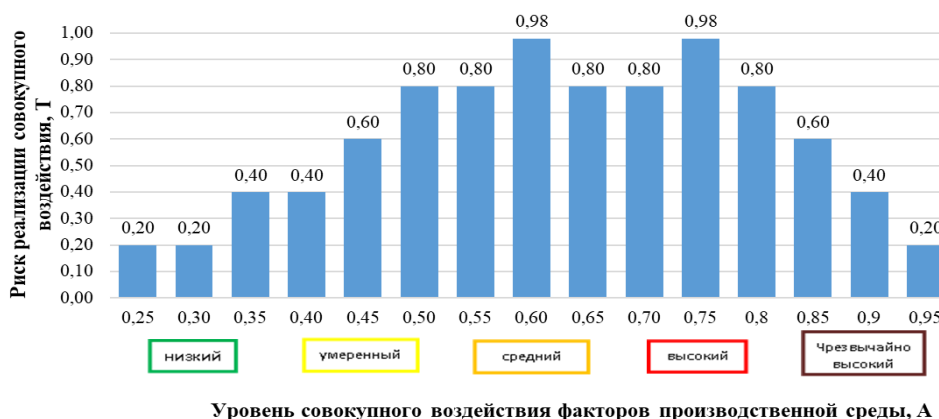


Рисунок 3 – Соотношение риска реализации совокупного воздействия (материал автора)

Обсуждение. Из проведенного анализа видно, что в разные промежутки времени на работника будет действовать различные уровни вредного воздействия. Таким образом существует ряд проблем, к которым относятся:

- непостоянный уровень риска и совокупного воздействия в течение смены;
- невозможность определения уровня воздействия работником самостоятельно, при выполнении работ;
- необходимость защиты работников в определенные моменты времени с учетом сохранения его работо-способности и коммуникативных способностей.

В исследованиях Lu Y. и др. проводилась оценка влияния различных профессиональных опасностей на стресс и психическое здоровье заводских рабочих и шахтеров. Профессиональными опасностями, влияющими на стресс на рабочем месте, были установлены: асбестовая пыль; бензол; шум. Для снятия стресса на рабочем месте и улучшения психического здоровья заводских рабочих и шахтеров. Авторы предлагают проводить усовершенствования в оценке профессиональных рисков при обследовании здоровья на рабочем месте [28]. В статье Кабанова Е.И. предлагается использовать инновационный подход к оценке тяжести последствий, в котором приведена подробная классификация возможного ущерба [29]. Грамотная оценка вероятности воздействия позволит своевременно и комплексно определять уровень совокупного воздействия.

Снижение воздействия вредных производственных факторов на работника возможно при применении правильно подобранных средств индивидуальной защиты. В результате чего ведутся разработки по усовершенствованию методик подбора и применения средств защиты (СИЗ), оценке эффективности используемых в средствах индивидуальной защиты материалов, а также по созданию инновационных средств мониторинга воздействия и контроля применения носимых средств защиты [30-32]. Но при этом в зарубежных исследованиях разных стран проводится оценка воздействия СИЗ на коммуникативные способности работников. Таким образом был выявлен низкий уровень распознавания речи при ношении защитных масок и защитных наушников [33, 34]. При этом на восприятие также влияет шумовая среда, в результате чего взаимодействие работников становится невозможным. Также остается проблема неудобства применения СИЗ при ведении работ в стесненных условиях, в связи с чем, как показали исследования, порядка 50% работников снимают средства защиты во время работы, что увеличивает риск развития профессиональных заболеваний [35].

Также необходимо оценивать воздействие на работников с возможностью регистрации в реальном времени при передвижении или выполнение разных видов работ. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. и др. предлагают использовать метод

персонализированного гигиенического мониторинга, основанного на санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов в условиях профессиональной деятельности и радиочастотной идентификации траектории работника в процессе ее выполнения. Для реализации на предприятии должно быть создано рабочее место гигиениста, на спецодежде каждого работника перед началом выполнения работ должен закрепляться транспондер – RFID-метка, а каждый объект – источник ОВПФ должен быть оборудован параметрическим регистратором [36]. Недостатком данного метода является невозможность предупреждения работников об оказываемом воздействии в реальном времени.

Для оценки риска воздействия необходимо применять методику оценки совокупного воздействия ФПС. Потоцкий Е.П. и др. разработали методику для оценки риска профессиональных заболеваний. Оценку рекомендуется проводить исходя из выявленных факторов на конкретном рабочем месте с учетом коэффициентов, показывающих прирост заболеваемости для каждого производственного фактора и рассчитанных с помощью программного обеспечения. Методика позволяет определять КУТ исходя из сочетанного действия факторов, в результате чего КУТ повышается [37, 38]. При этом предрекаемая оценка не учитывает риск получения травм при однократном кратковременном воздействии.

Снижение воздействия вредных и опасных производственных факторов требуют практической реализации на горнодобывающих предприятиях России [39]. Применение рассматриваемой методики позволит оценивать вероятность совокупного воздействия вредных факторов при проведении работ в определенном месте и времени.

Выводы. Поскольку работник не может самостоятельно определять периоды допустимого и сверхнормативного воздействия факторов производственной среды, а также оценивать физиологическое влияние факторов производственной среды на когнитивные способности описанная методика оценки совокупного воздействия факторов производственной среды позволит эффективно оценивать оказываемое воздействие в режиме реального времени.

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» в 2023 году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Mensah S.K., Siabi E.K., Donkor P., Kurantin N. Assessing the safety and health practices in the arti-sanal and small-scale gold mining sector of Ghana: A case of Ntotroso // Environ-

- mental Challenges. – 2022. – №6. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100443>.
2. Ajith M.M., Ghosh A.K., Jansz J. Contributing effects of individual characteristics, behavioural and job-related factors on occurrence of mining-related injuries: A systematic review // *Work*. – 2022. – №71(1). – Pp. 87-117. <https://doi.org/10.3233/WOR-205227>.
3. Ghosh A.K., Bhattacharjee A., Chau N. Relationships of working conditions and individual characteristics to occupational injuries: a case-control study in coal miners // *J Occup Health*. – 2004. – №46(6). Pp. 470-80. <https://doi.org/10.1539/joh.46.470>.
4. Moloudi A., Khaloo S. S., Gholamnia R., Saeedi R. Prioritizing health, safety and environmental hazards by integrating risk assessment and analytic hierarchy process techniques in solid waste management facilities // Taylor and Francis Ltd. – 2021. – Pp. 1-12. <https://doi.org/10.1080/19338244.2021.1977907>.
5. Mensah S. K., Siabi E. K., Donkor P., Kurantin N. (2022). Assessing the safety and health practices in the artisanal and small-scale gold mining sector of Ghana: A case of Ntotroso // *Environmental Challenges*. – 2022. – №6. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100443>.
6. Long R.N., Sun K., Neitzel R.L. Injury Risk Factors in a Small-Scale Gold Mining Community in Ghana's Upper East Region // *Int J Environ Res Public Health*. – 2015. – №12(8): 8744-61. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808744>.
7. Официальная статистика условий труда и травматизма Федеральной службы государственной статистики России [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики России. URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions. (дата обращения 11.03.2023).
8. Гендлер С.Г., Габов В.В., Бабырь Н.В., Прохорова Е.А. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №1. – С. 5-19. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_1_0_5.
9. Мигунова Ю.В. Влияние производственных факторов на условия труда работников // Общество: социология, психология, педагогика. – 2021. – № 4(84). – С. 53-56. – <https://doi.org/10.24158/spp.2021.4.9>
10. Бухтияров И.В., Измеров Н.Ф., Тихонова Г.И. [и др.] Условия труда как фактор риска повышения смертности в трудоспособном возрасте // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 8. – С. 43-49.
11. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения 11.03.2023).
12. Чемезов Е.Н. (2019). Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // *Записки Горного института*. – 2019. – Т. 240. – С. 649-653. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.6.649>.
13. Туманов М.В., Гендлер С.Г., Кабанов Е.И., Родионов В.А., Прохорова Е.А. Индекс персонального риска, как перспективный инструмент управления человеческим фактором в охране труда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6(1). – С. 230-247. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_230.
14. Кречманн Ю., Плиен М., Нга Нгуен Т.Х., Рудаков М.Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 242. – № 2. – С. 248-256. DOI:10.31897/PMI.2020.2.248.
15. Глебова Е.В., Волохина А.Т., Вихров А.Е. Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК // *Записки Горного института*. – 2023. – Т.259. – С.68-78. DOI:10.31897/PMI.2023.12
16. Гендлер С.Г., Прохорова Е.А. Оценка совокупного влияния производственного травматизма и профессиональных заболеваний на состояние охраны труда в угольной промышленности. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 10(2). – С. 105-116. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_102_0_105.
17. Бухтияров И.В., Измеров Н.Ф., Тихонова Г.И., Чуранова А.Н. Производственный травматизм как критерий профессионального риска // *Проблемы прогнозирования*. – 2017. – № 5(164). – С. 140-149.
18. Гридина Е.Б., Боровиков Д.О. Выявление причин травматизма на основе карт оценки профессиональных рисков на угольном разрезе // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6(1). – С. 114-128. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_114.
19. Парханьский Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // *Записки Горного института*. – 2016. – № 222. – С. 869-876. <https://doi.org/10.18454/PMI.2016.6.869>.
20. Иванов Ю.М., Куракина Н.В. и др. Анализ травматизма работников, обусловленного трудовым стажем. Оценка рисков травматизма // *Уголь*. – 2022. – № 2(1151). – С. 37-40. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-37-40>.
21. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Проблемы медицины труда на горнодобывающих предприятиях Сибири и Крайнего Севера // *Горная промышленность*. – 2013. – № 5(111). – С. 77-80.
22. Смирняков В.В., Родионов В.А., Смирнякова В.В., Орлов Ф.А. Влияние формы и размеров пылевых фракций на их распределение и накопление в горных выработках при изменении структуры воздушного потока // *Записки Горного института*. – 2022 – Т. 253 – С. 71-81. DOI: 10.31897/PMI.2022.12
23. Чеботарев А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // *Горная промышленность*. – 2012. – №3(103). – С. 24-27.
24. Themann C.L., Masterson E.A. Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden // *Journal of the Acoustical Society of America*. – 2019. – №146(5). – С. 3879-3905. <https://doi.org/10.1121/1.5134465>
25. Li J., Qin Y., Yang L., Wang Z., Han K., Guan C. A. Simulation experiment study to examine the effects of noise on miners' safety behavior in underground coal mines // *BMC Public Health*. – 2021. – №21(1). – С. 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10354-2>.
26. Wang Y. et al. Bottom-Up and Top-Down Attention Impairment Induced by Long-Term Exposure to Noise in the Absence of Threshold Shifts // *Frontiers in Neurology*. – 2022. – №13. – 836683. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.836683>.
27. Горбанев С.А., Сюрин С.А. Профессиональная патология при добыче железной руды в Кольском Заполярье // *Гигиена и санитария*. – 2019. – №6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-6-625-630>.
28. Lu Y., Zhang Z., Yan H., Rui B., Liu J. Effects of Occupational Hazards on Job Stress and Mental Health of Factory Workers and Miners: A Propensity Score Analysis // *Bio-Med Research International*. – 2020. – Vol. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/1754897>.
29. Кабанов, Е.И. Инновационный подход к определению ущерба при матричной оценке рисков травматизма и профессиональной заболеваемости / Е.И. Кабанов // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2021 года. Том 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт развития дополнительного профессионального образования». – 2021. – С. 85-87.
30. Рудаков, М.Л., Дука, Н.Е. (2022). Изучение свойств звукопоглощающих материалов при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – №3. – С. 165-180. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_3_0_165.
31. Kwak C., Han W. The Effectiveness of Hearing Protection Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – №18(21): 11693. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-192095/v1>.
32. Nadon V.F., Bonnet R.E., Bouserhal A., Bernier J. Voix Method for protected noise exposure level assessment under an in-ear hearing protection device: a pilot study // *International Journal of Audiology*. – 2021. – №60(1). – P. 60-69. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1799082>.
33. Themann C.L., Masterson E.A. Occupational noise expo-

sure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden // Journal of the Acoustical Society of America. – 2019. – № 146(5): 3879-3905. <https://doi.org/10.1121/1.5134465>

34. Barrett M.E., Gordon-Salant S., Brungart D.S. Effects of facial masks, hearing protection, and real-world noise on speech recognition // J Acoust Soc Am. – 2021. – №150(6): 4244. <https://doi.org/10.1121/10.0008898>.

35. Никулин А.Н., Красноухова Д.Ю., Степанова Л.В. [и др.] Организационно-технические решения по снижению воздействия шумового фактора на подземный персонал угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 157-173. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_157.

36. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Драган С.П., Солдагов С.К. Методологические основы персоналифицированного гигиенического мониторинга // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – №51(6). – С. 53-56. <https://doi.org/10.21687/0233-528x-2017-51-6-53-56>.

37. Потоцкий Е.П., Фирсова В.М., Сахарова Е.А. Учет сочетанного действия комплекса вредных факторов и анализ влияния производственного фактора химической природы на уровень профессионального риска // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – №61(1). – С. 35-39. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-1-35-39>.

38. Овчинникова Т.И., Потоцкий Е.П., Фирсова В.М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – №2(1). – С. 199-208. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208>.

39. Смирняков В.В., Каргополова А.П., Смирнякова В.В., Кабанов Е.И., Алмосова Я.В. Риск-ориентированный подход как инструмент повышения качества подготовки и развития персонала АО "СУЭК-Кузбасс" // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 214-229. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_214.

Статья поступила в редакцию 05.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 331.451
EDN: RSTSHA

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ ТРУДА НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА

© Автор(ы) 2023
SPIN: 9889-6530
Author ID: 721105
ORCID: 0000-0002-9830-9588
ResearcherID: N-9715-2018
Scopus ID: 57211197820

КОРОЛЕВА Анна Михайловна, кандидат технических наук, доцент
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: a.koroleva@ubt-rut-miit.ru)

SPIN: 2874-8742
Author ID: 989099
ORCID: 0000-0002-9666-2265
Scopus ID: 6508058913

НАРУСОВА Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: e.narusova@ubt-rut-miit.ru)

SPIN: 1227-6783
Author ID: 1187399
ORCID: 009-0001-0686-4470

ШАДЫЕВ Рустам Русланович, магистрант
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: r-shadyev@mail.ru)

AuthorID: 349880
ORCID: 0009-0009-4443-4103

КОНОНОВА Ольга Владимировна, аспирант
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: olkaknn@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются пути оптимизации работы специалистов по охране труда на основе внедрения в организациях электронного документооборота в этой сфере. Отмечается, что законодательство Российской Федерации в настоящее время позволяет ведение ряда документов в электронном виде. Констатируется, что широкое распространение электронного документооборота по охране труда сопряжено с определенными трудностями, вызванными техническими и организационными причинами, такими как отсутствие электронных подписей у работников, консерватизм персонала, неустойчивость интернет-соединений на некоторых рабочих местах, препятствующая проведению инструктажей по охране труда в дистанционном формате. Однако преимущества такого способа ведения документации, в частности, сокращение затрат материальных средств компании и времени специалистов на бумажные документы, ускорение обмена информацией между структурными подразделениями организации, изменение корпоративной культуры определяет необходимость поиска возможностей для перехода на электронный формат документов в тех случаях, когда это разрешено законодательством. В статье подробно описывается разработка программы для заполнения ряда документов по охране труда, и приводятся примеры ее использования. Отличительной чертой является то, что разработка такой программы может быть осуществлена специалистами небольших компаний без привлечения сторонних организаций и дополнительных затрат.

Ключевые слова: охрана труда, документация по охране труда, автоматизация документооборота, электронная среда, специалист по охране труда.

OPTIMIZATION OF THE WORK OF THE OCCUPATIONAL PROTECTION SERVICE BASED ON DOCUMENT MANAGEMENT AUTOMATION

© The Author(s) 2023

KOROLEVA Anna Mikhailovna, candidate of Technical Sciences, associate professor
NARUSOVA Elena Yurievna, candidate of Technical Sciences, associate professor
SCHADYEV Rustam Ruslanovich, magistant

KONONOVA Olga Vladimirovna, postgraduate student

Department «Management of safety in a technosphere»

Russian University of Transport

(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9,

e-mails: a.koroleva@ubt-rut-miit.ru, e.narusova@ubt-rut-miit.ru, r-shadyev@mail.ru, olkaknn@mail.ru)

Abstract. The article discusses ways to optimize the work of labor protection specialists based on the introduction of electronic document management in organizations in this area. It is noted that the legislation of the Russian Federation currently allows the maintenance of a number of documents in electronic form. It is stated that the widespread use of electronic document management on labor protection is associated with certain difficulties caused by technical and organizational reasons, such as the lack of electronic signatures among employees, the conservatism of staff, the instability of Internet connections at some workplaces, which prevents the briefing on labor protection in a remote format. However, the advantages of this method of maintaining records, in particular, reducing the cost of the company's material resources and the time of specialists for paper documents, accelerating the exchange of information between the structural divisions of the organization, changing the corporate culture determines the need to look for opportunities to switch to the electronic format of documents in cases where this is allowed. The article describes in detail the development of a program for filling out a number of documents on labor protection, and provides examples of its use. A distinctive feature is that the development of such a program can be carried out by specialists of small companies without the involvement of third-party organizations and additional costs.

Keywords: occupational protection, occupational safety documentation, workflow automation, electronic environment, occupational safety specialist.

Для цитирования: Королева А.М. Оптимизация работы службы охраны труда на основе автоматизации документооборота / А.М. Королева, Е.Ю. Нарусова, Р.Р. Шадыев, О.В. Кононова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 199-205. – EDN: RSTSHA.

Введение. Документооборот является неотъемлемой частью любого процесса, связанного с необходимостью точного соблюдения процедуры, когда должна быть обеспечена возможность контроля сроков, персонального участия сотрудника и его ответственности за принятие и выполнения управленческих решений. История развития документооборота, вопросы преодоления различных проблем, связанных с внедрением электронного формата, рассматривались многими исследователями [1-9].

В сфере охраны труда разработка документов, их визирование может занимать значительную часть рабочего времени специалистов по охране труда. В связи с этим компании вынуждены либо увеличивать штат специалистов, либо переводить часть обязанностей в аутсорсинг. Таким образом, увеличиваются затраты компании, происходит смещение приоритетов специалистов по охране труда в сторону подготовки документов, а непосредственная работа с персоналом и контроль выполнения требований охраны труда на производственном объекте порой осуществляется по остаточному принципу и отступает на второй план.

Затраты компании на закупку необходимых для осуществления документооборота в привычном, бумажном, варианте журналов инструктажей, удостоверений работников при кажущейся незначительности, могут составлять существенную сумму. Например, для компании численностью 1000 человек требуется порядка трех тысяч журналов, также необходимы удостоверения по охране труда, пожарной безопасности и т.д. Кроме того, рабочее время квалифицированного специалиста используется

на подготовку и заполнение всевозможных журналов и бланков документов, что приводит к косвенному увеличению затрат на выполнение задач по охране труда. Необходимо также учесть, что в определенных компаниях отсутствует штатная единица специалиста по охране труда, и ведение документации возлагается либо на директора, либо в порядке совмещения должностей на работника, что тоже приводит к дополнительным временным и финансовым затратам.

Возможно привлечение аутсорсинговых компаний для выполнения работы в сфере охраны труда по договору оказания услуг. Стоимость данных услуг колеблется в широком диапазоне и может составлять несколько сот тысяч рублей. Аутсорсинг позволяет делегировать обязанности по охране труда, однако приводит к значительным затратам и необходимости контроля со стороны заказчика за исполнением договорных обязанностей.

Альтернативой ведению документации на бумажных носителях является смешанный или электронный документооборот. При смешанном документообороте осуществляется частичный переход на ведение документации в электронной среде. Электронный документооборот – ведение документации в электронной среде с возможностью проведения инструктажей, выдачи нарядов допуска и визирования документов в электронной среде в соответствии с законодательством Российской Федерации. Так, п. п. 9 и 67 Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 16 ноября 2020 г. № 782н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» разрешают ведение документации по охране труда в электронной среде с обязательным использованием электронной подписи

и возможностью заполнения наряда-допуска на производство работ в электронном виде [10].

С 1 марта 2023 года изменился порядок ведения документации, и в настоящее время не требуется дублирование шести документов по охране труда в бумажном формате [11].

В соответствии с изменениями в Трудовом Кодексе Российской Федерации разрешается ведение кадрового документооборота в электронном виде, за исключением таких документов как трудовые книжки, сведения о трудовой деятельности (форма СТД-Р), акты о несчастном случае на производстве (форма Н-1), приказы или распоряжения об увольнении сотрудников; документы о прохождении инструктажей по охране труда [12].

Методология. Целью работы является повышение эффективности работы службы охраны труда на основе автоматизации документооборота.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- оптимизировать организационную структуру предприятия, определить порядок и создать прозрачную систему взаимодействия различных отделов со службой охраны труда;

- освободить специалистов службы охраны труда от выполнения несвойственных им функций, исключить подготовку излишней отчетности для работодателя и контролирующих органов;

- перевести в автоматический режим ряд формальных операций, выполняемых в настоящее время специалистами;

- сократить количество бумажных документов.

Решение этих задач позволит снизить нагрузку на специалистов и устраним факторы, воздействие которых приводит к развитию у них синдрома эмоционального выгорания, связанного, прежде всего с пониманием бесполезности и бесконечности выполняемой ими «механической» работы, возникновением ощущения обесценивания собст-

венного труда. Кроме этого, существенно ускорится процесс инструктирования и допуска работников к производству работ, упростится процесс изменения формы документов при внесении дополнений или изменений в государственные стандарты и правила. Будут устранены основные проблемы работы организации с классическим документооборотом по охране труда, такие как невозможность оперативного контроля работы с документами из-за отсутствия единой электронной системы, большого документопотока и сложной структуры предприятия; процедура создания и подписания документов.

Ограничениями для перехода на электронный документооборот являются организационные и технические проблемы, такие как отсутствие на некоторых рабочих местах возможности обеспечить стабильное интернет-соединение, что создает сложности в проведении инструктажа в дистанционном формате, а также отсутствие электронных подписей у большого числа работников.

Смешанный метод возможен с применением уже созданных приложений или электронных сред, таких как *1С; Dva14; КОТ; СБИС; HR Link*. Данные программы имеют определенный функционал; они могут частично применяться для упрощения документооборота в охране труда, однако подготовка документов по охране труда полностью в одной из этих программ невозможна.

Результаты. Разработка собственной системы автоматизации документооборота. До начала разработки форм документов необходимо определить, какие из них требуются на конкретном предприятии, однако нельзя забывать, что существуют перечни документов, обязательных для всех предприятий независимо от отраслевой принадлежности (табл. 1). Такой перечень можно подготовить в электронном виде с указанием законодательных актов, предоставляющих такую возможность [13-17].

Таблица 1 – Пример перечня документов по охране труда, подготовка которых возможна в электронном виде

№ п/п	Документ	Законодательный акт, разрешающий использование электронной формы
Обучение по охране труда		
1	Журнал регистрации вводного инструктажа	[13] пункт 86
2	Перечень профессий и должностей работников, освобожденных от первичного инструктажа на рабочем месте	[13] пункт 13
3	Журнал регистрации инструктажа на рабочем месте	[13] пункт 87
4	Распоряжение о допуске к самостоятельной работе (после стажировки)	[13] пункт 90
5	Протокол проверки знаний требований охраны труда	[13] пункт 91
Медицинские осмотры		
6	Список лиц, поступающих на работу, подлежащих предварительному медосмотру	[14] пункт 9
7	Список работников, подлежащих периодическому медосмотру	[14] пункт 21
8	Поименные списки лиц, подлежащих периодическому медосмотру	[14] пункт 23
9	Журнал учета выдачи направлений на предварительный медосмотр	[14] пункт 9
Смывающие и обезвреживающие средства		
10	Личная карточка учета выдачи смывающих и (или) обезвреживающих средств	[15]
Средства индивидуальной защиты		
11	Личные карточки учета выдачи средств индивидуальной защиты	[16]
Эксплуатация электроустановок		
12	Журнал учета присвоения группы I по электробезопасности не электротехническому персоналу	[17]

В работе предлагается возможность оптимизации и упрощения документооборота в компании любого размера с помощью разработки собственных электронных форм в программе *Microsoft Excel*. Базовая электронная таблица, представленная практически во всех операционных системах, позволяет не только производить расчеты, строить графики, но также настроить автоматическое формирование документов, списков на обучение, карт учета средств индивидуальной защиты и др.

Для автоматического заполнения документов по охране труда требуются следующие данные: фамилия, имя, отчество; должность сотрудника; год рождения; дата приема на работу.

Основным функционалом, используемым для разработки форм документов, будут относительные и абсолютные ссылки.

Абсолютная ссылка обозначается знаком $\$$ в координатах строки и столбца, например $\$A\1 . Знак доллара фиксирует ссылку на данную ячейку, так что она остается неизменной независимо от того, куда смещается формула. Другими словами, использование $\$$ в ссылках ячеек позволяет скопировать формулу в *MS Excel* без изменения ссылок.

Относительная ссылка – это ссылка вида $A1$ (т.е. буква столбца + номер строки). Основная особенность таких ссылок – при протягивании или копировании формулы в другие ячейки ссылка смещается. Другими словами, при копировании вниз ссылка $A1$ превратится в $A2$, $A3$ и т.д., при копировании вправо – в $B1$, $C1$ и т.д. Относительными являются все ссылки без использования $\$$ в строке формул.

Рекомендуется различные формы документов создавать на разных листах, для того чтобы при изменении ширины столбцов или высоты строк в одной форме документов не изменились ранее настроенные размеры в других формах. Кроме того, следует во вкладке «Разметка страницы» выставить узкие поля и включить в «Параметрах листа» вкладку «Печать»: данная настройка позволит понимать размеры страницы и подготавливать формы с их учетом.

Обсуждение. Рассмотрим применение разработанной программы на примере заполнения протокола проверки знаний требований охраны труда (рис. 1).

Номер протокола можно задать через формулу « $=A1+1$ », где « $A1$ » – номер предыдущего протокола, также его можно задать через обычную цифру.

Дату можно задать через формулу « $=СЕГОДНЯ()$ », данная функция задаст дату работы в системе, поэтому не придется постоянно контролировать правильность введения даты.

В протоколе (рис.1) даты проставляются в строках 1, 5, 7, 11 в различных форматах. При задании даты через функцию можно применить различные «Форматы ячеек», для этого следует выбрать ячейку или группу ячеек, нажать правую кнопку мыши и выбрать настройку «Формат ячеек», в нем выбрать форматы

«Дата» и необходимый формат из предложенных вариантов.

Номер протокола из строки 7 можно получить через ссылку на номер протокола из строки 1 для исключения возможных ошибок при заполнении документа.

Должность, ФИО председателя и членов комиссии можно задать через список, основываясь на приказе о проведении обучения в компании. Для этого создается перечень должностей на отдельном листе, после чего выбираются необходимая ячейка, раздел «Данные», затем «Проверка данных», в типе данных выбирается «Список», и в источнике обозначается ячейка, куда заранее вписаны необходимые должности или ФИО членов комиссии по проверке знаний. Данное действие позволит не запоминать всех членов комиссии, а выбирать из списка.

Аналогично во избежание ошибок можно выбрать программу обучения в строке 11 из списка, так как программ обучения может быть несколько.

В списке работников, прошедших обучение и сдавших экзамен, в столбце «№ п/п» в первой строчке ставится цифра 1, в последующих строчках в данном столбце вписывается формула « $=ССЫЛКА НА ПРЕДЫДУЩУЮ ЯЧЕЙКУ+1$ », для дальнейшего использования формулы её нужно «протащить» на все необходимые строки.

В столбцах «Ф.И.О.» и «Профессия/должность» используется относительная ссылка на вводные данные.

В столбце «Результат проверки знаний требований охраны труда» также используется список, но из 2 позиций – удовлетворительно/неудовлетворительно.

Дату сдачи экзамена можно получить либо через ссылку на ранее указанные даты, либо через формулу.

Ф.И.О. председателя и членов комиссии также можно получить или через ссылки на верхние ячейки, что наиболее удобно, или через список, однако в таком случае возникает вероятность ошибки.

Одной из обязанностей специалиста по охране труда является заполнение различных журналов, таких как журналы по охране труда, электробезопасности, целевого инструктажа по охране труда, всевозможных оперативных журналов и т.д. Приемы автоматизации при заполнении применимы для всех видов журналов, поэтому можно рассмотреть использование предлагаемой программы при заполнении журнала инструктажа на рабочем месте, форма которого представлена в нормативно-правовых актах Российской Федерации (рис. 2).

Столбец «Дата» заполняется с помощью формулы, описанной выше. В столбцах 2, 3, 4 используются ссылки на входные данные. Вид инструктажа задается через список, как и номер программы. Есть возможность использования функции «ЕСЛИ», в таком случае можно будет добиться выставления программы обучения автоматически в зависимости от должности. В таком случае формула будет иметь следующий вид:
= $ЕСЛИ(T5=«Первичный»;ЕСЛИ(S5=«Слесарь»;«ППИ-001»;«ППИ-002»)$.

ПРОТОКОЛ № 1/ 22.03.2023/ОТ							
плановой проверки знаний требований охраны труда работников							
Общества с ограниченной ответственностью ООО «***»							
(полное наименование организации)							
"22"		марта		2023г.			
В соответствии с приказом Генерального директора №1 от 01.12.2022г.							
"2"	декабря	2023г.	№	1	комиссия в составе:		
председателя Генерального директора				Иванов А.И.			
(Ф.И.О., должность)							
членов							
Специалиста по кадровому делопроизводству				Петров В.Г.			
(Ф.И.О., должность)							
Руководителя направления по эксплуатации				Ефимов А.И.			
(Ф.И.О., должность)							
провела проверку знаний требований охраны труда работников по программам обучения: ПРОГРАММЕ ОБУЧЕНИЯ ПО БЕЗОПАСНЫМ МЕТОДАМ И ПРИЕМАМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ, К КОТОРЫМ ПРЕДЪЯВЛЯЮТСЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАТИВНЫМИ ПРАВОВЫМИ АКТАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА (ПОБМПВРПО) в объеме 16 часов ПРОГРАММЕ Обучения по оказанию первой помощи пострадавшим (ПООППП) в объеме 8 часов ПРОГРАММА Обучения по использованию (применению) средств индивидуальной защиты (ПОИСИЗ) в объеме 7 часов							
№ п/п	Ф.И.О.	Профессия/должность	Наименование подразделения	Результат проверки знаний требований охраны труда (удовлетворительно/неудовлетворительно)	Дата проверки знаний требований охраны труда	Регистрационный номер о записи о прохождении проверки знания требований охраны труда в реестре обученных по охране труда лиц	Подпись работника, прошедшего проверку знания требований охраны труда
1	Соколова Мария	Уборщик		Удовлетворительн	22.03.2023	1	
Председатель комиссии						Иванов А.И. (Ф.И.О.)	
Члены комиссии:						Петров В.Г. (Ф.И.О.)	
						Ефимов А.И. (Ф.И.О.)	

Рисунок 1 – Протокол проверки знаний по охране труда, созданный в MS Excel

Дата	Ф.И.О. инструктируемого	Год рождения	Профессия, должность инструктируемого	Вид инструктажа (первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый)	Номер программы, инструкции	Причина проведения внепланового инструктажа	Ф.И.О., должность инструктирующего/допускающего	Подпись	
								Инструктирующего	Инструктируемого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.12.2022	Иванов Николай Николаевич	15.12.1964	Слесарь	Первичный	ПРИ-001-2022		Мороз И.И. Генеральный директор		
01.03.2022	Иванов Николай Николаевич	15.12.1964	Слесарь	Повторный	ПРИ-001-2022		Мороз И.И. Генеральный директор		
12.03.2023	Иванов Николай Николаевич	15.12.1964	Слесарь	Внеплановый		Приказ №6 от 12.03.2023	Мороз И.И. Генеральный директор		

Рисунок 2 – Журнал инструктажа на рабочем месте, созданный в MS Excel

Данная формула проверяет правильность введения вида инструктажа и в случае первичного и повторного инструктажей проверяет также правильность указания должности работника. Например, если должность «слесарь», то в ячейку вписывается «ППИ-001», что является программой обучения, заданной в формуле. Если должность работника не соответствует значению «слесарь», то программа прописывает «ППИ-002», что будет соответствовать другой должности. В случае выбора любого другого вида инструктажа формула в эту ячейку ничего не вписывает. Удобство данной формулы очевидно, однако сложность её написания при большом количестве должностей и программ обучения может привести к ошибкам в журнале инструктажа, поэтому этот метод подойдет компаниям с небольшим числом должностей и программ обучения.

В столбце «Ф.И.О., должность инструктирующего/допускающего» также можно использовать список для упрощения ввода.

Заключение. Система автоматизации документооборота в сфере охраны труда с помощью *MS Excel* позволит решить следующие задачи:

- 1) оптимизировать работу специалиста по охране труда, увеличив долю рабочего времени на обучение сотрудников и непосредственный контроль выполнения требований охраны труда;
- 2) освободить специалиста по охране труда от формальных операций, не требующих высокой квалификации и обесценивающих его труд;
- 3) сократить финансовые затраты на закупку журналов, удостоверений и хранение их в бумажном формате;
- 4) устранить один из главных недостатков классического ведения документооборота – отсутствие возможности централизованного контроля работы с документами в режиме реального времени.

Работа по методу, предложенному в работе, не требует никаких дополнительных затрат, и может быть осуществлена специалистами по охране труда в любых организациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Орлова М.М. История и современные тенденции развития систем электронного документооборота / М. М. Орлова // Вестник ВНИИДАД. – 2022. – № 3. – С. 52-62. – DOI 10.55970/26191601_2022_3_52. – EDN EWFDSK.
2. Компанистов С.С. Проблемы организации документооборота на современном этапе / С.С. Компанистов, Н.Б. Куршакова // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики. – 2021. – № 7. – С. 68-73. – EDN ZBI-LKT.
3. Садыкова О.В. Кадровый документооборот и внедрение системы электронного документооборота индивидуального предпринимателя / О.В. Садыкова, Д.А. Юеупова // Восемнадцатая всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета: Статьи докладов, Нижневартовск, 05–06 апреля 2016 года / ответственный редактор А.В. Коричко. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2016. – С. 439-443. – EDN WMLMXJ.
4. Кулаков Р.С. Сравнительный анализ систем элект-

ронного документооборота С1: Документооборот и *Directorum* / Р.С. Кулаков, А.А. Фионов, Ю.Ю. Фионова // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы: Сборник научных статей VI Всероссийской межвузовской научно-практической конференции, Пенза, 13 марта 2019 года / под ред. Л.Р. Фионовой. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2019. – С. 378-380. – EDN THFRQN.

5. Pewss: A platform of extensible workflow simulation service for workflow scheduling research / M.H. Tsai, K.C. Lai, K.F. Chen [et al.] // Software – Practice and Experience. – 2018. – Vol. 48, No. 4. – P. 796-819. – DOI 10.1002/spe.2555. – EDN YGJN-GX.

6. Суровцева Н.Г. Нормативно-правовая база для определения функциональных требований к системам электронного документооборота и систем хранения электронных документов / Н.Г. Суровцева // Формирование системы правового регулирования обеспечения информационной безопасности в условиях больших вызовов в глобальном информационном обществе. Вторые Бачиловские чтения: Сборник научных трудов, Москва, 08 февраля 2019 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2019. – С. 172-178. – EDN KPWPRZ.

7. Сорокин В.Н. Некоторые аспекты исследования и анализа зарубежных информационных источников по проблемам электронного документооборота и электронных документов / В.Н. Сорокин, Н.Е. Зверева // Вестник ВНИИДАД. – 2019. – № 4. – С. 58-66. – EDN XZFFASU.

8. Курченков К.Б. Электронный документооборот. Критерии разработки систем электронного документооборота / К.Б. Курченков // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2014. – № 12. – С. 102-106. – EDN SGLYSH.

9. Патент № 2726931 С1 Российская Федерация, МПК G06F 16/383, G06F 16/35. Способ автоматической классификации электронных документов в системе электронного документооборота с автоматическим формированием электронных дел: № 2019139137: заявл. 29.11.2019: опубл. 16.07.2020 / В.С. Назинцев, А.С. Мезенцев, И.Д. Королев; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С.М.Штеменко" Министерства обороны Российской Федерации. – EDN YXXUHQ.

10. Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте: приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 16 ноября 2020 г. № 782н URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74962122/> (дата обращения 05.05.23).

11. Об утверждении единых требований к составу и форматам документов, связанных с работой, оформляемых в электронном виде без дублирования на бумажном носителе: приказ Минтруда России от 20.09.2022 N 578н (Зарегистрировано в Минюсте России 30.09.2022 N 70317) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_427901 (дата обращения 05.05.23).

12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 05.05.23).

13. О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда: постановление Правительства РФ от 24 декабря 2021 г. N 2464 URL: <https://base.garant.ru/403324424/> (дата обращения 05.05.23).

14. Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры: приказ Министерства Здравоохранения Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 29н (ред. от 01.02.2022) (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 N 62277) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375353/ (дата обращения 05.05.23).

15. Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи

работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств и стандарта безопасности труда «Обеспечение работников смывающими и (или) обезвреживающими средствами»: приказ Минздравсоцразвития Российской Федерации от 17.12.2010 г. № 1122н URL: <https://base.garant.ru/55171222/> (дата обращения 05.05.23).

16. Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты (Зарегистрировано в Минюсте России 10.09.2009 N 14742): приказ Минздравсоцразвития Российской Федерации от 01.06.2009 г. № 290н URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91478/ (дата обращения 05.05.23).

17. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии: приказ Минэнерго Российской Федерации от 12.08.2022 N 811 URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405299745/> (дата обращения 05.05.23).

Статья поступила в редакцию 10.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 614.8

EDN: TGMFUC

ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

© Автор(ы) 2023

SPIN:9072-1132

AuthorID: 737780

ORCID: 0009-0002-3138-3326

ResearcherID: HZI-0763-2023

ScopusID: 57259958911

БАШИРОВ Вадим Депрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Оренбургский государственный университет

(460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д.13; e-mail: vdbashirov@list.ru)

SPIN:8098-2341

AuthorID:238963

ORCID:000-0002-6910-0283

ResearcherID: I-9052-2018

ScopusID: 57259958900

ТИМОФЕЕВ Дмитрий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент кафедры «Техносферной безопасности»

Российский государственный аграрный университет (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

(127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19 (учебный корпус № 28); e-mail: dntimofeev@mail.ru)

SPIN: 3066-9982

AuthorID: 315706

ORCID: 0000-0002-3798-6622

ResearcherID: X3X-9880-2023

ДУДОРОВ Виктор Евгеньевич, кандидат сельскохозяйственных наук,

старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Оренбургский государственный университет

(460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д.13; e-mail: dudlity@yandex.ru)

Аннотация. Данное исследование посвящено вопросам повышения пожарной безопасности электроустановок объектов с массовым пребыванием людей. Приведены статистические данные по распространённости различных причин возникновения пожаров. Установлено, что небезопасная эксплуатация электроустановок является одной из наиболее часто встречающихся причин возгораний. А половина крупных пожаров в России в 2021 г. произошла именно по причине нарушений в нормальной работе электрооборудования. Семь из них случились на объектах с массовым пребыванием людей. Исходя из статистических данных о высокой частоте возникновения пожаров по причинам аварийных ситуаций в электроустановках, особенно на объектах с массовым пребыванием людей, где эта причина является основной, важно продолжать планомерную работу по повышению качества электромонтажных работ и эксплуатации электроустановок для повышения уровня пожарной безопасности, снижения количества человеческих жертв и ущерба от пожаров. В ходе исследования рассматривались как работы отечественных исследователей, так и внесены авторские предложения по повышению пожарной безопасности. Оценена текущая актуальность нормативной базы и внесены предложения по оптимизации порядка и сроков выполнения электроизмерительных работ с целью снижения влияния ошибок при монтаже и нарушений в ходе эксплуатации электроустановок.

Ключевые слова: аппараты защиты, безопасность в электроустановках, испытания электроустановок, пожарная безопасность, электрооборудование, электробезопасность.

FEATURES OF SAFE OPERATION OF ELECTRICAL INSTALLATIONS AT FACILITIES WITH A MASSIVE PRESENCE OF PEOPLE

© The Author(s) 2023

BASHIROV Vadim Deprovich, doctor of agricultural sciences, associate professor of the Department of Life Safety

Orenburg State University

(460018, Russia, Orenburg, ave. Victory, d. 13; e-mail: vdbashirov@list.ru)

ТИМОФЕЕВ Dmitry Nikolaevich, candidate of agricultural sciences,

associate professor of the Department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University –K.A. Timiryazev Agricultural Academy

(19 Pryanishnikova str., Moscow, 127550 (academic building No. 28); e-mail: dntimofeev@mail.ru)

DUDOROV Viktor Evgenievich, candidate of agricultural sciences,

senior lecturer of the Department of Life Safety
Orenburg State University

(460018, Russia, Orenburg, ave. Victory, d. 13; e-mail: dudlitv@yandex.ru)

Abstract. This study is devoted to the issues of improving the fire safety of electrical installations of objects with a mass stay of people. Statistical data on the prevalence of various causes of fires are given. It has been established that unsafe operation of electrical installations is one of the most common causes of fires. And half of the major fires in Russia in 2021 occurred precisely because of violations in the normal operation of electrical equipment. 7 – at facilities with a mass stay of people. Based on statistical data on the high frequency of fires due to emergency situations in electrical installations, especially at facilities with a mass stay of people, where this cause is the main one, it is important to continue systematic work to improve the quality of electrical installation and operation of electrical installations to increase the level of fire safety, reduce the number of human casualties and damage from fires.

Keywords: protection devices, safety in electrical installations, testing of electrical installations, fire safety, electrical equipment, electrical safety.

Для цитирования: Баширов В.Д. Особенности безопасной эксплуатации электроустановок на объектах с массовым пребыванием людей / В.Д. Баширов, Д.Н. Тимофеев, В.Е. Дудоров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 206-212. – EDN: TGMFUC.

Введение. По данным МЧС [10] нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования является второй по распространённости и первой по величине нанесённого ущерба причиной пожаров в России. В зданиях же торговых предприятий и общественного назначения (объектов с массовым пребыванием людей) эта причина возгорания является основной. Всего же в 2021 г. по причинам, связанным с неправильной эксплуатацией электроустановок, произошло 15% пожаров, ущерб от которых составил 43% от возгораний по всем причинам. Для 60% погибших основной причиной гибели стало отравление токсичными продуктами горения при пожаре. Основными источниками ядовитых токсичных газов при горении являются электрические кабели в поливинилхлоридной изоляции (ВВГ, ВВГ-нг), пластмассовые части электрощитов, аппаратов защиты, распределительные коробки (как правило, полипропиленовые).

Надо отметить, что из 43 крупных пожаров (с ущербом свыше 43,749 млн. руб.) в 2021 г. 7 произошло в местах массового пребывания людей. 23 крупных пожара из 43 произошли по причинам

нарушения правил эксплуатации электроустановок.

Исходя из высокой частоты возникновения возгораний по причинам, связанным с эксплуатацией электроустановок, а также наиболее значительного ущерба и наибольшему количеству смертельных исходов по этим же причинам, является актуальной задачей разработка мероприятий по повышению уровня пожарной безопасности в электроустановках. При этом решения должны быть технически доступны для всех субъектов экономической деятельности и не содержать избыточных требований к повышению безопасности.

Методология. Как свидетельствует Ламков И.М. [1], основной причиной пожаров, связанных с неправильной эксплуатацией электрооборудования, является человеческий фактор: нарушение правил эксплуатации, перегрузка электросетей, завышение номиналов автоматических выключателей (АВ), отсутствие технического обслуживания. Хотя не последнее место занимают и недостатки при монтаже электроустановок, что отмечает Пилипенко С.А. [5]. Выделим основные факторы возникновения пожароопасной ситуации (табл. 1):

Таблица 1 – Основные факторы и статистика возникновения пожаров в 2021 г.

Источник возгорания [10]	Кол-во пожаров в 2021 г. [10]	Причины возгорания	Меры предупреждения
Кабельные трассы	40232	Физическое повреждение изоляции, излом токопроводящих жил, перегрев жил кабеля, в т.ч. по причине завышения номиналов АВ, плохое качество монтажа соединительных муфт или распределительных коробок	Тепловизионный контроль, периодический контроль сопротивления изоляции и сопротивления петли фаза-нуль, установка УЗО на все отходящие групповые линии, контроль соответствия аппаратов защиты
Потребители электроэнергии	10040	Износ аппаратов, производственный брак, работа вне допустимых тепловых и временных режимов работы	Установка УЗО на все отходящие групповые линии
Контактные соединения (вилки, розетки, выключатели и т.п.)	5344	Износ и окисление контактной части	Тепловизионный контроль
Электрические шкафы	3607	Плохие контактные соединения кабелей и аппаратов защиты и шин, неверный выбор сечения нулевых и фазных шин, а также коммутационных проводников	Тепловизионный контроль, по возможности – установка АУП в силовых шкафах и помещениях электрощитовых

Как следует из таблицы 1, в 2021 г. большинство пожаров произошло на силовых кабельных линиях по различным причинам. Исходя из практики, можно заметить, что преимущественно причинами повреждений и, как следствие – возгораний, являются физическое воздействие на кабели, низкое качество монтажа переходных соединений и перегрев жил кабеля вследствие завышения номиналов автоматических выключателей.

Последнее является часто распространённым явлением, когда-либо из-за ошибок проектирования, либо по причине установки нового оборудования устанавливается электропотребитель заведомо большей мощности, чем допускается сечением питающего кабеля. После нескольких периодических отключений тепловой защиты (по перегрузке), эксплуатирующий персонал зачастую принимает решение установить на линию аппарат на больший ток отсечки. Что, в общем-то, является нарушением. Однако, это нарушение сложно диагностировать – ни испытательные лаборатории, ни органы надзора, не проверяют соответствие номиналов аппаратов защиты сечению отходящих кабелей. Поскольку для проверки сечения необходимо либо видеть маркировку кабеля, либо измерить его микрометром. Но в ходе монтажа кабель, как правило, освобождается от внешнего слоя изоляции с маркировкой, поэтому достоверно определить его сечение по данным производителя обычно невозможно. А поверенный микрометр не является штатным оборудованием электролабораторий или контролирующих органов. Путём же визуального контроля не всегда можно достоверно определить занижение сечения кабелей, особенно для кабелей с маркировкой *-FRLS* ввиду значительной толщины изоляции. Поэтому для повышения безопасности электроустановок настоятельно рекомендуется включить пункт об обязательности проверки соответствия сечения отходящих кабелей и проводов номиналу аппаратов защиты со сроками периодического контроля наряду с проверкой сопротивления изоляции.

В качестве одной из мер предупреждения опасных ситуаций некоторые авторы предлагают периодическое проведение тепловизионного контроля [7, 9] и другие методы [11-15]. Данный вид испытаний в настоящее время в обязательном порядке в установленные сроки в электроустановках до 1000В не производится. В том числе это касается объектов с массовым пребыванием людей. Хотя, например, в ПАО «Ростсети» имеется стандарт организации СТО 34.01-23.1-001-2017, который в основном повторяет содержание РД 34.45-51.300-97. Данные стандарты (в том числе) регламентируют периодичность и контрольные параметры проведения тепловизионных обследований оборудования до 1000В (1 раз в 3 года). Но эти нормы не имеют обязательного характера для других субъектов народного хозяйства. Требования стандарта СТО 34.01-23.1-001-2017 в части тепловизионного контроля (приложение «Д»

и п. 32.6) было бы целесообразно распространить на все объекты с массовым пребыванием людей. Либо рассмотреть в качестве обязательных методические рекомендации по проведению тепловизионного контроля жилых и общественных зданий [9], но изложенные в более краткой и удобочитаемой форме на примере СТО 34.01-23.1-001-2017 (в части касательно тепловизионных обследований).

Минусами тепловизионного контроля является то, что подобная проверка должна проводиться исключительно при полной нагрузке на электроустановку со всеми включёнными потребителями. В противном случае проверяющий попросту не зафиксирует превышение температуры в местах с имеющимися в наличии дефектами. Поэтому важно не само по себе проведение контрольной проверки, но и время проведения контроля, и характер текущей нагрузки объекта. Этот момент подробно освещён в методических рекомендациях [9]. Поэтому в отличие от проверки сопротивления изоляции, которую производят в нерабочее время с отключением всех электропотребителей, термографическое обследование должно проводиться в период максимальных нагрузок.

Также значительно препятствует объективному контролю электроустановок в полном объёме тот факт, что кабели и провода в подавляющем большинстве случаев находятся в скрытом состоянии от возможного термографического контроля. Это касается скрытой проводки, кабелей в шахтах, трубах, закрытых лотках. В подобных случаях развивающиеся или аварийные дефекты возможно определить только косвенным образом – по нагреву окружающих предметов или конструкций стен, что не всегда даёт объективную картину состояния кабельной линии. Исходя из этого, термографический контроль в полном объёме возможен, как правило, только для контроля температуры контактной части в щитах (в том числе присоединения к шинам и аппаратам защиты) и в электрощитовых. А также в кабельных шахтах или нишах.

Результаты. В качестве иллюстрации результативности термографического обследования приведём фото секции плавких вставок с отмеченным аварийным дефектом (рис. 1).

На рисунке 1 отмечено плохое качество верхнего контакта второй вставки, вызывающее сильный нагрев (до 68,9 градусов). Причём программа обработки изображений с тепловизора в автоматическом режиме выбирает наиболее горячие точки в нужных областях (6 зон контактов трёх вставок – для каждой вставки верхний и нижний контакт) и отмечает температуру окружающей среды. В данном случае термограмма позволяет однозначно определить, что наблюдаемый дефект не связан с перегрузкой отдельной фазы или завышением номинала аппарата защиты, так как нагрев точечный и не распространяется на другие контрольные области. Таким образом, термографическое

обследование значительно облегчает диагностику состояния электрошкафов и щитов и устраняет неопределённости в трактовке степени повреждения, что невозможно при измерении температуры пирометром или применением индикаторных наклеек.

Плюсом данного вида измерений также является и то, что, перегрев кабеля вследствие, например, завышения номинала защиты или дефекта концевой муфты будет немедленно зафиксирован при обследовании внутреннего объёма шкафов и щитов.

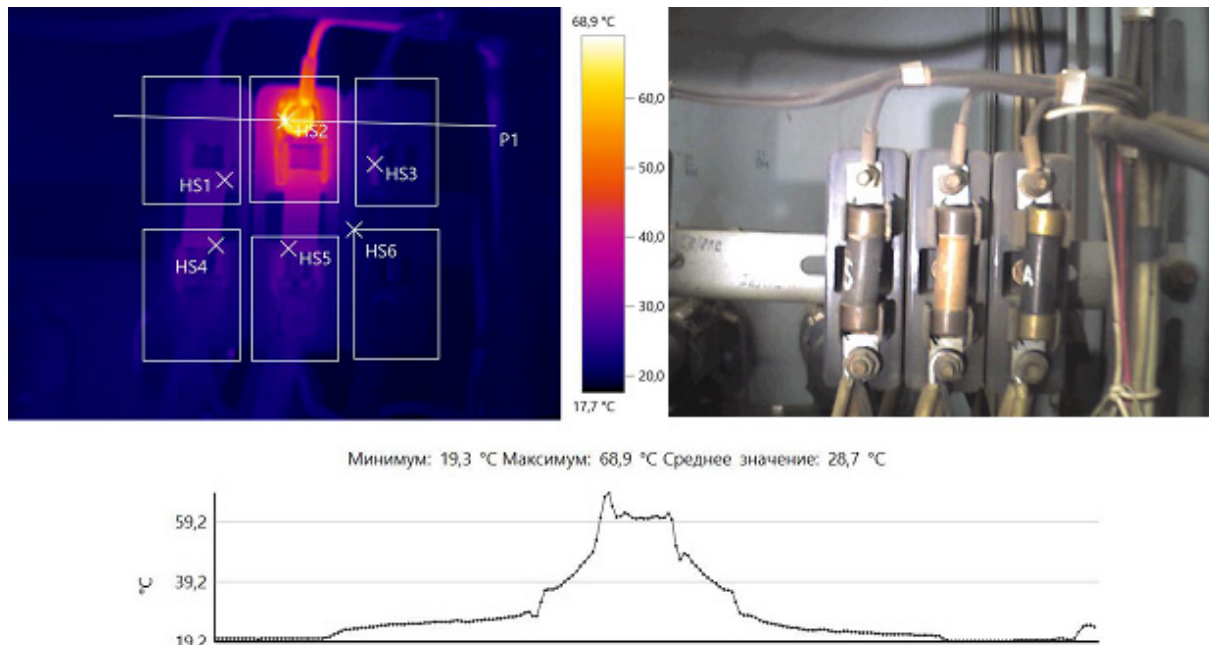


Рисунок 1 – Термографическое изображение секции плавких вставок с аварийным дефектом

Одним из важнейших факторов повышения пожарной безопасности является своевременная проверка условий срабатывания автоматических выключателей, которые можно оценить лишь проведением испытаний сопротивления петли «фаза-нуль». Т.е. имитации короткого замыкания на самом удалённом участке цепи с измерением тока и сопоставлением его с характеристиками срабатывания аппаратов защиты в электрощите. Однако, по причине высокой сметной стоимости данного вида измерений их проводят лишь на этапе ввода электроустановок в эксплуатацию, как и испытания собственно самих аппаратов защиты. В дальнейшем ежегодно (или раз в 3 года) от эксплуатирующих организаций требуется лишь предоставление документов о результатах периодической проверки сопротивления изоляции кабелей и проводов. В ПТЭЭП согласно п. 3.4.12 периодичность данной проверки составляет 2 года [8], но она касается только электроустановок во взрывоопасных зонах. И не распространяется на другие объекты. Однако, с точки зрения повышения безопасности объектов с массовым пребыванием людей рекомендуется установить одинаковый срок для испытаний сопротивления изоляции и сопротивления петли фаза-нуль для их одновременной проверки и составлении единого отчёта для обоих видов измерений (1 раз в 3 года).

Применение УЗО на небольшие токи (до 30 мА) является наиболее действенной мерой предупреждения возгораний, связанных с утечками и пробоями

на корпус и заземлённые элементы кабельных конструкций. В реальных условиях на объектах с массовым пребыванием людей, как правило, прокладка кабельных линий осуществляется преимущественно в металлических лотках и коробах. Поэтому «врезание» кабельной изоляции об острый край лотка или саморез, которым крепят между собой лотки или заземляющие проводники между лотками – часто распространённый дефект, который не всегда можно диагностировать даже повышенным напряжением мегаомметра (измерения проводятся напряжением 1 кВ). Такое повреждение на начальной стадии не вызывает «чистое» короткое замыкание на корпус и может укладываться в нормативное значение сопротивления изоляции (1-1,5 МОм). Но по мере старения изоляции данный дефект может проявиться спустя значительное время после физического воздействия. Или, например, при повышении влажности окружающей среды. Это может не привести к срабатыванию автоматического выключателя по причине относительно невысокой величины утечки (порядка десятых долей или единиц ампер) по сравнению с текущей нагрузкой. Устройство защитного отключения в таком случае немедленно обесточивает линию на ранней стадии развития неисправности без возникновения участков нагрева. В дальнейшем с помощью устройств определения мест повреждения или тепловизора можно уточнить место дефекта. Но здесь имеет первостепенное значение своевременное отключение повреждённой линии, что не всегда

возможно обеспечить автоматическим выключателем без УЗО.

Существенным недостатком существующих проектных норм является необязательность применения УЗО на линиях питания осветительных сетей. Тогда как именно световые проводки наиболее подвержены вероятности физического воздействия. Это происходит потому, что протяжённость линий к светильникам в местах с массовым пребыванием людей в чистой протяжённости кабельной продукции в разы, а ино-гда и на порядок превышает длину розеточных сетей, защищённых УЗО. И чисто по теории вероятности одни и те же кабеля в одних и тех же условиях прокладки будут одинаково повреждаться от внешних воздействий. Поэтому настоятельно рекомендуется распространить норму установки устройств защитного отключения на все электропроводки в административных общественных зданиях.

Важным моментом, обуславливающим необходимость установки УЗО на осветительных линиях, особенно в административных и торговых учреждениях, является распространённость металлических потолков, за которыми проходят силовые кабельные трассы. И если кабельные лотки связываются с шиной РЕ путём монтажа соединительных проводников и пластин в общую систему уравнивания потенциалов, то надёжное заземление металлического потолка по ряду причин технического характера обеспечить невозможно. На это влияют окрашенные и непроводящие элементы потолков, непрочные соединения, невозможность соединения большого количества разрозненных мелких элементов в единую цепь и т. п. Поэтому, в случае повреждения силовых кабелей элементами подвесного потолка (саморезами, проволокой подвесов, острыми углами потолков типа «Грильято» и т.д.) короткого замыкания со срабатыванием АВ не происходит. И металлоконструкции могут находиться под постоянным напряжением. Это же замечание касается и гипсокартонных стен с металлическим каркасом. Крепление к каркасу листов ГВЛ часто вызывает повреждения кабелей саморезами и пробой на корпус незаземлённой металлоконструкции. Оба случая являются достаточно распространёнными. И если розеточная линия при таком повреждении будет отключена УЗО, то линия питания освещения не будет обесточена, и металлокаркас может остаться под напряжением, что может вызвать травму или смертельный исход. Хотя это непосредственно не влияет на пожарную безопасность, но имеет значение для снижения рисков электротравматизма.

К сожалению, не представляется возможной установка УЗО на магистральные линии питания электрощитов, что снижает возможности по их автоматическому отключению в случае подобных повреждений.

Значительным минусом существующей нормативной базы является отсутствие нормативных

сроков проверки параметров срабатывания УЗО. Устройства данного типа чувствительны к условиям эксплуатации, запылённости, влажности и низким температурам, и выходят из строя намного чаще, чем автоматические выключатели. Поэтому рекомендуется установить сроки проверки аппаратов дифференциального тока и УЗО не реже сроков проверки сопротивления изоляции и токов короткого замыкания – т. е. раз в 3 года.

Для повышения уровня безопасности электроустановок Харламенков А.С. [6] считает целесообразным установку устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП) или защиты от искрения (УЗИС). Однако, Мельников В.С. [2] экспериментально установил, что данные аппараты срабатывают уже после возникновения пожароопасной ситуации. Что, вкупе с их высокой стоимостью, делает их применение бесполезным с точки зрения повышения безопасности электроустановок. Что немаловажно, основным эффективным способом профилактики аварийных ситуаций Мельников В.С. называет периодический контроль изоляции проводов и кабелей и применение устройств дифференциального тока (АВ+УЗО). Что также согласуется с нашим мнением и с работами Михайлова В.М. [3] и Монакова В.К. [4].

Предлагаемые Мельниковым В.С. [2] инициативы по внедрению дифференциальных диполей и денонсаторов пока не встречаются на рынке. Поэтому рассматривать их внедрение пока можно только в теоретическом ключе.

Пилипенко С.А. [5] предлагает актуальное решение по повышению безопасности электроустановок объектов с массовым пребыванием людей путём обязательной установки автономных установок пожаротушения (АУП) в электрощиты и электрошкафы. Однако, в силу обширности номенклатуры, типоразмеров и материалов изготовления щитовой продукции не представляется возможным предусмотреть размещение АУП в каждом силовом щите. И мнение автора о возможности установки АУП величиной 130x130x30 мм является ошибочным – это значительный габарит для большинства распределительных щитков. Если ширина аппарата позволяет его размещение (130 мм – это примерно 8 модулей в ширину) в стандартном модульном щитке. То при высоте автоматического выключателя 80 мм аппарат большей высоты в такой щиток на один ряд с автоматами попросту не уместится. К тому же устройства АУП представляют собой круглый диск с креплениями под винт на стену, а не на *DIN*-рейку, которыми практически всегда оснащаются щитки средних и небольших размеров. Поэтому подобные автоматические установки пожаротушения можно размещать только в шкафах значительных габаритов и вводных распределительных устройствах.

Обсуждение. В сегменте АУП присутствуют относительно малогабаритные решения типа АГС-12/0,1 с размерами 80x80x16, которые в принципе могут разместиться на одной *DIN*-рейке вместе

с аппаратами защиты – это займёт примерно 5 модулей (величина модуля – 18 мм). Но стоимость размещения столь дорогостоящего оборудования может быть экономически нецелесообразной в сравнении, например, с установкой 1-2 АУП для больших объёмов сразу в помещении электрощитовой или помещений для распределительных щитов на этажах. Поэтому, признавая необходимость активной защиты электрощитов от перегрева оборудования и возникновения пожароопасных ситуаций, нужно принимать во внимание и экономическую составляющую монтажа таких систем. В целом, не смотря на значительный спектр предупредительных мероприятий и установку электроаппаратов защиты различного типа (АВ и УЗО), необходимость установки АУП в электрощитовых объектах с массовым пребыванием людей является важным фактором повышения пожарной безопасности. Это связано с тем, что даже оптимальная организация эксплуатации электроустановок не является абсолютной гарантией от человеческого фактора или выхода из строя аппаратов защиты.

Выводы. В ходе исследования установлено, что наибольшее количество пожаров в местах массового пребывания людей происходит по причине нарушений в нормальной работе электрооборудования. Поэтому в целях повышения уровня пожарной безопасности социально важных объектов в данном исследовании внесён ряд рекомендаций технического и организационного характера. В частности, это касается установления точных сроков проведения таких электрических испытаний как сопротивление петли «фаза-нуль» и проверки параметров срабатывания УЗО. Постоянный контроль соответствия номинала автоматических выключателей сечению отходящих кабелей с отметкой в протоколах.

Авторы считают значительным фактором повышения электробезопасности и пожарной безопасности обязательное применение УЗО на всех силовых групповых линиях, в том числе на линиях питания освещения. Устройства защиты от дугового пробоя и подобные приборы для контроля возникновения искрения и отключения сети, исходя из результатов их проверки в реальных условиях, применять в массовом порядке нецелесообразно как по причине их высокой стоимости, так и низкой эффективности.

АУП могут служить эффективным средством защиты от возгораний в небольших объёмах – преимущественно в электрощитах, а также в небольших по объёму закрытых кабельных и распределительных нишах. А это, как можно заключить из данных таблицы 1, около 6% причин возгораний в электрической части объектов. Поэтому надо понимать, даже полное исключение пожаров в щитах и щитках путём установки АУП не даст ощутимого повышения безопасности объектов с массовым пребыванием людей в целом. Соответственно, наибольшее внимание следует уделить снижению

причин пожаров на кабельных линиях. А это в первую очередь связано с установкой УЗО на всех групповых линиях. Особенно на линиях питания освещения, которые составляют основную протяжённость кабелей на объектах с массовым пребыванием людей. И данная мера должна быть дополнена регулярными проверками условий срабатывания защиты и работоспособности УЗО наряду с испытаниями сопротивления изоляции.

Тепловизионный контроль также является важным элементом предупреждения пожароопасных ситуаций. Однако, в реальных условиях его полноценное проведение в большинстве случаев возможно только в открытых частях электроустановок. Большая же часть кабельных линий скрыта от термографического обследования за строительными и кабеленесущими элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ламков И.М. О необходимости формирования профессиональных компетенций в области пожарной безопасности электрооборудования / И.М. Ламков // Актуальные вопросы образования. – 2019. – Т. 2. – С. 116-119. – EDN VVXVDX.
2. Мельников В.С. Пожарная безопасность электроустановок, алгоритм зажигания / В.С. Мельников // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 1(127). – DOI 10.23670/IRJ.2023.127.84. – EDN KBJQL.
3. Михайлов В.М. Обеспечение мер электробезопасности в бытовых помещениях / В.М. Михайлов // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем "РАДИО-ИНФОКОМ-2019": Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции, Москва, 11-15 ноября 2019 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2019. – С. 356-359. – EDN NYGRWW.
4. Монаков В.К. Электробезопасность: Теория и практика / В.К. Монаков, Д.Ю. Кудрявцев. – Москва: ИнфраИнженерия, 2017. – 184 с. – ISBN 978-5-9729-0188-3. – EDN ZVBQIN.
5. Пилипенко С.А. Электрощит как возможный источник возгорания в торгово-развлекательных центрах и пути решения по повышению эффективности обеспечения пожарной безопасности электроустановок / С.А. Пилипенко // Аллея науки. – 2021. – Т. 2, № 12(63). – С. 370-377. – EDN OVBHFN.
6. Харламенков А.С. Пожарная опасность больших переходных сопротивлений. От теории к практике. Часть 2 / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31, № 1. – С. 99-104. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.01.99-104. – EDN MRGXCM.
7. Харламенков А.С. Целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 117-122. – EDN ZLMDVI.
8. Черкасов В.Н. Вопрос – ответ / В.Н. Черкасов, А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 9. – С. 92-93. – EDN XACGXZ.
9. Назаров А.А., Пехотиков В.А., Грузинова О.И., Рябиков Л.И. Проверка пожарной опасности электрооборудования жилых и общественных зданий с помощью тепловизора: метод, рекомендации. М.: ВНИИПО, 2014. 28 с.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник / ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – 2022. – 114 с.
11. Медведева, С.Н. Метод идентификации потребителей электроэнергии, генерирующих в сетях общего электроснабжения помехи, превышающие нормированные значения показателей качества / С.Н. Медведева, М.В. Чернецов, М.М. Чернецова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 2(34). – С. 121-131. – DOI 10.21685/2227-8486-2020-2-9. – EDN VU-

КВФВ.

12. Роганов В.Р. Три подхода к оценке работоспособности систем активного резервирования / В.Р. Роганов, А.К. Гришко, И.И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2(26). – С. 9-18. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-2. – EDN ZIABVN.

13. Карпухин Э.В. К вопросу применения эффективных численных методов для моделирования магнитострикционных приборов уровня / Э.В. Карпухин, Е.С. Демин, С.Б. Демин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 58-64. – EDN OWRRNB.

14. Нестеренко С.А. Управляемый кольцевой генератор импульсов / С.А. Нестеренко, В.А. Чулков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 10. – С. 58-63. – EDN RGRLPX.

15. Математическое моделирование систем управления с использованием дифференциальных уравнений / Д.И. Прошин, И.А. Прошин, В.Н. Прошкин, Ю.В. Конопацкий // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 52-55. – EDN SLSFTN.

Статья поступила в редакцию 25.04.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023

УДК 331.45

EDN: QSLWLI

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

©Автор(ы) 2023

SPIN: 3611-9283

AuthorID: 703037

РОМАНОВ Александр Иванович, кандидат военных наук, доцент
кафедры эргономики, экологии и трудового права*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
(190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д.3 e-mail: bocean@list.ru)*

SPIN: 2035-9311

AuthorID: 1030684

БРОННИКОВА Лилия Васильевна, кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой эргономики, экологии и трудового права*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
(190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д.3 e-mail: bronnikova.lili@gmail.com)*

Аннотация. Трудовой процесс – это динамическая система, включающая в себя различные виды ресурсов, порой абсолютно противоположны по своим свойствам, характеристикам и средствам воздействия на физическое и психофизиологическое состояние работника, что создает неопределенность и увеличивает вероятность возникновения различных опасностей. Цель управления ресурсами – это организация взаимодействия трудового коллектива для обеспечения и достижения цели действия (планируемого конечного результата). Цель действия – безопасность производственного процесса, эффективное использование производственного оборудования и трудовых ресурсов. Управленческая деятельность понятие многоуровневое – каждый работник, включая руководителя организации, управляет различными ресурсами для достижения поставленных целей, используя приемлемые мотивационные методы. Высококвалифицированный персонал в последние годы стал одним из наиболее ценных ресурсов любого предприятия. Грамотная политика в области охраны труда на предприятии приводит к снижению влияния опасных и вредных факторов, снижению производственного травматизма, внедрению системы управления охраной труда. Работники организации обязательно оценят эту политику и будут стремиться к соблюдению культуры безопасного труда.

Ключевые слова: система управления ресурсами, уровни управления, психологические и физиологические ресурсы персонала, управление материальными ресурсами, эргономика рабочего места.

RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM TO ENSURE LABOR SAFETY

© The Author(s) 2023

ROMANOV Aleksander Ivanovich, ph. d. (milit), assistant professor
of the Department of ergonomics, ecology and Labor Law*Saint-Petersburg State Marine Technical University
(190121, Russian Federation, St. Petersburg, Lotsmanskaya, 3, e-mail: bocean@list.ru)***BRONNIKOVA Liliya Vasilevna**, ph. d. (Econ), assistant professor,
head of the Department of ergonomics, ecology and Labor Law*Saint-Petersburg State Marine Technical University
(190121, Russian Federation, St. Petersburg, Lotsmanskaya, 3, e-mail: bronnikova.lili@gmail.com)*

Abstract. The labor process is a dynamic system that includes various types of resources, sometimes completely opposite in their properties, characteristics and means of influencing the physical and psychophysiological state of the employee, which creates uncertainty and increases the likelihood of various dangers. The purpose of resource management is the organization of the interaction of the workforce to ensure and achieve the goal of the action (the planned end result). The purpose of the action is the safety of the production process, the efficient use of production equipment and labor resources. Management activity is a multi-level concept – each employee, including the head of the organization, manages various resources to achieve the goals set using acceptable motivational methods. Highly qualified personnel in recent years has become one of the most valuable resources of any enterprise. A competent policy in the field of labor protection at the enterprise leads to a decrease in the influence of dangerous and harmful factors, a decrease in industrial injuries, and the introduction of a labor protection management system. Employees of the organization will definitely evaluate this policy and will strive to maintain a culture of safe work.

Keywords: resource management system, management levels, personnel psychological and physiological resources, material resources management, workplace ergonomics.

Для цитирования: Романов А.И. Система управления ресурсами по обеспечению безопасности труда / А.И. Романов, Л.В. Бронникова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 2(62). – С. 213-218. – EDN: QSLWLI.

Введение. Трудовой процесс – это динамическая система, включающая в себя различные виды ресурсов, что создает неопределенность и увеличивает вероятность возникновения различных опасностей. Безопасность как социальное, производственное, экологическое, экономическое и т.п. состояние системы характеризуется общими свойствами, а также взаимосвязью деятельности людей. Данная деятельность основана на основополагающих принципах обеспечения безопасности труда.

На работодателя возлагаются обязанности по обеспечению безопасных условий труда, а также ответственность за ненадлежащий контроль законодательных требований. Применение системы управления необходимо для качественного выполнения данной функции [1-2].

Очень важным фактором обеспечения безопасности на предприятии – распределение обязанностей и ролей в части охраны труда, т.е. должна функционировать система управления охраной труда. Продуманные и правильно реализованные процессы на предприятии – это залог безопасного труда. Управленческая деятельность понятие многоуровневое – каждый работник, включая руководителя организации, управляет различными ресурсами для достижения поставленных целей, используя приемлемые мотивационные методы.

Формирование единой корпоративной культуры безопасности труда и грамотная политика в области охраны труда на предприятии приводят к снижению влияния опасных и вредных факторов, снижению производственного травматизма, внедрению системы управления охраной труда. Работники предприятия обязательно оценят эту политику и будут стремиться к соблюдению культуры безопасного труда [3-5]. То есть, охрана труда, как для руководителя, так и для рядовых работников – является доминирующим элементом на предприятии при управлении фенотипическими ресурсами для достижения поставленных целей или для текущего результата, используя приемлемые мотивационные методы.

В последние годы профессиональный ресурс работников стал приоритетным компонентом при подборе и трудоустройстве персонала на любом предприятии.

Высокий профессионализм и ответственность за выполняемую работу приводит к снижению вероятности возникновения несчастных случаев на производстве. В свою очередь руководство деятельностью организации должно быть направлено

на снижение влияния опасных и вредных факторов на производстве, производственного травматизма. Доминирующим фактором должно быть формирование корпоративной культуры безопасности труда [3].

Безопасность труда в управленческом процессе определяет систему взаимодействия профессиональных ресурсов на различных уровнях. Данная система взаимодействия позволяет непрерывно осуществлять и координировать управленческие процессы [6-8].

Цель статьи – обоснование взаимосвязей и взаимозависимостей фенотипических и профессиональных ресурсов руководителей и работников организации при формировании управленческих связей и построении системы управления охраной труда на производстве.

Методология. Любой труд – это динамическая система по производству предмета труда и основан на взаимодействии ресурсов работника (профессиональные и фенотипические ресурсы) и средств труда (материальные, энергетические ресурсы), а также условий труда [9, 10].

Трудовая деятельность, по своей сути, подразделяется на:

1. Работу по установленному заданию и алгоритму в назначенные сроки с конкретным результатом. Система находится вблизи точки равновесия. Основой является профессиональный ресурс;

2. Творческую работу. Характеризуется нестандартным подходом, приемами, искомый результат определен в виде области разно вероятностных значений. Наряду с профессиональными ресурсами активно используются интеллектуальные, психологические и креативные ресурсы.

Предметы труда могут представлять собой как материальные предметы, так и интеллектуальные, психологические результаты своей деятельности.

Любой субъект или объект производственного процесса, творческой деятельности имеет определенный ресурс, который имеет количественные и качественные характеристики (рис. 1).

Количественными характеристиками является потенциал ресурса, в частности время использования, объем выполняемой работы, объем обрабатываемой информации, давление, температура, величина импульса, количество энергии и т.п.

Качественными характеристиками являются его уникальные свойства, как нативные, так и приобретенные [9-11].



Рисунок 1 – Влияние ресурсов на результат производственной деятельности

Носитель ресурса – субъект или объект трудового процесса. Набор уникальных ресурсов характеризует индивидуальность данного субъекта или объекта, а также специфику трудового процесса.

Ресурс имеет количественно-качественные параметры субъекта или объекта.

Производственная система, как и любая другая, имеет управляющую подсистему – субъект управления, управляемую подсистему – объект управления, обладает определенными ресурсами и осуществляет свою деятельность.

Применение в организации управляемой системы непрерывных взаимодействующих процессов, влияющих на охрану труда (при производстве) с использованием ресурсов, называется "процессным подходом" [12].

Система управления ресурсами включает в себя

следующие уровни:

1. Управление психологическими ресурсами персонала;
2. Самоуправление собственными физиологическими ресурсами;
3. Управление материальными ресурсами техники, используемой в трудовой деятельности.

На первом уровне управляющим элементом служит психологический ресурс руководителя, работника, его амбиции, заинтересованность в получении конечного результата.

Эффективность деятельности определяется результатом. Требования по обеспечению безопасности конкретного труда вырабатываются руководителями и представляют собой первичный уровень системы управления охраной труда (СУОТ) [1, 13] (рис. 2).

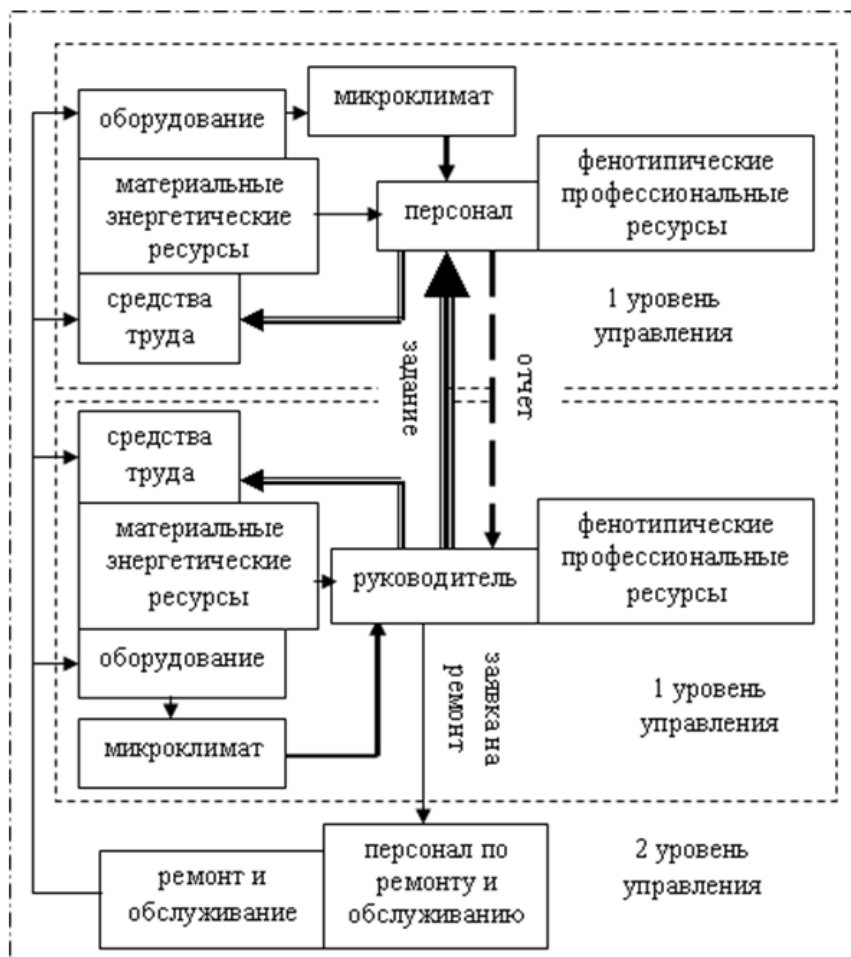


Рисунок 2 – Двухкомпонентная структура управления ресурсами

В данном случае психологический ресурс является доминирующим компонентом в любой производственной системе. Он оказывает стимулирующий эффект на производственную деятельность, объем выполненной работы, на трудоспособность работника.

Потенциал психологического ресурса – это уровень мотивации работника [10, 11].

$$\Delta R_{\text{псих}} = \iint_t \frac{\partial V_{\text{раб}}}{\partial t} dt = \int_t \frac{\partial P_{\text{мп}}}{\partial t} dt, \tag{1}$$

где $\partial V_{\text{раб}}$ – объем выполненной работы, а также $\partial P_{\text{мп}}$ трудоспособность зависит от опыта работы, интеллектуальной способности работника и физиологического состояния организма.

Из данной формулы видно, что психологичес-

кий потенциал работника можно представить как интегральную функцию изменения трудоспособности в период трудовой смены. [10, 11].

Для выполнения данной работы психологический ресурс включает потенциал имеющегося интеллектуального, креативного и приобретенного профессионального ресурса работника, а также используются физиологические ресурсы работника и материальные и энергетические ресурсы рабочего места и рабочей среды [14, 15].

$$\partial V_{\text{раб}} = N_{\text{эрг}} \mathcal{F}(\Delta R_{\text{инт}}, (\Delta R_{\text{физ}}) \Delta R_{\text{проф}}), \quad (2)$$

Отсутствие психологической заинтересованности переводит управление в режим внешнего управления ресурсами и носит принудительный характер.

Результат эффективности работы и выполнения необходимых задач (обратная связь) – это степень удовлетворенности в достижении поставленной цели (психологический эффект).

На данном уровне управление осуществляется самим работником или руководителем своими фенотипическими и профессиональными ресурсами, а также материальными и энергетическими ресурсами оборудования на своем рабочем месте. Задание на работу формируется самим работником в соответствии с поставленной задачей и функциональными обязанностями на рабочем месте, перспективными планами или возникшей нестандартной ситуаций. Пример – самозанятость, индивидуальное предпринимательство, творческая работа и т.п.

Основными компонентами при организации взаимодействия ресурсов работника (члена экипажа) и оборудованием являются визуальные (дисплеи, электро- и световое табло, видеотерминалы, оптические приборы, графические носители информации и т.п.) и звуковые (включающие в себя частотные показатели, интенсивность звука, звуковое давление) информационные ресурсы, а также средства мануального (контактного) управления (тумблеры, рычаги, педали, джойстики, клавиатура, сенсорные переключатели и т.п.) и звукового управления (передача команд, информации, звуковых сигналов и т.п.). На приемных (информационных) устройствах отображается текущая информация, а с помощью средств управления осуществляется ввод команд на изменение работы приборов [14, 15].

Таким образом, на первом уровне основные нагрузки на руководителя (работника) при формировании системы управления ресурсами связаны с:

- оценкой информационной ситуацией и перенастройки информационной системы под возможности собственных психологических, физиологических, интеллектуальных ресурсов;
- определение режима работы, исходя из возможностей собственных ресурсов, в том числе, используя командный метод работы при возрастании интенсивности нагрузки;
- перераспределением информационного потока

(пространства) по степени важности, срочности и интеллектуальным нагрузкам между сотрудниками;

- стандартизацией методов работы по обработке информации, исходя из возможностей и особенностей фенотипических и профессиональных собственных ресурсов;
- эргономическими характеристиками рабочего места.

На втором уровне руководителем координируется деятельность по:

- взаимодействию фенотипическими и профессиональными ресурсами персонала структурного подразделением (определение задания, анализ результатов, координация взаимодействия персонала);
- эффективному использованию материальными и энергетическими ресурсами оборудования в рабочей среде, своевременное их обслуживание, ремонт.

Результаты. Увеличение производительности труда возможно не только за счет увеличения нагрузки на физиологический ресурс, но и улучшения эргономических характеристик рабочего места. Виртуально эргономику рабочего места можно выразить через соответствующий показатель $N_{\text{эрг}}$.

Физиологический ресурс работника обеспечивает функциональное взаимодействие различных физиологических систем организма. Он включает в себя:

- запас, реализуемый в пределах допороговых возможностей организма работника, который восстанавливается после регламентируемого перерыва;
- резерв, который может раскрыться в условиях напряженного и ответственного трудового процесса (т.е. работ в условиях повышенных энергозатрат, сверхурочных работ).

Значением интеграла функции потенциала физиологического ресурса (количественным его выражением) является объем физической работы, который работник способен выполнить в течение заданного времени.

Необходимый потенциал ресурса (ΔR) – это разность между возможностями $R_{\text{возм}}$ и потребностями $R_{\text{потр}}$ в данном виде ресурса, который необходим для обеспечения трудового процесса.

$$\Delta R = R_{\text{возм}} - R_{\text{потр}} \quad (3)$$

где (ΔR) потенциал ресурса работника, соответствует объему выполняемого задания $V_{\text{раб}}$.

$$\Delta R = V_{\text{раб}} \cdot \quad (4)$$

Так как объем предполагаемых работ зависит от производительности труда ($P_{\text{мп}}$) и времени выполнения работ ($V_{\text{раб}} = P_{\text{мп}} \cdot t$), то разность потенциалов субъекта возникает:

- между наличием собственных ресурсов и потребностью ресурсов системы;
- между наличием собственных ресурсов и запросом системой ресурсов субъекта и является толчком к трудовой деятельности.

Интегральная зависимость показывает изме-

нения физиологического потенциала и трудоспособности в трудовом процессе под влиянием различных факторов (флуктуаций) [10, 16, 17].

$$\Delta R_{\text{физ}} = \int_t \frac{\partial V_{\text{раб}}}{\partial t} dt = \int_t P_{\text{мп}}(t) dt, \quad (5)$$

Обсуждение. Физиологический потенциал является доминирующим в управленческой деятельности, в том числе при управлении движением судна и имеет свои особенности:

- несение вахты в ходовой рубке предполагает круглосуточный режим работы и работы посменно;
- напряженный режим работы, особенно в районах интенсивного судоходства, при прохождении узкостей, при движении в порту;
- величина физиологического ресурса и, соответственно, физиологический потенциал имеют тенденцию снижаться с увеличением возраста работника.

Кроме того, на рабочем месте на работника, использующего установленные средства труда, влияют параметры микроклимата, поля, различного вида излучения, шум, вибрация и т.п., а также используемое оборудование, связанное с технологическим процессом.

Для повышения эффективности выполняемой работы существенную роль играют эргономические характеристики рабочего места и существующие условия рабочей среды.

Эргономика рабочего места, микроклимат способствует снижению тяжести и напряженности трудовой деятельности работника, руководителя [18, 19, 20].

Эргономика рабочего места в системе управления ресурсами работника имеет определенные цели:

- 1) оптимизация моторной динамики средствами труда, в том числе приборами управления автоматизированных рабочих мест;
- 2) сокращение времени реакции на изменение обстановки;
- 3) сохранение в течение рабочей смены определенного ритма работы;
- 4) снижение нагрузки на работника, члена экипажа судна при выполнении ими работ.

Выводы. Основным принципом построения системы управления на предприятии должно быть четкое разделение функций по управлению системой охраны труда, разделение ответственности, а также налажен контроль за выполнением требований по безопасности. Исходя из данного принципа, должна быть определена «степень свободы» и «степень ответственности» каждого звена управления.

Обоснование алгоритма построения системы управления в сфере охраны труда:

- проведено на основе ресурсно-энтропийного подхода;
- учитывает вероятностный прогноз влияния «человеческого фактора» на возникновение потен-

циальных рисков в трудовом процессе;

- основывается на результатах обработки статистических данных о ранее произошедших событиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мескон, М.Х. Основы менеджмента: учебное пособие / М.Х. Мескон. – М.: Дело, 2002. – 290 с.
2. ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования (введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 10.07.2007 N 169-ст). (ред. от 31.10.2013) https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_135558/ Текст электронный (дата обращения 10.05.2023).
3. Кляйн А. Техника безопасности как корпоративная культура / А. Кляйн // Портал машиностроения Опубликовано: 10 октября 2005 г <http://www.mashportal.ru/technologies-1964.aspx> (дата обращения: 21.05.2023) – Текст: электронный.
4. Бронникова Л.В., Ефремов С.В. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в судостроении: учеб. Пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2020. – 130 с.
5. ФСТЗ Приказ от 21 марта 2019 г. N 77. Методические рекомендации по проверке создания и обеспечения функционирования системы управления охраной труда.
6. Система управления охраной труда в организации (СУОТ). URL: <https://otot.ru/blog/t4/> – Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).
7. ТехноПрогресс URL: <https://tehnoprogress.ru/celi-sistemy-upravleniya-ohranoy-truda/> – Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).
8. Алексеев В.А. Академия подготовки главных специалистов. Курс дополнительного профессионального образования в сфере охраны и безопасности труда: on-line обучение/ URL: https://specialitet.ru/lekcii/tb/lekcyy_modul_5_vopros_4.pdf Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).
9. Романов А.И. Ресурсно-энтропийный подход безопасности труда. / А.И. Романов / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) / 2015 – № S7. – Основные публ. по теме: с 280-286.
10. Романов А.И. Ресурсно-энтропийная концепция безопасности труда: монография / А.И. Романов – СПб.: Издательство СПбГМТУ, 2021. – 205 с. – ISBN: 978-5-88303-629-2.
11. Романов А.И. Ресурсно-диссипативный подход в безопасности труда. / А.И. Романов / Материалы II Международной научно-практической конференции. СПб ГАСУ – Основные публ. по теме: С. 22-26. – Текст: непосредственный.
12. ГОСТ Р 12.0.007-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию <https://docs.cntd.ru/document/1200071037>. Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).
13. Бронникова Л.В., Бокатов А.Ю., Романов А.И. Охрана труда в судостроении: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2023. – 203 с. ISBN 978-5-88303-652-0.
14. Романов А.И. Модель циклического использования ресурсов в в трудовом процессе. / А.И. Романов / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. – 2016. – №5. – С. 83-89.
15. Aleksander Romanov, Liliya Bronnikova Ergodynamic model "man-machine-environment" in shipbuilding / A. Romanov, L. Bronnikova / X International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2022 Transportation Research Procedia 63 (2022) 2047-2052. Текст: непосредственный.
16. Бутиков Е.И. Физика. В 3-х кн. Кн. 1. Механика. / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев – М.: Физматлит, 2004. – 352 с. ISBN: 978-5-9221-0107-3 - Текст: непосредственный.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник / Е.С. Вентцель – М.: КНОРУС, 2010. – 664 с. – ISBN: 978-5-4060-0476-0. Текст: непосредственный.
18. ГОСТ Р 56274-2014 Общие показатели и требования в эргономике https://allgosts.ru/11/180/gost_r_56274-2014 .Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).

19. ГОСТ Р ИСО 6385-2007 Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем от 27 декабря 2007 – docs.cntd.ru / – Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).

20. ГОСТ Р ЕН 614-1-2003 Безопасность оборудования. Эргономические принципы конструирования. Часть 1. Термины, определения и общие принципы М.: Стандартинформ, 2020 – docs.cntd.ru. / – Текст: электронный (дата обращения: 10.05.2023).

Статья поступила в редакцию 20.05.2023

Статья принята к публикации 16.06.2023