

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

ПЛЮС



2023

№3(63) т.12



технические науки



XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

Редакционная коллегия:

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

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

Основан в 2011 г.

18+

Том 12
№ 3 (63)
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 19.09.2023.

Выход в свет 26.09.2023.

Формат 60X84 1/8

Печать ризография.

Усл. печ. л. 26,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 205.

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

АНАЛИЗ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ Додонова Евгения Александровна, Головнин Олег Константинович, Иващенко Антон Владимирович....	10
КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ОБЛАСТИ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ – ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД Котова Елена Евгеньевна.....	16
ПРИНЯТИЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ И РИСКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА Прокофьев Олег Владимирович.....	26
АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В АЭРОПОРТУ Степанов Павел Викторович.....	32
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ОТВЕТОВ НА ПРОЕКТИВНЫЕ МЕТОДИКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТА РОРШАХА Мартышкин Алексей Иванович, Григорьева Дарья Дмитриевна, Серов Даниил Валерьевич, Сорокин Дмитрий Сергеевич.....	42
МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ МОЛОЧНОГО СТАДА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА Амбросенко Николай Дмитриевич, Титовский Сергей Николаевич, Калитина Вера Владимировна, Титовская Наталья Викторовна.....	50
ПОКАЗАТЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ Грачев Михаил Иванович.....	57
МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОЛИЧЕСТВА БПЛА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИ ОПАСНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ Куватов Валерий Ильич, Кубенин Николай Александрович, Таранцев Александр Алексеевич, Колеров Дмитрий Алексеевич.....	66
МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТГРУЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУФЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ КОМБИНАТА Алмунтафеки Асель Фарис Марзуг.....	72
МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ Костин Алексей Владимирович, Гучкин Илья Игоревич.....	79
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ Якимов Егор Петрович.....	85

МЕТОД УСТРАНЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ	
Костров Борис Васильевич, Вьюгина Ангелина Алексеевна, Баранова Светлана Николаевна.....	93
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ЗАДАЧЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СВЯЗЫВАНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК	
Никифоров Михаил Борисович, Тарасов Андрей Сергеевич.....	100
ПРОГРАММИРУЕМЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА	
Чулков Валерий Александрович.....	106
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПО МЕТОДИКЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА	
Богданов Андрей Владимирович, Филиппов Александр Николаевич.....	112
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР	
Фролова Нина Анатольевна.....	116
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ КОНСТРУИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНА СЛУХА ГОРНОРАБОЧИХ	
Рудаков Марат Леонидович, Куклин Денис Александрович, Курьеров Николай Николаевич, Дука Никита Евгеньевич.....	120
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА МОТИВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ СОБЛЮДЕНИЯ РАБОТНИКАМИ ПРАВИЛ ОХРАНЫ ТРУДА	
Сомова Юлия Васильевна, Свиридова Татьяна Валерьевна.....	127
О ПРИМЕНЕНИИ ВОДЯНЫХ СИСТЕМ СДЕРЖИВАНИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ	
Танклевский Леонид Тимофеевич, Таранцев Александр Алексеевич, Бондар Александр Иванович, Балабанов Иван Дмитриевич.....	134
МЕТОДИКА БАЛЛЬНО-ФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ИНИЦИИРУЮЩИХ ПОЖАРООПАСНЫЕ СИТУАЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ НАДЗЕМНЫХ ЕМКОСТЕЙ АГЗС	
Орловский Пётр Сергеевич, Бызов Антон Прокопьевич, Андреев Андрей Викторович.....	141
СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ ПО МЕТОДИКЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА	
Богданов Андрей Владимирович, Филиппов Александр Николаевич, Млоток Алексей Владимирович.....	147
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА РАБОТНИКОВ ХОЗЯЙСТВА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
Чаплыгин Владимир Сергеевич.....	151
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПЛАЗМЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОЛУОЛА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ	
Фролова Нина Анатольевна.....	156

СНИЖЕНИЕ ТРАВМАТИЗМА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ РАБОТНИКОВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ РАБОТЫ НА ВЫСОТЕ	
Субботина Надежда Андреевна.....	160
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ	
Сомова Юлия Васильевна, Лимарев Александр Сергеевич, Соколова Эльвира Илдаровна.....	167

CONTENT

*INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING***ACTIVITY NETWORK SCHEDULING ANALYSIS IN THE DIGITAL ORGANIZATION MANAGEMENT**

Dodonova Evgeniya Aleksandrovna, Golovnin Oleg Konstantinovich, Ivaschenko Anton Vladimirovich.....10

CONCEPTUALIZATION OF STUDENTS' ACTIVITY KEY INDICATORS IN THE FIELD OF SOFT SKILLS – THE ONTOLOGICAL APPROACH

Kotova Elena Evgenievna.....16

RESPONSIBLE DECISION-MAKING AND THE RISKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Prokofiev Oleg Vladimirovich.....26

ALGORITHMS FOR THE FUNCTIONING OF AN INTELLIGENT TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS AT THE AIRPORT

Stepanov Pavel Viktorovich.....32

ANALYSIS RESPONSES TO PROJECTIVE TECHNIQUES OF PSYCHOLOGICAL TESTING WITH USING NEURAL NETWORKS ON THE EXAMPLE OF THE RORSCHACH TEST

Martyshkin Alexey Ivanovich, Grigoreva Daria Dmitrievna, Serov Daniil Valerevich, Sorokin Dmitrii Sergeevich.....42

MODEL OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING THE STRUCTURE OF A DAIRY HERD OF CATTLE

Ambrosenko Nikolai Dmitrievich, Titovskii Sergei Nikolaevich, Kalitina Vera Vladimirovna, Titovskaia Natalia Viktorovna.....50

SIMULATION MODEL OF EDUCATIONAL MANAGEMENT ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION

Grachev Mikhail Ivanovich.....57

MANAGEMENT DECISION SUPPORT MODEL FOR SUBSTANTIATING THE NUMBER OF UAVS FOR DETECTING TERRORIST DANGEROUS OFFSHORE OBJECTS

Kuvatov Valery Ilyich, Kubenin Nikolai Alexandrovich, Tarantsev Alexander Alekseevich, Kolerov Dmitry Alekseevich.....66

MODELING OF FINISHED PRODUCTION SHIPMENT RISK BASED ON OPTIMIZING THE PERFORMANCE PARAMETERS OF BUFFER CAPACITIES OF THE PLANT INDUSTRIAL SITE

Almuntafeky Aseel Faris Marzoog.....72

MODEL FOR PREDICTION OF ACCIDENTS ON WATER BODIES THROUGH THE CHARACTERISTIC FUNCTION OF STATISTICAL DENSIT

Kostin Aleksey Vladimirovich, Guchkin Ilya Igorevich.....79

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETERMINE THE INTERACTING WELLS OF AN OIL FIELD

Yakimov Egor Petrovich.....85

THE METHOD FOR ELIMINATING DISTORTIONS IN IMAGES PRESENTED AS BIT PLANES

Kostrov Boris Vasilyevich, Vyugina Angelina Alekseevna, Baranova Svetlana Nikolaevna.....93

STUDY OF HEURISTIC APPROACHES IN THE PROBLEM OF OBJECT TRACKING BASED ON SINGULAR POINT RELATION Nikiforov Mikhail Borisovich, Tarasov Andrey Sergeevich.....	100
PROGRAMMABLE DELAY DEVICES BASED ON RING OSCILLATOR Chulkov Valery Alexandrovich.....	106
<i>TECHNOSPHERE SAFETY</i>	
ECONOMIC EVALUATION OF OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT VIA THE METHOD OF INTEGRAL ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS Bogdanov Andrey Vladimirovich, Filippov Alexander Nikolaevich.....	112
MORPHOLOGICAL FEATURES OF BEHAVIOR THERMAL INSULATION MATERIALS WHEN EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES Frolova Nina Anatolyevna.....	116
EXPERIMENTAL STUDY OF SOUND-ABSORBING PROPERTIES OF MATERIALS IN ORDER TO DESIGN PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR THE HEARING ORGAN OF MINERS Rudakov Marat Leonidovich, Kuklin Denis Alexandrovich, Kuryerov Nikolay Nikolaevich, Duka Nikita Evgeniovich.....	120
INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM THROUGH THE CREATION OF A COMPLEX OF MOTIVATIONAL SOLUTIONS FOR COMPLIANCE WITH THE RULES OF LABOR PROTECTION BY EMPLOYEES Somova Yuliya Vasilievna, Sviridova Tatyana Valerievna.....	127
ABOUT THE USE OF WATER FIRE CONTAINMENT SYSTEMS IN THE ROOM Tanklevsky Leonid Timofeevich, Tarantsev Alexander Alekseevich, Bondar Alexander Ivanovich, Balabanov Ivan Dmitrievich.....	134
METHOD FOR SCORE-FACTOR EVALUATION OF THE FREQUENCY OF FIRE HAZARDOUS SITUATIONS INITIATED FOR ABOVE-GROUND RESERVOIRS OF GFS Orlovsky Piotr Sergeevich, Byzov Anton Prokop'evich, Andreev Andrey Viktorovich.....	141
COMPARISON OF THE RESULTS OF THE OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT OF EMPLOYEES VIA THE METHOD OF INTEGRAL ASSESSMENT AND A SPECIAL ASSESSMENT OF LABOR CONDITIONS Bogdanov Andrey Vladimirovich, Filippov Alexander Nikolaevich, Mlotok Aleksey Vladimirovich.....	147
THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING OCCUPATIONAL RISKS, TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR OF EMPLOYEES OF THE ELECTRIFICATION AND POWER SUPPLY FACILITIES Chaplygin Vladimir Sergeevich.....	151
PROSPECTS FOR USING A MODIFIED PLASMA CATALYST FOR REDUCING THE CONTENT OF TOLUENE IN THE AIR ENVIRONMENT Frolova Nina Anatolyevna.....	156
REDUCING INJURIES AT THE CONSTRUCTION SITE ON THE BASIS OF IMPROVING THE MODEL OF SAFE BEHAVIOR OF WORKERS PERFORMING WORK AT HEIGHT Subbotina Nadezhda Andreevna.....	160

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING AND WAYS
TO REDUCE OCCUPATIONAL RISK AT FACILITIES**

Somova Yuliya Vasilievna, Limarev Aleksandr Sergeevich, Sokolova Elvira Ildarovna.....167

УДК 004.9

EDN: ВУЕСМУ

АНАЛИЗ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

© Авторы 2023

SPIN: 6273-6087

AuthorID: 1163069

ORCID: 0000-0001-7716-4458

ScopusID: 57220203775

ДОДОНОВА Евгения Александровна, аналитик

ООО «Открытый код»

(443001, Россия, Самара, ул. Ярмарочная, 55, e-mail: dodonova.evg@gmail.com)

SPIN: 8845-6757

AuthorID: 736248

ORCID: 0000-0002-1418-2226

ScopusID: 42661608400

ГОЛОВНИН Олег Константинович, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры информационных систем и технологий

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

(443086, Россия, Самара, Московское шоссе, 34, e-mail: golovnin@bk.ru)

SPIN: 3707-6260

AuthorID: 330112

ORCID: 0000-0001-7766-3011

ScopusID: 57195617505

ИВАЩЕНКО Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор,

директор Передовой медицинской инженерной школы

Самарский государственный медицинский университет

(443099, Россия, Самара, ул. Чапаевская, 89, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com)

Аннотация. В статье описана модель и реализация цифровой платформы интегрального мониторинга календарно-сетевых графиков (КСГ), предназначенных для расширения функциональных возможностей автоматизированной системы планирования деятельности предприятия с матричной организационной системой управления. Данное решение предназначено для крупных предприятий и холдингов с высокой автономностью подразделений и широким внедрением проектной деятельности. Предложено реализовать мониторинг и контроль экспертной проверки календарно-сетевых графиков по косвенным признакам в результате автоматизированного поиска технических и существенных ошибок. Такой подход позволяет применять аналитические инструменты анализа эффективности проектов и управления рисками в условиях неопределенности. Реализация решения в цифровой системе управления организацией позволяет своевременно идентифицировать угрозы и ошибки, причиной которых может быть человеческий фактор, недостаток информации или рассогласование позиций руководства подразделений. Автоматический мониторинг таких рассогласований повышает эффективность управления рисками и обеспечивает своевременную поддержку принятия решений должностных лиц при матричной системе организационного управления.

Ключевые слова: цифровая трансформация, календарно-сетевое планирование, базы знаний, онтологии, поддержка принятия решений.

ACTIVITY NETWORK SCHEDULING ANALYSIS IN THE DIGITAL ORGANIZATION MANAGEMENT

© The Authors 2023

DODONOVA Evgeniya Aleksandrovna, analyst

SEC "Open code"

(443001, Russia, Samara, Yarmarochnaya st., 55, e-mail: dodonova.evg@gmail.com)

GOLOVNIN Oleg Konstantinovich, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor at information systems and technologies department

Samara National Research University

(443086, Russia, Samara, Moskovskoye shosse, 34, e-mail: golovnin@bk.ru)

IVASCHENKO Anton Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor,

director of the higher school of medical engineering

Samara State Medical University

(443099, Russia, Samara, Chapayevskaya st., 89, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com)

Abstract. The paper presents the model and implementation of a digital platform for integrated monitoring of cal-

endar-network schedules, designed to extend the functionality of an automated enterprise planning system with a matrix organizational management system. This solution is intended for large enterprises and holdings with high autonomy of subdivisions and widespread implementation of project activities. It is proposed to implement monitoring and control of expert verification of calendar-network schedules by indirect signs as a result of an automated search for technical and essential issues. This approach allows the use of analytical tools for analyzing the effectiveness of projects and risk management in conditions of uncertainty. The implementation of the solution in the digital management system of the organization makes it possible to identify threats and errors in a timely manner, the cause of which may be the human factor, lack of information or mismatch between the positions of the management. Automatic monitoring of such discrepancies increases the efficiency of risk management and provides timely support for decision-making by officials in the matrix organizational system.

Keywords: digital transformation, scheduling and network planning, knowledge bases, ontologies, decision-making support.

Для цитирования: Додонова Е.А. Анализ календарно-сетевых графиков в цифровой системе управления организацией / Е.А. Додонова, О.К. Головнин, А.В. Иващенко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 10-15. – EDN: BYECMU.

Введение. Проект является одним из наиболее распространенных концепций управленческой деятельности; грамотное ведение проектов позволяет достигать заданные цели в известных ограничениях. Чаще всего, ведение проектов связано с поиском баланса между объемом работы, стоимостью, временем и качеством [1-4]. Основным инструментом управления в этом случае является план или график выполнения проекта, в котором отражено содержание и границы проекта, распределение ресурсов по работам, ключевые вехи, плановый бюджет и т.п. Построение эффективного плана выполнения проекта является сложной задачей, для решения которой применяются алгоритмы и методики структуризации работ и сетевого планирования [5-8].

Деятельность по управлению проектами тесно связана с построением, мониторингом и анализом плана работы, формализуемого обычно в виде календарно-сетевого графика. Календарно-сетевой график (КСГ) – это динамическая модель процесса реализации проекта, отражающая последовательность выполнения комплекса работ с учетом их сроков, объема, необходимых ресурсов, стоимости и возможных рисков [9-12]. КСГ применяются в различных областях проектной деятельности: например, промышленное и гражданское строительство, нефтехимическая, энергетическая, транспортная отрасли и др. Процесс построения и мониторинга КСГ нацелен на своевременное обеспечение задач ресурсами в нужном объеме, организацию взаимодействия между исполнителями, борьбу с простоем и перерасходом ресурсов, повышение эффективности их использования и т.п.

Результативное использование КСГ на практике предполагает организацию коллективной работы с ними на всех уровнях управления. Оперативное планирование включает анализ и корректировку КСГ для обработки возникающих отклонений, в том числе в виде привлечения дополнительных ресурсов и формирования нагонных графиков. Исполнение требует обновление информации о фактическом выполнении работ. Стратегическое

планирование состоит в мониторинге и контроле выполнения ключевых вех и требований. Наиболее сложна организация коллективного согласования КСГ для инновационных проектов при матричной организационной структуре, которые характеризует высокая изменчивость и неопределенность [13-16].

Учитывая разный масштаб принятия решений, участникам данного процесса необходим дополнительный инструмент автоматизированного анализа КСГ, который бы не повторял оптимизационный алгоритм, но проверял построенные графики на корректность по косвенным признакам. Такой подход позволяет применять аналитические инструменты анализа эффективности проектов и управления рисками в условиях неопределенности [17, 18]. Для проверки могут использоваться определенные заранее эвристики, а также шаблоны как правильных, так и некорректных фрагментов графика. В последнем случае возникает задача автоматизированного поиска заданных шаблонов в исходном КСГ для идентификации повышенного риска или ошибочных решений.

Методология. Рассмотрим обобщенное представление КСГ для абстрактного проекта, требующего взаимодействия на стратегическом и оперативном уровнях. С учетом современных тенденций проектного управления [19, 20] можно выделить четыре уровня детализации:

1. График, содержащий ключевые вехи и основные проектные дисциплины. Позволяет укрупненно оценить сроки и стоимость выполнения проекта;
2. График, содержащий основные этапы и объекты проекта. Позволяет осуществлять планирование и контроль сроков достижения ключевых вех, а также производить мероприятия по согласованию проекта;
3. График, содержащий укрупненные работы отдельных участков объекта. Разрабатывается на основании созданной проектной документации и заключенных договоров;
4. График, содержащий детализированные работы с ресурсным наполнением, отражающие технологию строительства. Позволяет осуществлять пла-

нирование и контроль выполнения физических объемов работ и использования ресурсов.

Рассмотрим проект $p_{i,j}, j = 1 \dots N_p$, выполняемый подразделением $d_{i,i} = 1 \dots N_d$ с бюджетом $C_{i,j}$.

Структура проекта раскрывается вехами $g_{i,j,n}$ и запланированными работами $w_{i,j,m}$:

$$g_{i,j,n} = g_{i,j,n}(d_i, p_{i,j}, t_{i,j,n}, s'_{i,j,n}) = \{0,1\},$$

$$w_{i,j,m} = w_{i,j,m}(d_i, p_{i,j}, t_{i,j,m}^{нач}, \Delta t_{i,j,m}, c_{i,j,m}, s_{i,j,m}) = \{0,1\}, \quad (1)$$

где $t_{i,j,n}$ – время достижение вехи, $s'_{i,j,n}$ – статус достижения, $\{0,1\}$ – состояние запланировано/выполнено.

$t_{i,j,n}^{нач}$ – время начала работы, $t_{i,j,n}$ – продолжительность работы, $c_{i,j,m}$ – стоимость выполнения работы, отражающая ее трудоемкость, $s_{i,j,n}$ – статус работы.

Для последовательностей взаимосвязанных работ также задают цепочки:

$$\Psi_{i,j,m,n} = \Psi_{i,j,m,n}(w_{i,j,m}, g_{i,j,n}) = \{0,1\},$$

$$\Phi_{i,j,m_1,m_2} = \Phi_{i,j,m_1,m_2}(w_{i,j,m_1}, w_{i,j,m_2}) = \{0,1\}. \quad (2)$$

Такая обобщенная модель позволяет сформулировать основные правила экспертной проверки КСГ на содержание технических и существенных ошибок. Например, даты начала и окончания должны соответствовать заданному шаблону описания, а также дата окончания этапа не должна быть ранее даты начала, для работ с датой окончания этапа старше даты предыдущего периода должна стоять отметка «Выполнено», и т.п.

Наиболее простые проверки можно представить в следующем виде.

Отсутствие нарушений сроков по вехам:

$$\sum_{i,j} \sum_m \sum_n g_{i,j,n} \cdot w_{i,j,m} \cdot \Psi_{i,j,m,n} \cdot \delta(t_{i,j,m}^{нач} + \Delta t_{i,j,m} > t_{i,j,n}) \rightarrow 0, \quad (3)$$

где $\delta(x) = \begin{cases} 1, & x = true, \\ 0, & x = false. \end{cases}$

Отсутствие противоречий по срокам:

$$\sum_{i,j} \sum_{m_1} \sum_{m_2} w_{i,j,m_1} \cdot w_{i,j,m_2} \cdot \Phi_{i,j,m_1,m_2} \cdot \delta(t_{i,j,m_1}^{нач} + \Delta t_{i,j,m_1} > t_{i,j,m_2}^{нач}) \rightarrow 0. \quad (4)$$

Выполнение бюджета:

$$\sum_{i,j} \delta\left(\sum_m w_{i,j,m} \cdot c_{i,j,m} > C_{i,j}\right) \rightarrow 0. \quad (5)$$

Встраивание автоматических проверок КСГ в общий бизнес-процесс организации при реализации проектного управления производится следующим образом.

Началом работы по созданию КСГ является получение исходных данных от подразделений. Обычно на этом уровне качество предоставляемых данных не всегда является хорошим, что в свою очередь увеличивает время разработки КСГ за счет дополнительных проверок массивов исходных данных и исправлений ошибок. Перенос исходных данных в разрабатываемый КСГ также не лишен возможности появления ошибок. К тому же составление КСГ необходимо проводить с учетом требований, установленных в организациях. Например, определить, какие этапы должны формироваться, какова структура декомпозиции работ, как должны составляться

отчетные формы и т.п.

Таким образом, можно представить процесс работы по составлению КСГ следующим образом. Подразделение отправляет составителю КСГ исходные данные. Составитель проверяет данные исходного графика. На основе найденных несоответствий составляется отчет и отправляется подразделению – составителю исходных данных. После исправления всех замечаний исходные данные посылаются вновь. Если исходные данные не содержат ошибок, то по ним составляется КСГ. После чего происходит проверка данных составленного КСГ. Данная проверка осуществляется по двум направлениям: на соответствие критериям установленного на предприятии регламента и на соответствие исходным данным. В результате проверки составляется отчет с найденными ошибками. После исправления всех замечаний КСГ снова проверяется и утверждается. На основании этого графика будут подписаны соглашения с подрядными организациями.

Для уменьшения времени на разработку КСГ нужна система, способная проводить проверки присланных данных и составленных КСГ, автоматически формировать отчеты со всеми выявленными несоответствиями, а также вести статистику по всем графикам.

Результаты. На основании предложенной модели было разработано программное обеспечение Цифровой платформы интегрального мониторинга календарно сетевых графиков (далее ЦПИМ КСГ, рис. 1).

Данная система позволяет:

- осуществлять загрузку в систему шаблонов, исходных данных в виде графиков и КСГ;
- редактировать справочники;
- сравнивать КСГ с шаблоном и исходным графикам по выделенным критериям;
- выделять некорректно указанные значения в графиках;
- формировать отчет о найденных ошибках;
- визуализировать данные на дашбордах.

ЦПИМ КСГ анализирует исходные данные в виде графиков в форматах *xml*, *xls*, *xlsx*, а также полученные на их основе КСГ в форматах *mpp*, *xml*. Результаты сравнения отображаются пользователю следующим образом:

1. Цветовое выделение ячеек/строк, имеющих некорректные значения в системе;
2. Отображение списка замечаний в рамках бокового меню системы с возможностью формирования выходной формы в форматах *pdf*, *docx* со списком замечаний и скриншотами некорректных данных.

На основе проанализированных графиков строится панель со статистической информацией по количеству проектов, их законтрактованному объему, количеству загруженных в систему исходных данных и КСГ, распределенных по филиалам и проектным офисам, ответственных за их составление,

по заключенным контрактам на их реализацию и периодом составления.

Реализация системы выполнена по модульному принципу. Модуль составления КСГ представляет собой полноценный редактор *mpr* файлов и обеспечивает реализацию следующих функциональных возможностей:

– формирование файлов формата *mpr*;

– редактирование значений в строках загруженного файла формата *mpr*;

– разработка планов;

– распределение ресурсов по задачам;

– отслеживание прогресса и анализ объемов работ;

– генерация расписания критического пути (СРМ);

– динамический учет используемых ресурсов;

– визуализация в диаграмме Гантта.



Рисунок 1 – Пример анализа КСГ (несовпадение по срокам и несовпадение по названию)

Модуль проверки КСГ всех уровней осуществляет:

- загрузку в систему файлов формата *mpr*;
- сбор данных из загруженных файлов;
- проверку загруженных файлов по критериям;
- перепроверку файлов после изменения редактирования значений в строках загруженного файла;
- редактор критериев для проверки.

Модуль автоматической корректировки КСГ по несоответствиям шаблонам и исходным данным осуществляет изменение значений в загруженном *mpr*-файле в соответствии с полученными рекомендациями, если изменение имеет однозначное толкование. Корректировка может происходить как по всем возможным рекомендациям сразу, так и по отдельно выбранным пунктам. Для каждого уровня КСГ должны быть прописаны свои группы критериев, которые система может автоматически корректировать.

Модуль формирования когнитивного КСГ производит автоматизированное создание *mpr* файлов на основании загруженных в систему исходных данных и правил, описывающих структуру формируемых графиков, с помощью технологий текстопонимания и искусственного интеллекта. Данный модуль содержит элементы системы поддержки принятия решений для помощи в распределении ресурсов и планировании задач.

Модуль формирования аналитической отчётности

и СМГ на основе КСГ всех уровней осуществляет:

– создание отчетов о найденных в файлах ошибках в формате *docx*, *xlsx* и *pdf*;

– формирование графиков по загруженным файлам и заранее описанным показателям готовности для их дальнейшей вставки в отчет;

– создание таблиц в формате *xlsx* со статистической информацией: суточно-месячного графика, отчета по исполнению суточно-месячного графика, ежедневной сводки, перечня видов работ, применяемых в сводной отчетности для объектов наземного строительства, сводки о ходе выполнения строительно-монтажных работ на линейных объектах строительства, информации о наличии технико-людских ресурсов на объекте строительства

Обсуждение. Задача календарно-сетевое планирования традиционно занимает особое место в управлении проектами в силу своей важности и сложности. При составлении календарно-сетевых графиков часто необходимо учитывать множество влияющих факторов, а повышение эффективности распределения временных, кадровых и финансовых ресурсов требует решения задачи многокритериальной оптимизации. Решение этой задачи, однако, в настоящее время достаточно хорошо автоматизируется, а применение современных алгоритмов планирования позволяет быстро строить эффективные планы и перестраивать их при изме-

нении обстановки для того, чтобы компенсировать задержки и обеспечивать выполнение проектов в срок.

Вместе с тем, современная организационная система представляет собой распределенную матричную структуру, в которой проекты выполняются разными, часто автономно функционирующими подразделениями. В матричной организационной системе сложно выделить единый центр принятия решений, который бы взял на себя функцию централизованного планирования и распределения ресурсов. В связи с этим, решение задачи оптимизации их загрузки усложняется.

Частичным решением является внедрение систем распределенного принятия решений, например, мультиагентных. В этом случае разные подразделения самостоятельно планируют свою загрузку, согласовывая ее друг с другом в ходе информационного взаимодействия, например, в рамках так называемого виртуального круглого стола. Общее руководство в этом случае берет на себя лишь функции мониторинга и контроля и передает ответственность за оперативные решения по загрузке ресурсов на нижний уровень управления. Закономерным следствием такого решения является потеря информированности, так как, во-первых, центр управления перестает получать полный объем информации, а во-вторых, становится не в состоянии дублировать логические рассуждения подразделений, производимые ими при планировании ресурсов.

В таких условиях центр может сосредоточиться лишь на мониторинге лишь основных вех проекта и ключевых показателей эффективности. Действительно, при высокой автономности подразделений, стратегическое управление может сосредоточиться лишь на программно-целевом планировании, контролируя только существенные отклонения от стратегической программы развития. Однако при этом нельзя реализовать полноценное управление рисками, а возможности по формированию эффективных управленческих воздействий существенно ограничиваются. Центр сосредотачивается лишь на надзорных функциях, теряя возможности по своевременной корректировке планов и предупреждения ошибок, вызванных рассогласованием подразделений.

Решением этой проблемы является использования эвристик, позволяющих реализовать мониторинг и контроль по косвенным признакам. Предложенная модель представления и анализа календарно-сетевых графиков в цифровой системе управления организацией позволяет своевременно идентифицировать угрозы и ошибки, причиной которых может быть человеческий фактор, недостаток информации или рассогласование позиций руководства подразделений. Автоматический мониторинг таких рассогласований повышает эффективность управления рисками и

обеспечивает своевременную поддержку принятия решений должностных лиц при матричной системе организационного управления.

Выводы. Предложенная в статье модель и реализация цифровой платформы интегрального мониторинга календарно сетевых графиков позволяет дополнить автоматизированную систему планирования деятельности предприятия полезными возможностями по мониторингу и контролю взаимодействия подразделений. Данное решение предназначено для крупных предприятий и холдингов, реализующих матричную систему организационного управления с высокой автономностью подразделений и широким внедрением проектной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Минкевич А., Дерцап С. Проджект-менеджмент. Как быть профессионалом. – М: Альпина Паблишер, 2020. – 232 с.
2. Боронина Л.Н., Сенук З.В. Основы управления проектами. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 112 с.
3. Wanqing S., Chenyang Z., Siyao Q. Project Management // Control and Systems Engineering, 1(1). – 2017. – P. 22-29.
4. Radujkovic M., Sjekavica M. Project management success factor // Procedia Engineering, 196. – 2017. – P. 607-615.
5. Долгова Ю.И. Сетевое планирование и управление на предприятии // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2015. – № 3. – С. 56-64.
6. Кузнецов А.Л. Матричный метод поиска путей на взвешенных ориентированных графах в задачах сетевого планирования при проектировании и эксплуатации морских портов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – №. 2. – С. 230-238.
7. Бурков В.Н., Буркова И.В., Засканов В.Г. Метод сетевого программирования в задачах календарного планирования // Автоматика и телемеханика. № 6. – 2020. – С. 17-28.
8. Буркова И.В., Уандыков Б.К., Халин Ю.А. Применение метода сетевого программирования в задачах календарного планирования // Известия Юго-Западного государственного университета. – № 22(5). – 2018. – С. 119-126.
9. Воскресенская О.В. Теоретические аспекты календарно-сетевого планирования на промышленном предприятии // E-Scio. – № 10(73). – 2022. – С. 321-326.
10. Травкин К.А. Управление жизненным циклом проекта на промышленных предприятиях в условиях цифровизации // Цифровая экономика и финансы. – 2021. – С. 147-151.
11. Мошкалёв Д.С., Бахтизина А.Р. Методы и инструменты управления стоимостью строительства на предпроектном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства // Научно-технический журнал по строительству и архитектуре. – 2023. – С. 132-142.
12. Чернобродова Л.А., Ракитина Е.С. Особенности проектного управления // Управление и экономика народного хозяйства России: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 24-25 марта 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 406-410.
13. Kerzner H. From traditional to innovation project management thinking // Innovation Project Management, 2019 – P. 159-218.
14. Yordanova Z. Innovation project tool for outlining innovation projects // International Journal of Business Innovation and Research, 16, No. 1. – 2018. – P. 63-78.
15. Касацкая, В.Н. Матричная организационная структура как механизм управления / В.Н. Касацкая, Т.В. Епремян // Современные дискурсы социологической теории и практики: материалы XVIII Межвузовской очно-заочной научной конференции, Москва, 16 ноября 2021 года. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2021. – С. 14-18.
16. Авдеева Л.А., Мусабирова К.М. Совершенствование процессов управления проектами в проектных организациях

//Вестник евразийской науки. – 2016. – Т. 8. – №. 1 (32). – С. 60.

17. Шкурко, В.Е. Управление рисками проекта: Учебное пособие / В.Е. Шкурко, А.В. Гребенкин. – 2-е изд.. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 182 с.

18. Ivaschenko A.V., Chuvakov A.V., Aleksandrova M.V., Aksenov I.A. Event-based analysis of innovative behavior for student project management // AIP Conference Proceedings 2647, 040004. – 2022. – P. 1-6.

19. Жаров Я.В. Организационно-технологическое проектирование при реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник МГСУ. – 2013. – №. 5. – С. 176-184.

20. Кузюрина Н.А. Кретова А.Ю. Инвестиционный проект на промышленном предприятии, его жизненный цикл и планирование на каждом этапе // Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования – 2019: Материалы X Международной научно-методической конференции. Том 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 326-331.

Статья поступила в редакцию 06.06.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.82

EDN: SMOLYU

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ОБЛАСТИ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ – ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

© Автор 2023

SPIN: 7210-8143

AuthorID: 100738

ORCID: 0000-0003-4565-2355

ResearcherID: R-9114-2016

ScopusID: 57144033900

КОТОВА Елена Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры автоматизации и процессов управления
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

(197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, e-mail: eekotova@gmail.com)

Аннотация. Термин «*Soft skills*» (мягкие навыки) используется на рынке труда для характеристики надпрофессиональных навыков специалиста, проявляющихся в личностных качествах и поведенческих предпочтениях. При реализации образовательных программ значительное внимание уделяется «твердым» навыкам, или «*Hard skills*», приобретаемым в результате обучения. Наряду с профессиональными компетенциями обладание «*Soft skills*» является залогом успешной трудовой деятельности и карьеры специалиста. Однако термин нуждается в конкретизации с тем, чтобы и работодатель, и соискатель вкладывали в это понятие одинаковый смысл и снимали проблемы трудоустройства выпускников учреждений профессионального образования. Это объясняет актуальность данного исследования, посвященного анализу базовых понятий «*Soft skills*» в контексте определенного направления подготовки с целью ранжирования и оценивания показателей компетентности на основе предложенной базовой интегрированной онтологической модели. Для более полного получения информации о формируемых компетенциях в рамках конкретных специальностей в онтологическую модель включены образовательные и профессиональные стандарты. Разработанная базовая интегрированная онтологическая модель может быть использована в качестве ознакомительного, консультационного материала по вопросам, касающимся *Soft skills*, их развития и оценивания.

Ключевые слова: онтология, профессиональные навыки, надпрофессиональные компетенции, *Soft skills*, начинающие специалисты, ключевые показатели деятельности.

CONCEPTUALIZATION OF STUDENTS' ACTIVITY KEY INDICATORS IN THE FIELD OF SOFT SKILLS – THE ONTOLOGICAL APPROACH

© The Author 2023

KOTOVA Elena Evgenievna, candidate of technical sciences,
associate professor, docent of the department of Automation and Control Processes
Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI"

(Russian Federation, 197022, Saint Petersburg, Professora Popova str., 5, e-mail: eekotova@gmail.com)

Abstract. The term “*Soft skills*” is used in the labor market to characterize the over-professional skills of a specialist, which are manifested in personal qualities and behavioral preferences. When implementing educational programs, considerable attention is paid to «*Hard skills*», acquired as a result of training. Along with professional competencies, the possession of “*Soft skills*” is the key to successful work and a career as a specialist. However, the term needs to be specified so that both the employer and the applicant put the same meaning into this concept and remove the employment problems of vocational education institutions graduates. This explains the relevance of the conducted research, which is devoted to the analysis of the basic concepts of “*Soft skills*” in the context of a certain area of training in order to rank and evaluate competence indicators based on the proposed basic integrated ontological model. For more complete information about the formed competencies within certain specialties, educational and professional standards are included in the ontological model. The developed basic integrated ontological model can be used as an introductory, consulting material on issues related to *Soft skills*, their development and assessment.

Keywords: ontology, professional skills, over-professional competences, *Soft skills*, beginner specialists, key performance indicators.

Для цитирования: Котова Е.Е. Концептуализация ключевых показателей деятельности обучающихся в области надпрофессиональных компетенций – онтологический подход / Е.Е. Котова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 16-25. – EDN: SMOLYU.

Введение. Ориентация выпускников на трудоустройство с учетом постоянно растущих требований со стороны работодателей является одной из задач системы профессионального образования. Ввиду ме-

няющихся критериев качества подготовки работодателем часто отмечаются недостаточные коммуникативные навыки специалистов, способность работать в команде, готовность принимать обоснованные решения и др., что снижает их конкурентные показатели. Поэтому еще в процессе подготовки необходимо определить, какие навыки должен приобрести специалист в рамках учебной программы, а какими должен овладеть вне этих рамок.

Мягкие навыки, известные в литературе как *Soft skills*, важны для личного роста, продвижения по карьерной лестнице. Специалиста высокого уровня отличает от начинающего сотрудника уверенность в принятии решений, умение генерировать выгодные организации идеи, а также готовность к наставничеству. Социальные навыки являются основным фактором, определяющим возможности трудоустройства и дальнейшей успешной карьеры. Отсутствие данных навыков может стать причиной отказа при приеме на работу, либо даже основанием увольнения.

Soft skills как совокупность надпрофессиональных компетенций высоко ценятся на современном рынке труда, их развитие важно для успешной карьеры будущего специалиста. Однако понятие мягких навыков обширно, единого критерия овладения ими не выработано, не существует также и структуры данной области знаний. Поэтому работодатели и образовательные организации часто по-разному трактуют это понятие, из-за чего уровень компетентности молодых специалистов может не соответствовать требованиям нанимающих на работу компаний. Подходы к развитию и оцениванию надпрофессиональных компетенций предполагают подробное описание предметной области с целью формирования и использования знаний по рассматриваемому вопросу.

Целью статьи является разработка интегрированной онтологии, содержащей информацию о «мягких» навыках, необходимых для специалистов, представленной средствами общепринятого языка спецификации онтологий *OWL (Web Ontology Language)*.

Для реализации цели необходимо решить задачи:

- описания и анализа групп компетенций в соответствии с образовательными стандартами;
- описания и анализа надпрофессиональных компетенций в различных профессиональных областях;
- разработки прототипа учебной онтологии;
- возможности использования созданной онтологической модели в учебном процессе вуза.

Перечисленные задачи коррелируют с целями программы «Приоритет 2030» по развитию высшего образования в России, где, в частности, отмечается: «Университеты, ставшие участниками программы, ... позволят сформировать у выпускников российских университетов навыки и умения, необходимые для их успеха на современном рынке труда и в будущем в условиях стремительного научно-технологического прогресса» [1]. Достижению цели способствуют возрастающие масштабы применения цифровых технологий в процессе обучения.

Анализ таксономии мягких навыков. Различия в сферах деятельности. Переход от индустриальной модели производства к глобальной экономике знаний, которая быстро развивается во взаимосвязи с технологиями, требует навыков, которые реагируют на динамичные и непредсказуемые модели экономического и социального развития [2].

Вопросы формирования и развития мягких навыков рассматриваются в работах как отечественных, так и зарубежных авторов. Как отмечается в публикациях, таксономия мягких навыков достаточно разнообразна, и определения или описания понятий, относящихся к *Soft skills*, довольно расплывчаты [3-5]. Например, надпрофессиональные компетенции относят к «динамичной организации деятельности, мобилизованной и регулируемой субъектом для выполнения конкретной задачи в данной ситуации» [2]. Понятие компетентности касается не только знаний и ноу-хау навыков, но также включает эксплуатацию психосоциальных ресурсов в конкретных контекстах.

Группы навыков и их составляющие представляют по-разному. Так, навыки могут быть представлены двумя группами: в виде мягких навыков, касающихся врожденных качеств (черты личности, поведенческие предпочтения) и навыков, приобретенных в процессе обучения или профессионального опыта [2]. Некоторые авторы выделяют три группы навыков. Первая группа включает базовые навыки (общение, управление информацией, мышление и решение проблем, способность идентифицировать проблемы, набор когнитивных и метакогнитивных стратегий, связанных с моделированием знаний и процессов, организацией сложных структур и логических последовательностей). Вторая группа – навыки персонального управления (демонстрировать позитивное отношение и поведение, быть ответственным, гибким, постоянно учиться, работать безопасно). Третью группу составляют навыки коллективной работы (работа с другими, участие в проектах и содействие выполнению различных задач, эмпатия и сотрудничество, переговоры, управление конфликтами) [2]. Принято разделять мягкие «нетехнические» и жесткие «технические» навыки. Мягкие «нетехнические» навыки представляют собой динамическое сочетание когнитивных, метакогнитивных, межличностных, интеллектуальных и практических способностей, а также этических ценностей, они являются дополнением жестких «технических» навыков [6]. Обучение мягким навыкам остается сложной задачей ввиду их многомерности.

В публикациях последнего времени используются такие понятия, как «навыки 21 века» [2, 7-10 и др.]. Навыки 21 века рассматриваются как аспекты приобретаемого опыта, и переплетаются со знаниями в определенной области профессионального контента и производительности.

Отмечается важность некоторых навыков обучения, необходимых в двадцать первом веке, как дополнения к знаниям предметной области. К ним относят критическое мышление, навыки общения и сотруд-

ничества, креативность и способность к инновациям. Эти мягкие навыки имеют решающее значение для учащихся, чтобы справиться с возрастающим количеством и доступностью информации в условиях технического прогресса [7].

В некоторых публикациях навыки 21 века классифицируются по трем областям с учетом таксономии когнитивных, внутриличностных и межличностных навыков и способностей [9]. Когнитивная область включает компетенции, связанные с познавательной сферой личности, мыслительными процессами, применяемыми стратегиями обучения, аналитическими способностями и др. Внутриличностная сфера касается метапознания, саморегулируемого обучения, убеждений и мотивации. Межличностная сфера включает компетенции, отражающие лидерские качества, способности к сотрудничеству, эффективному общению, командной работе, разрешению конфликтов.

Кластеры компетенций охватывают различные понятия, связанные с «всеобъемлющим ярлыком» – «навыки 21 века». Общие навыки могут быть применены к решению целого ряда задач в различном академическом или профессиональном контексте [9].

Некоторые исследователи к навыкам 21 века относят «углубленное обучение» (*deeper learning*), используя эти термины как взаимозаменяемые, подчеркивая развитие у учащихся ключевых элементов в рамках предмета и способность применять свои знания и навыки для разрешения новых проблем и ситуаций, как индивидуально, так и в сотрудничестве с другими [8]. Поскольку эти навыки не поддаются простой и строгой оценке, например, путем письменного тестирования, зачастую понятия мягких навыков стали использовать как аналоги таких понятий как опыт и компетентность [11].

В базе данных онлайн-словаря (*Collins COBUILD Advanced Learner's Dictionary*) мягкие навыки определяются как «желательные качества для определенных форм занятости, которые не зависят от приобретенных знаний: они включают здравый смысл, способность общаться с людьми, позитивный гибкий подход» (*Collins English Dictionary*), «мягкие навыки – это навыки межличностного общения, такие как умение хорошо общаться с другими людьми и работать в команде» [12].

Подчеркивается значение трудов классиков российской педагогики и психологии как «основы выбора личностных и профессиональных качеств, необходимых для формирования у учащихся», в то же время отмечается «недостаточная исследованность вопроса (мягких навыков) в современной российской педагогике» [3]. В современных психолого-педагогических исследованиях значительное внимание уделяется таким качествам, как самоорганизация [3], саморазвитие, самообучение [13]. Предлагаются методы обучения мягким навыкам, например, включающие методы и технологии организации учебного процесса [13], или посредством программы дополнительного обучения [14].

Образовательные организации используют различные названия для списков общих навыков, которые считаются ценными [9]. Чаще всего в перечень *Soft skills* включают как когнитивные, так и некогнитивные навыки, такие как критическое мышление, решение проблем, сотрудничество, эффективная коммуникация, мотивация, настойчивость, умение учиться, что важно для успеха и в образовательной, и в других сферах деятельности.

Для более упорядоченного и детального представления целесообразен онтологический подход к построению структур мягких навыков.

Методология. Методы построения онтологий знаний в различных сферах относятся к области инженерии знаний и интеллектуальных систем. Методология инженерии знаний обеспечивает формализацию, концептуальное представление и визуализацию понятийной структуры области знаний и предполагает ряд этапов построения онтологии.

Построение онтологии основывается на классическом определении онтологии Т. Грубера: "*An ontology is an explicit specification of a conceptualization*", где онтология определяется как «эксплицитная спецификация концептуализации», которая, в свою очередь, представляет собой «объекты, концепции и другие объекты, которые предположительно существуют в какой-либо области интересов, и отношения между ними» [15, 16]. Онтологии, визуально представляющие иерархические концептуальные структуры, являются «ведущей парадигмой структурирования информационного контента» [17]. Использование принципов связывания данных позволяет создавать сеть научных данных, отражая их структуру и семантику [18]. Приложения, построенные на распределенных связанных данных, дают возможность осуществлять обработку данных из различных источников.

На первом этапе необходимо определить масштаб будущей онтологии. Создается таксономия понятий, далее осуществляется построение концептуальной, логической и затем физической модели структуры области знаний. Для этого необходимо проанализировать область компетенций, которые предусмотрены в образовательных стандартах. Во ФГОС ВО среди перечня универсальных компетенций отмечаются: системное и критическое мышление; командная работа и лидерство; коммуникация; межкультурное взаимодействие; самоорганизация и саморазвитие, которые должны быть сформированы у выпускников магистратуры (например, направление подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии» [19]). У выпускников специалитета по специальности 37.05.01 «Клиническая психология» перечень универсальных компетенций включает те же наименования [20]. Большую часть отмеченных универсальных компетенций можно отнести к *Soft skills* (социально-коммуникативным навыкам). Вместе с тем анализ литературы показывает существенные различия в наборе мягких навыков по различным областям деятельности и в их формулировках. Одинаковые формулировки

могут иметь разный смысл в контексте профессии. В сфере ИТ – более жесткий, формальный, четко определенный, в сфере медицинских, медико-психологических профессий – более мягкий, детальный, глубокий.

В то же время, коммуникация в определении коммуникативной компетенции универсальна для различных профессиональных контекстов. Применительно к вопросам образования, коммуникативная компетентность понимается как ситуационное использование коммуникативных умений [21], как способность достигать коммуникативных целей социально приемлемым способом [22]. Однако, именно коммуникативные навыки имеют особое значение для медицинских профессий [23]. Основная проблема заключается в том, что навыки «не существуют сами по себе», их можно описать на абстрактном уровне, но применять и практиковать их можно только в конкретной области обучения, на конкретном уровне представления знаний [24].

Например, в работе [25] авторами предложены модели взаимосвязей между конкретными видами коммуникационной практики, такие как предоперационный брифинг для групп обучающихся, или промежуточные процессы, направленные на повышение знаний членов команды, улучшение командного поведения, то есть теоретические модели общения в медицинских бригадах.

Коммуникативная компетентность является одной из центральных предпосылок успешной медицинской практики [22], где социальное взаимодействие связано с другими людьми, в него включены собственные цели и цели других лиц, а правила и распорядок определены менее строго. Большую роль играют эмоции, личная вовлеченность (самоуважение, принятие), личностные факторы, собственные реакции и реакции окружающих людей [22]. Необходимо учитывать и индивидуальные когнитивные ресурсы, поскольку они ограничены [26]. Медицинские работники должны обладать высоким уровнем личностных качеств, таких как эмпатия, терпение, ответственность, уважительное отношение к другим людям, трудолюбие, умение работать в команде, гибкость в мышлении. Эти качества очень важны для успешного выполнения работы медицинского работника, так как они позволяют устанавливать доверительные отношения с пациентами, облегчают коммуникацию в коллективе и повышают качество обслуживания.

Если проанализировать «командную работу и лидерство», то эти навыки также различаются в профессиональных приложениях. В сфере ИТ в современных «прогрессивных» организациях командная работа может осуществляться как в синхронном, так и в асинхронном режимах, совместно или индивидуально, гибко выбирая условия в зависимости от поставленной задачи [27]. В области медицины вопросы командной работы, «*teamwork skills*», рассматриваются в высокодинамичных областях здравоохранения, таких как хирургия, интенсивная терапия, неотложная медицина или травматологические и

реанимационные бригады, касающиеся общих командных навыков – производительности команды, эффективного командного поведения [28].

Известная оксфордская система (*Oxford Non-Technical Skills Scale* (NOTECHS)) рассматривается, например, как методика организации для успешной хирургической командной работы. Система основана на классификации, учитывающей пять критериев эффективной и безопасной работы бригады проведения хирургических операций – координация, общение, сотрудничество, лидерство и командный мониторинг [29].

Координация имеет важное значение для коллективной работы, поскольку команды координируют не только через вербальное общение, но также через рабочую среду, т.е. через точное согласование действий членов команды, обеспечивающее бесперебойный рабочий процесс. Отдельно акцентируется значение адаптивной координации (*adaptive coordination*), например, при введении новых членов в состав команды; переход от явной к имплицитной координации; увеличение объема информации и планирование в критических ситуациях [28]. Данные вопросы важны и исследуются для анализа сложного межпрофессионального состава (например, в операционных, отделениях интенсивной терапии и амбулаторных отделениях неотложной помощи), где показана высокая значимость командной работы [30].

Подход к построению онтологии объединяет графические инструменты организации концептуальных понятийных структур областей знаний и неструктурированные понятия плохо определенных областей, в том числе с применением теории деятельности [31].

Структура модели когнитивной деятельности. Надпрофессиональные компетенции оказывают влияние на профессиональную деятельность. Когнитивные навыки, которые относятся к надпрофессиональным и являются необходимыми для успешной интеллектуальной деятельности, зачастую могут быть неявными, не наблюдаемыми в процессе деятельности, они зависят как от индивидуальных личностных качеств человека, так и от когнитивной нагрузки информации. С целью получения показателей когнитивных навыков предлагается обобщенная модель когнитивной деятельности (рис. 1), в которой отражено взаимовлияние когнитивно-стилевого потенциала (КСП) и когнитивной нагрузки (КН) на показатели когнитивной деятельности. Предложенную ранее модель [32] целесообразно дополнить показателями *Soft skills*.

Обобщенная модель базируется на динамических моделях основных видов процессов познавательной деятельности, описываемых неоднородными дифференциальными уравнениями [33], справедливыми в условиях интенсивной когнитивной нагрузки. Это процессы восприятия, когнитивного выбора и координации (зрительно-моторной), учитывающие индивидуальные показатели познавательной деятельности обучающегося, показатели когнитивно-стилевого по-

тенциала, показатели понятийной организации опыта (начального или накопленного уровня информации по отношению к рекомендуемой когнитивной нагрузке). В отличие от принятых способов оценивания достижений в обучении, таких как показатели тестирования, самооценочные показатели и объективные

показатели результатов обучения, модель позволяет оценить индивидуальные ненаблюдаемые когнитивные параметры обучающихся. Такие параметры относятся к группе надпрофессиональных компетенций, формируемых в процессе решения определенных задач с варьированием когнитивной сложности.

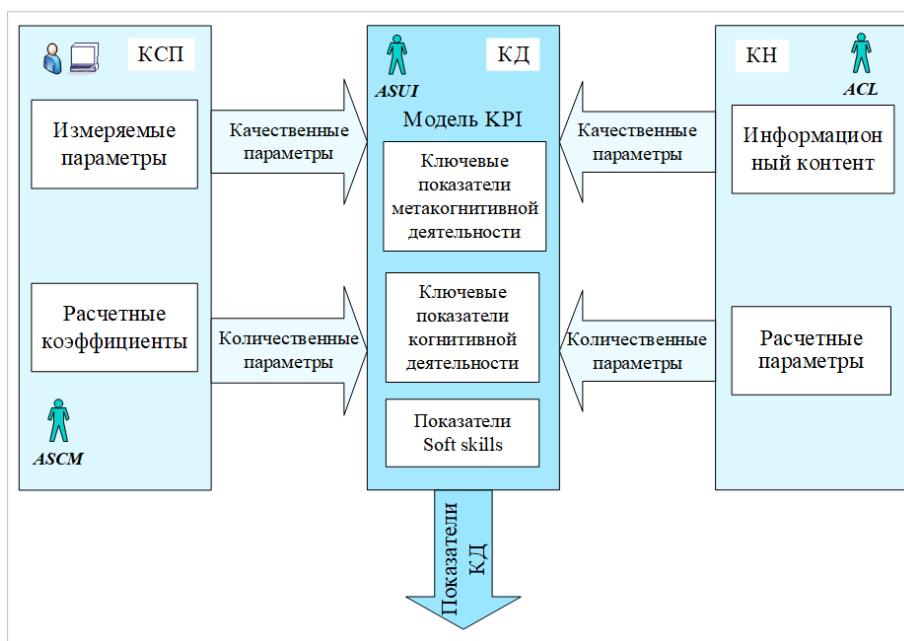


Рисунок 1 – Концептуальная структура обобщенной модели когнитивной деятельности

Анализ индивидуальных параметров позволяет корректировать учебную деятельность, рекомендовать стратегии обучения и адаптировать образовательный контент по срокам освоения и объему для студента.

Обобщенная динамическая модель когнитивной деятельности предназначена для:

- полного учета индивидуальных характеристик, влияющих на продуктивность когнитивной деятельности;
- анализа показателей продуктивности;
- прогноза продуктивности решения когнитивных задач человеком с определенными показателями когнитивно-стилевого потенциала (КСП) и с учетом когнитивной нагрузки (КН);
- планирования допустимой когнитивной нагрузки с учетом индивидуальных особенностей КСП;
- анализа и представления рекомендаций по формированию надпрофессиональных компетенций в определенной профессиональной сфере деятельности;
- анализа сформированности универсальных, общепрофессиональных, профессиональных и надпрофессиональных компетенций.

Сбор данных и анализ показателей модели осуществляется при помощи системы интеллектуальных программных агентов в интегрированной образовательной среде (рис. 1): *ASUI* – *Agent Subject User Interface* (агент интерфейса пользователя); *ASCM* – *Agent Subject Cognitive Model* (агент когнитивной модели пользователя); *ACL* – *Agent Cognitive Load*

(агент когнитивной нагрузки). Основными источниками данных являются показатели деятельности по восприятию информации, исполнительности и результативности, а также результаты анкетирования, наблюдений во время процесса обучения [34]. Все данные используются для построения учебной онтологии, объединяющей в своей структуре универсальные, общепрофессиональные, профессиональные и надпрофессиональные компетенции.

Результаты. Проектирование онтологии. Одним из направлений разработки приложений, основанных на онтологиях, являются онтологии предметных областей, которые могут использоваться как механизм для установления общего понимания конкретной области знаний [35]. Современные онтологии в основном разрабатываются для четко определенных предметных областей, в которых специалисты в области информационных технологий достигли значительного прогресса [31]. Имеются примеры реализаций представлений в виде онтологий в четко определенных предметных областях, в которых возможен структурированный способ представления знаний. Задача разработки концептуальных моделей плохо определенных областей остается сложной, концептуальное представление таких областей основывается на знаниях экспертов в предметной области [31]. Необходимость формирования концептуальных представлений в слабо структурированных предметных областях отмечается в публикациях [17].

Несмотря на то, что общепринятой классификации

мягких навыков не существует [5, 36, 37], в данной работе предлагается подход формирования терминологической структуры и построения интегрированной онтологии ключевых показателей деятельности начинающих специалистов (блок показателей *Soft skills* на схеме концептуальной структуры модели когнитивной деятельности, рис. 1). Этапы разработки онтологии включают изучение всех необходимых понятий, выявление связей и отношений между ними для построения иерархической структуры области знаний [38]. Процесс, именуемый во всех методологиях как «создание онтологии», представляет собой итеративную процедуру аналитического дизайна, включая операции категоризации, дезинтеграции или детализации [35].

Системный анализ требований работодателей к «гибким» компетенциям специалистов, профессиональных образовательных стандартов и образовательных программ позволяет сформулировать следующие вопросы к будущей онтологии, на которые необходимо дать ответы.

1. Какими компетенциями должен владеть специалист?
2. Какие «мягкие» навыки требуются специалисту для трудоустройства на определенную должность?
3. Какие методы применяются для улучшения того или иного навыка?
4. Какие существуют способы оценивания того или иного навыка?
5. Какие академические дисциплины помогают в развитии конкретного навыка?
6. Какая информация необходима для оценивания компетенций с помощью инструмента оценивания *KPI*?

В соответствии с данными вопросами был составлен глоссарий и разработана таксономия, реализован-

ная далее в виде *OWL*-онтологии. Онтологическая модель спроектирована в редакторе онтологий *Protégé* [39]. Онтология представляет собой общую концептуализацию области знаний, в нашем примере – в сфере обучения с включением информации о формировании мягких навыков. Следуя рекомендациям разработчиков системы *Protégé*, все понятия предметной области строго классифицированы и представлены в виде иерархии классов, подклассов и экземпляров. Далее представлено описание практической реализации этапов создания онтологии.

Определение классов и подклассов. В онтологической модели было выделено пять основных классов, иерархия которых для предметной области начинающих специалистов в сфере *IT* иллюстрируется рисунком 2.

1. Класс «ФГОС ВО», представляющий стандарты обучения по выбранному направлению.
2. Класс «Академические дисциплины», в который входят учебные дисциплины, способствующие развитию компетенций, в том числе «гибких» навыков.
3. Класс «Компетенции», включающий все необходимые компетенции: универсальные, профессиональные, надпрофессиональные.
4. Класс «Нововведения», включающий новые методы формирования личностных компетенций в процессе обучения (например, анализ и разбор конкретных ситуаций и др.).
5. Класс «Оценивание компетенций», включающий способ оценивания компетенций с использованием инструмента *KPI*, ключевые показатели деятельности, способы оценивания и участников оценивания.
6. Класс «Специальность», в который входит информация, необходимая для карьеры в профессиональной сфере, включающая требования работодателей и профессиональных стандартов.

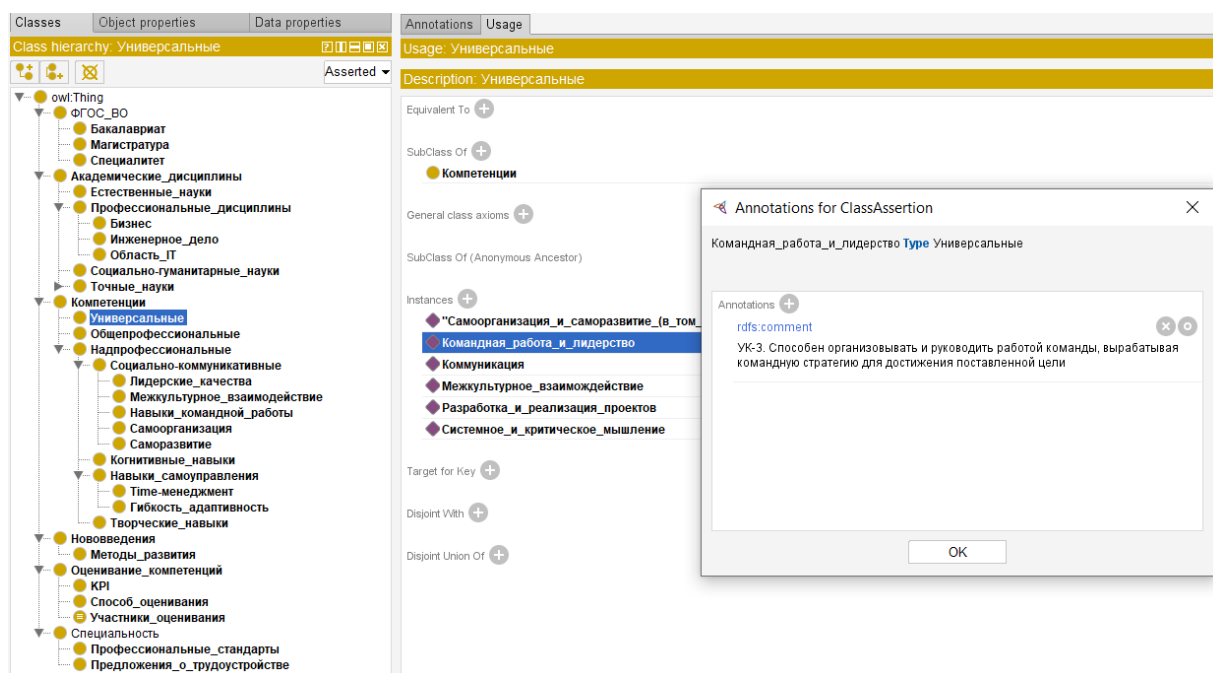


Рисунок 2 – Иерархия классов онтологии

С помощью выделенных классов можно определить важные компоненты для получения информации о компетенциях, деятельности по их развитию и оцениванию. Пример разработанной базовой онтологии версии прототипа имеет 4 уровня глубины, суммарно 55 классов и подклассов, 82 понятия и 40 связей и отношений.

В правом окне интерфейса программы перечислены универсальные компетенции из ФГОС ВО, код компетенции и краткая формулировка в окне «Аннотации» (на примере универсальной компетенции «Командная работа и лидерство» – код компетенции УК-3).

Необходимо отметить, что в образовательном стандарте описания компетенций достаточно лаконичны. В приложении к образовательному стандарту

указывается перечень профессиональных стандартов для того, чтобы вуз мог самостоятельно сформулировать профессиональные компетенции [19]. Для получения всей необходимой информации в онтологии введены отношения между образовательными и профессиональными стандартами. Например, для нашего примера в образовательном стандарте приведены девять профессиональных стандартов (код 06 Связь, информационные и коммуникационные технологии). В профессиональных стандартах отдельно выделяются «Трудовые функции», «Необходимые умения», «Необходимые знания» и «Другие характеристики». Пример из профессионального стандарта "Менеджер по информационным технологиям" представлен на рисунке 3.

Трудовые действия	Формирование целей, приоритетов и ограничений управления качеством ресурсов ИТ и изменение их по мере изменения внешних условий и внутренних потребностей
	Организация работы персонала и выделение ресурсов для управления качеством ресурсов ИТ
	Контроль качества ресурсов ИТ
	Анализ качества ресурсов ИТ, целей, приоритетов и ограничений управления качеством ресурсов ИТ
Необходимые умения	Контролировать качество ресурсов ИТ
	Определять соответствие качества ресурсов ИТ потребностям
	Формировать целевое качество ресурсов ИТ и контролировать его достижение
Необходимые знания	Стандарты и методики оценки качества
	Стандарты и методики оценки качества ресурсов ИТ, управления активами ИТ и конфигурациями ИТ
	Способы определения потребностей в уровне качества ресурсов ИТ
Другие характеристики	Лидерские качества
	Организаторские и коммуникационные способности

Рисунок 3 – Пример (профессиональный стандарт [40])

Формулировки характеристик «Лидерские качества» и «Организаторские и коммуникативные способности» входящие в группу «Другие характеристики» профессионального стандарта отличаются от формулировок в образовательном стандарте. Поэтому кроме компетенций, указанных в образовательном стандарте, в класс компетенций разработанной онтологии включен подкласс «Надпрофессиональные компетенции». В группу надпрофессиональных компетенций включены «Организаторские навыки», «Лидерские качества», «Навыки командной работы», «Самоорганизация», что позволило более детально представить класс навыков *Soft skills* и определить связи между образовательными и профессиональными стандартами в части компетенций, навыков. Поскольку согласно ФГОС ВО профессиональные компетенции определяются Организацией на основе анализа требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам на рынке труда [19], то в онтологии предусмотрен подкласс «Предложения о трудоустройстве» класса «Специальности» с информацией о тре-

бованиях работодателей.

Определение экземпляров классов. Для заполнения онтологии данными необходимо определить экземпляры классов (индивиды). При добавлении индивида указывается класс, которому он принадлежит, заполняются имеющиеся свойства-отношения и свойства-данные. Для каждого свойства-отношения были заданы домен и диапазон.

Например, определен экземпляр «*KPI_2*» одного из способов оценивания «гибких» навыков. С помощью свойств было указано, что оценку метрики проводит ментор (преподаватель) и команда (группа студентов), используются такие методы оценивания, как тестирование, опрос, наблюдение. Также было задано наименование *KPI* метрики «Публичные выступления», определены единица измерения «Оценка» и результат «Идеальное выполнение» (указан балл «4»). Остальные данные были введены аналогичным образом в соответствии с заданными свойствами индивидов.

Фрагмент разработанного прототипа онтологии

с основными подклассами *KPI* изображен на рисунке 4.

Для обеспечения функциональной совместимости онтологии с разработанной моделью обобщенной когнитивной деятельности, где предусмотрено создание банка данных и базы применяемых аналитических

методов, прототип онтологии, разработанный в среде редактора *Protégé* был перенесен в авторскую среду визуализации и анализа информации *OntoMASTER* [41] и расширен необходимыми функциями. Фрагмент интерфейса среды на примере структурирования компетенций изображен на рисунке 5.

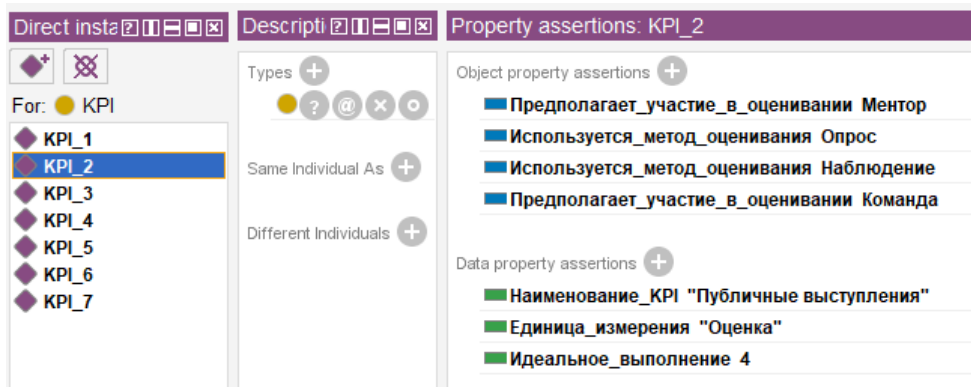


Рисунок 4 – Индивиды для класса «KPI» с свойствами экземпляра подкласса «KPI_2»

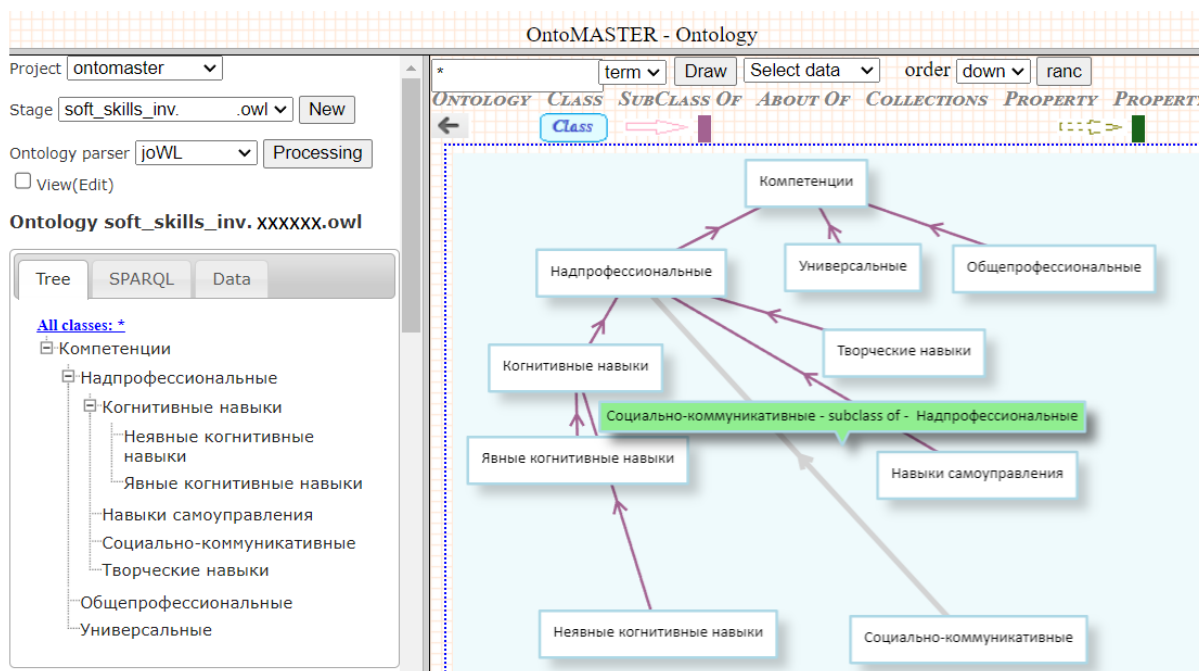


Рисунок 5 – Построение классов компетенций в визуальной среде *OntoMASTER*

Установление связей и отношений между образовательными стандартами, профессиональными стандартами и требованиями работодателей является одним из преимуществ разработанной онтологии в среде *OntoMASTER*, допускающей внесение необходимых изменений в структуру и наполнение информацией непосредственно в ходе процесса с учетом показателей учащихся (индивидуальных когнитивных характеристик).

Обсуждение. На данном этапе разработки прототипа онтология представляет собой концептуальный «каркас» ключевых показателей деятельности обучающихся в вузе по конкретной специальности. Спроектированная онтология может быть использована в образовательных целях, а также для выработки реко-

мендаций по необходимым «мягким» компетенциям, которые важно развивать для успешного трудоустройства в профессиональной сфере.

На базе онтологии целесообразно реализовать интерфейс раздела веб-портала образовательной организации, который предоставит возможность поиска необходимой информации о надпрофессиональных компетенциях. Мягкие навыки можно будет определить после выбора направления подготовки обучения или интересующей должности по будущей специальности. Выбрав из структуры онтологии направление подготовки по ФГОС ВО, можно по запросам получить полный перечень данных, касающихся этого направления (код, ссылка на образовательный стандарт, список изучаемых дисциплин и их рабочие

программы, перечень формируемых компетенций, в том числе надпрофессиональных, сведения о рабочих местах, на которых студенты смогут работать после окончания обучения). Онтология интегрирует в единой среде всю необходимую информацию по формированию компетенций на основе связей между образовательными и профессиональными стандартами.

Выводы. Результатом исследования стала базовая интегрированная онтология, объединяющая необходимую информацию по учебному процессу (направлению подготовки, специальности): стандарты; программы; основные понятия, необходимые для формирования компетенций, включая «гибкие» навыки, которые важны для профессиональной деятельности специалистов.

Кроме компетенций, обозначенных в образовательных стандартах, в онтологию включены надпрофессиональные навыки. На базе обобщенной модели когнитивной деятельности оцениваются неявные гибкие навыки обучающихся, сформированные в процессе обучения.

Онтология предоставляет базу знаний, которая необходима для устранения дисбаланса между уровнем подготовки студентов и требованиями, предъявляемыми рынком труда. Созданная онтологическая модель окажется полезной для организации учебно-методической работы вуза с целью согласования компетенций, требуемых на рынке труда, и компетенций выпускников образовательной организации. Онтология как структурированная информация из различных источников будет способствовать систематизации деятельности по изучению, оцениванию и формированию надпрофессиональных компетенций студентов. Использование онтологии направлено на подготовку конкурентоспособных специалистов, обладающих необходимыми компетенциями для дальнейшей эффективной работы, повышения рейтинга и статуса вуза среди других образовательных учреждений за счёт совершенствования образовательной деятельности и повышения уровня квалификации выпускников.

В данной работе онтология составлена на примере реального учебного процесса. Разработке онтологии предшествовал период наблюдения и сбора данных непосредственно в процессе обучения, а также на основе анализа литературных источников с применением методов интеллектуального анализа текста с целью выявления ключевых понятий, их структурирования и построения тезауруса. Для получения данных также привлекались эксперты в профессиональных областях, с которыми проводились анкетирования, беседы, интервью. Эксперты в медицинской области отмечали, что ориентированный на человека тип отношений требует дополнительных знаний и навыков, которые не включены в программу подготовки, однако важны для повседневной медицинской практики.

Достоинством онтологии является возможность ее расширения, так как функциональные возможности графического редактора *OntoMASTER* позволяют

включать новые фрагменты областей знаний, добавлять новые экземпляры в созданные классы, атрибуты и отношения.

В дальнейшем планируется расширение функциональных возможностей онтологии с тем, чтобы обеспечить оперативное внесение в нее изменений, динамический сбор, обновление и анализ информации, что может способствовать совершенствованию учебного процесса, и помочь обучающимся адаптироваться к изменяющейся среде 21 века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Программа «ПРИОРИТЕТ-2030». [Электронный ресурс] URL: <http://www.coal.sbras.ru/wp-content/uploads/2021/02/prioritet.pdf> (дата обращения 20.06.2023).
2. Benmoussa N., et al. The impact of technological evolution on the labor Market and the skills of academics: case "adequacy between university training offers and the job market". In Proceedings of the ICERI 2018. – P. 3154-3164. IATED.
3. Малова М.М. Роль "мягких" навыков в современной профессиональной деятельности // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2019. – № 4 (44). – С. 150-165.
4. Чуланова О.Л., Ивонина А.И. Формирование softskills (мягких компетенций): подходы к интеграции российского и зарубежного опыта, классификация, операционализация // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2017. – №1(28). – С. 53-58.
5. Matteson M.L., Anderson L., Boyden C. "Soft skills": A phrase in search of meaning. Portal: Libraries and the Academy. – 2016. – Vol. 16. – No. 1. – P. 71-88. [Электронный ресурс] URL: <http://muse.jhu.edu/journals/pla/summary/v016/16.1.matteson.html> (дата обращения 20.06.2023).
6. Anthony S., Garner B. Teaching soft skills to business students: An analysis of multiple pedagogical methods. Business and Professional Communication Quarterly. – 2016. – V.79. – N. 3. – P. 360-370. [Электронный ресурс] URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2329490616642247> (дата обращения 20.06.2023).
7. Chu S. K., et al. 21st century skills development through inquiry-based learning from theory to practice. Springer International Publishing. – 2021. – 204 p.
8. Haug B.S., Mork S.M. Taking 21st century skills from vision to classroom: What teachers highlight as supportive professional development in the light of new demands from educational reforms // Teaching and Teacher Education. – 2021. – V. 100. – 12 p. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0742051X2100010X> (дата обращения 20.06.2023).
9. Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century. National Research Council. National Academies Press. – 2012. – 204 p.
10. Rios J.A., et al. Identifying critical 21st-century skills for workplace success: A content analysis of job advertisements // Educational Researcher. – 2020. – V. 49. – N. 2. – P. 80-89. [Электронный ресурс] URL: <https://www.researchgate.net/profile/Joseph-Rios-2/publication> (дата обращения 20.06.2023).
11. Payne J. The changing meaning of skill. 2004. in SKOPE Issues Papers [Warwick University: ESRC Centre on Skills, Knowledge and Organisational Performance (SKOPE)]. – 7 p. [Электронный ресурс] URL: <https://ora.ox.ac.uk> (дата обращения 20.06.2023).
12. Collins dictionaries. [Электронный ресурс] URL: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/soft-skills> (дата обращения 20.06.2023).
13. Исаев А.П., Плотников Л.В. Мягкие навыки для успешной карьеры выпускников инженерного профиля // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30. – № 10. – С. 63-77.
14. Шрайбер А.Н. Методика формирования soft skills (мягких навыков) у студентов вузов через систему дополнительного профессионального образования // Мир науки, культуры, образования. – 2018. – № 2 (69). – С. 145-147.
15. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology

- gy Specifications // Knowledge Acquisition. – 1993. – V. 5. – N. 2. – P. 199-220. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1042814383710083> (дата обращения 20.06.2023).
16. Gruber T.R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – V. 43. – N. 4-5. – P. 907-928. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581985710816> (дата обращения 20.06.2023).
17. Гаврилова Т.А. Онтологический инжиниринг: от истории к практическому формированию Прикладных онтологий. Когнитивные исследования: Сборник научных трудов. Вып. 2 / Под ред. В.Д. Соловьева, Т.В. Черниговой. Москва. Институт психологии РАН. – 2008. – С. 293-307.
18. Bizer C., Heath T., Berners-Lee T. Linked data: The story so far // Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts. IGI global. – 2009. – V. 1. – N. 1. – P. 205-227. [Электронный ресурс] URL: <http://eprints.epwp.eprints-hosting.org/id/eprint/92/1/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf> (дата обращения 20.06.2023).
19. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19 сентября 2017 г. N 917 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 09.04.02 Информационные системы и технологии" (с изменениями и дополнениями). Редакция с изменениями N 1456 от 26.11.2020. [Электронный ресурс] URL: <https://fgosvo.ru/> (дата обращения 20.06.2023).
20. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 26 мая 2020 г. N 683 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 37.05.01 Клиническая психология" (с изменениями и дополнениями) Редакция с изменениями N 1456 от 26.11.2020. [Электронный ресурс] URL: <https://fgosvo.ru/> (дата обращения 20.06.2023).
21. Greene J.O. Communication Skill and Competence. Oxford Research Encyclopedia of Communication. 2016. [Электронный ресурс] URL: <https://oxfordre.com/communication/display/10.1093/acrefore/9780190228613.001.0001/acrefore-9780190228613-e-158> (дата обращения 20.06.2023).
22. Kiessling C., Fabry G. What is communicative competence and how can it be acquired? // GMS journal for medical education. 2021. – 38. – N. 3. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7994879/> (дата обращения 20.06.2023).
23. Strohmer R., Linder U., Kaden J.J. How to: Success factors for the implementation and establishment of the "longitudinal curriculum" on communicative competencies at the Medical Faculty Mannheim // GMS Journal for Medical Education. – 2023. – V. 40. – N. 1. – P. 1-14. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10010772/> (дата обращения 20.06.2023).
24. van Merriënboer J.J., Sweller J. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. MEDICAL EDUCATION. – 2010. – V. 44. – N. 1. – P. 85-93. [Электронный ресурс] URL: <https://onlinelibrary.wiley.com> (дата обращения 20.06.2023).
25. Lingard L., Whyte S., Espin S. et al. Towards safer interprofessional communication: constructing a model of "utility" from preoperative team briefings. Journal Interprof Care 2006. – V. 20. – N. 5. – P. 471-483. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13561820600921865> (дата обращения 20.06.2023).
26. van Merriënboer, J. Learning in Simulated and Real Environments. 2023. Maastricht University. [Электронный ресурс] URL: https://cris.maastrichtuniversity.nl/ws/portalfiles/portal/133240853/Rede_merrienboer.pdf (дата обращения 20.06.2023).
27. C-Suite: Redesigning Work for a Hybrid Future. Dispel seven myths about where and how work drives results. Updated August 2021. [Электронный ресурс] URL: <https://www.Gatner.com> (дата обращения 20.06.2023).
28. Manser T. Teamwork and patient safety in dynamic domains of healthcare: a review of the literature. Acta Anaesthesiologica Scandinavica, 2009. – V. 53. – N. 2. – P. 143-151. [Электронный ресурс] URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/j.1399-6576.2008.01717>. (дата обращения 20.06.2023).
29. Passauer-Baierl S., et al. Interdisziplinäre Teamarbeit im OP: Identifikation und Erfassung von Teamarbeit im Operationssaal. Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen. – 2014. – 108 (5-6). – P. 293-298. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1865921713001232> (дата обращения 20.06.2023).
30. Schmidt J., Gambashidze N., Manser T., et al. Does inter-professional team-training affect nurses' and physicians' perceptions of safety culture and communication practices? Results of a pre-post survey study. BMC health services research. – 2021. – V. 21. – P. 1-10. [Электронный ресурс] URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12913-021-06137-5> (дата обращения 20.06.2023).
31. Karanasios S, Thakker D., Lau L., et al. Making sense of digital traces: An activity theory driven ontological approach // Journal of the American Society for Information Science and Technology. – 2013. – V. 64. – N. 12. – P. 2452-2467. [Электронный ресурс] URL: <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com> (дата обращения 20.06.2023).
32. Pisarev A.S., Kotova E.E., Pisarev I.A. Generalized model of cognitive activity taking into account uncertainty in an information-saturated environment. Proceedings of 2022 25th International Conference on Soft Computing and Measurements. SCM 2022. – 2022. – P. 133-137.
33. Имаев Д.Х., Котова Е.Е. Компьютерная имитация процесса обучения в условиях периодического контроля успеваемости // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2014. – № 1. – С. 74-79.
34. Котова Е.Е., Писарев А.С. Диагностика показателей когнитивной деятельности в инновационной образовательной среде // Инновации. – 2021. – № 9 (275). – С. 60-70.
35. Dicheva D., Sosnovsky S., Gavrilova T., Brusilovsky P. Ontological web portal for educational ontologies. SW-EL'05: Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning. – 2005. – P. 19-27. [Электронный ресурс] URL: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/2034446/> (дата обращения 20.06.2023)
36. Hirudayaraj M., Baker R., Baker F., Eastman M. Soft skills for entry-level engineers: What employers want. //Education Sciences. – 2021. – V.11. – N. 641. – 24 p.
37. Touloumakos A.K. Expanded Yet Restricted: A Mini Review of the Soft Skills Literature. //Frontiers in Psychology. – 2020. – 11. – 6 p. [Электронный ресурс] URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.02207/full> (дата обращения 20.06.2023)
38. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб: Лань. – 2016. – 324 с.
39. Protégé. Режим доступа: <https://protege.stanford.edu/> (дата обращения 20.06.2023)
40. Приказ Минтруда России от 13.10.2014 N 716н (ред. от 12.12.2016) "Об утверждении профессионального стандарта "Менеджер по информационным технологиям". (Зарегистрировано в Минюсте России 14.11.2014 N 34714).
41. Котова Е.Е., Писарев А.С., Писарев И.А. Программный комплекс разработки сценариев анализа данных ОнтоМАСТЕР-Сценарий. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019613556 от 19.03.2019 г.

Статья поступила в редакцию 09.06.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.942

EDN: CYVYLQ

ПРИНЯТИЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ И РИСКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© Автор 2023

SPIN-код: 7198-5521

AuthorID: 415365

ORCID: 0000-0002-7495-1090

ПРОКОФЬЕВ Олег Владимирович, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Информационные технологии и системы»
Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. За последние два десятилетия область искусственного интеллекта (ИИ) развивалась все более быстрыми темпами. Системы, использующие интеллектуальные технологии, затронули многие аспекты жизни граждан страны. Неудивительно, что ИИ также предлагает большие перспективы в чувствительных областях с точки зрения жизни и здоровья человека. Растущее число роботизированных транспортных средств, устройств клинического назначения, систем для работы в опасных условиях и других интеллектуальных устройств приводит к необходимости частого принятия ответственных решений, риски от которых увеличиваются по мере роста автономности систем и устройств. Интеллектуальные защитные системы все чаще обнаруживают, анализируют и реагируют на изменения среды быстрее и эффективнее, чем люди-операторы. А системы анализа больших данных и поддержки принятия решений дают возможность усвоить большие объемы информации, которые не смогла бы усвоить ни одна группа аналитиков, какой бы многочисленной она ни была, и помочь лицам, принимающим ответственные решения, быстрее выбирать более эффективные направления действий. Одновременно в странах мира происходит разработка этических кодексов, правил и норм ИИ, проводится регулирование правовой оценки ответственности специалистов по машинному обучению. Активное внедрение систем в ИИ в сфере вооружений в разных странах мира представляет направление особо высокого риска, если не будет уделено должное внимание надёжности, безопасности и гуманитарным последствиям. Исследования в этой области пока не опираются на большой опыт применения, чаще они основываются на мнении экспертов – разработчиков и исследователей автономных систем с ИИ. Статья посвящена оценкам рисков, сопутствующих применению систем ответственного назначения на базе ИИ.

Ключевые слова: риски искусственного интеллекта, принятие ответственных решений, автономные системы, этические нормы искусственного интеллекта.

RESPONSIBLE DECISION-MAKING AND THE RISKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

© The Author 2023

PROKOFIEV Oleg Vladimirovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Information Technologies and Systems
Penza State Technological University

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

Abstract. Over the past two decades, the field of artificial intelligence (AI) has developed at an increasingly rapid pace. Systems using intelligent technologies have affected many aspects of the life of the country's citizens. Not surprisingly, AI also offers great promise in sensitive areas in terms of human life and health. The growing number of robotic vehicles, clinical devices, hazardous environment systems, and other intelligent devices is driving the need for frequent critical decision-making, the risks of which increase as the autonomy of systems and devices increases. Intelligent security systems are increasingly detecting, analyzing and responding to environmental changes faster and more efficiently than human operators. And big data analytics and decision support systems make it possible to assimilate large amounts of information that no single group of analysts, no matter how large, could assimilate, and help decision makers to choose more effective courses of action faster. At the same time, ethical codes, rules and norms of AI are being developed in the countries of the world, and the legal assessment of the responsibility of machine learning specialists is being regulated. The active implementation of systems in AI in the field of weapons around the world represents a particularly high-risk direction if due attention is not paid to reliability, security and humanitarian consequences. Research in this area is not yet based on extensive application experience, more often they are based on the opinion of experts - developers and researchers of autonomous systems with AI. The article is devoted to risk assessments associated with the use of responsible AI-based systems.

Keywords: risks of artificial intelligence, responsible decision-making, autonomous systems, ethical standards of artificial intelligence.

Для цитирования: Прокофьев О.В. Принятие ответственных решений и риски искусственного интеллекта/ О.В. Прокофьев// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 26-31. – EDN: CYVYLQ.

Введение. Важное различие, которое следует сделать при обсуждении приложений ИИ, заключается в том, действительно ли система автономной или просто автоматизированной. Когда люди хотят, чтобы задача была выполнена, они делают это сами или делегируют ее другому объекту, которым может быть человек или машина. При делегировании они отказываются от некоторого контроля над тем, как это делается, и лицо, выполняющее задачу, получает некоторую степень автономии. Если же задача идеально сформулирована с набором определенных и известных правил, то объект, выполняющий ее, имеет «низкую автономию» и её характеризуют как «автоматизированную».

Кроме того, люди, работающие в области ИИ, часто различают то, что они называют автономия в состоянии покоя и автономность в динамическом режиме, когда взаимодействуют с физическим миром. Примеры автономии в динамике, вызвавшие закономерную обеспокоенность, включают автономные системы вооружения. Поскольку ИИ охватывает так много видов систем и уровней автономии, полезно классифицировать эти технологии с помощью графической таксономии, иллюстрирующей отношения между ними (рис. 1).

Ранние подходы к ИИ включали разработку

автоматизированных систем, способных выполнять задачи по сценарию в соответствии с наборами заданных правил. Такие подходы все еще используются до некоторой степени, но за последние пару десятилетий были разработаны более сложные системы, способные к машинному обучению (МО). Эти системы могут постепенно повышать свою производительность, распознавая закономерности в больших объемах данных и предпринимая корректирующие действия для улучшения их работы. Еще более сложный класс систем машинного обучения демонстрирует глубокое обучение. Они используют многослойные искусственные нейронные сети для распознавания шаблонов в представлениях данных, недавние прорывы в области глубокого обучения с использованием глубоких нейронных сетей позволили добиться значительных успехов в системах компьютерного зрения и распознавания изображений.

Поэтому целью проделанной работы является анализ оценок рисков, связанных с автономным использованием систем на базе ИИ в областях ответственного применения. В качестве области применения выбрана сфера автономных вооружений как наиболее чувствительная с точки зрения сохранения жизни и здоровья, гуманитарных ценностей и этических правил.



Рисунок 1 – Таксономия технологий искусственного интеллекта

Методология. В качестве источника информации были использованы результаты экспертных оценок Института мира [1-11] и результаты опросов специалистов, интервью, проведенные американской корпорацией RAND [12]. В последнем случае использованы знания 29 экспертов в области ИИ, в числе которых среди опрошенных были военные разработчики и операторы, лидеры мнений в бизнесе и академических кругах, бывшие чиновники Министерства обороны США, а также отставные

генералы военно-воздушных сил и сухопутных войск. Опросы были составлены таким образом, чтобы выяснить, что думают эксперты о будущем военного применения ИИ, может ли ИИ изменить характер войны и как скоро это произойдет, а также какие опасения они формулируют, если они имеются. Важно выяснить, существуют или предполагаются преимущества использования ИИ, без которых описание ситуации риска не совсем полно и объективно. Предварительный анализ, уточняющий

построение вопросов и формулировки терминов, привёл к систематизированному описанию рисков как таковых. Поэтому в процедуру сбора и обработки данных было введено уточнение относительно конкретной предметной области, определяющей сущность преимуществ и рисков автономной системы. Классификация рисков по области появления событий, связанных с ущербом в отношении человеческой жизни и здоровья, а также с потерями в области

задач военного применения представлена на рисунке 2. Перечень разновидностей рисков подтверждает озабоченность авторов открытого письма учёных, специалистов в области искусственного интеллекта [13], призывающих к тому, чтобы современные мощные системы ИИ стали более точными, безопасными, интерпретируемыми, прозрачными, надёжными, согласованными, заслуживающими доверия и лояльными.



Рисунок 2 – Классификация рисков искусственного интеллекта

Результаты. Потенциальные преимущества использования ИИ, названные респондентами *RAND*, изображены на рисунке 3. Похожие ответы были сгруппированы. Наиболее часто упоминаемое преимущество представляет собой высокую скорость принятия решений. С другой стороны, преобладает время, необходимое для перемещения оборудования или людей, а иногда и время, в течение которого боеприпасы перемещаются к целям. Еще один риск заключается в том, что если скорость сделать приоритетным атрибутом при выборе между конкурирующими автономными системами вооружения для разработки, это может быть достигнуто за счёт безопасности и надёжности.

Использование больших данных в непосредственном виде трудно доступно человеку, но машины и ИИ, как правило, работают лучше, чем больше данных им доступно. Огромный объем информации, собираемой различными датчиками, превышает возможности анализа человеком или группой людей. Учитывая постоянно растущий объем данных, доступных сегодня в мире, и повышение производительности обработки данных ожидается, что популярность ИИ будет продолжать расти.

Улучшенный таргетинг и обзор обстановки – ещё одно явное преимущество. Одной из областей, где перегрузка данными ощущается наиболее остро, является обработка изображений.

Количество камер, осуществляющих наблюдение, будет продолжать расти. Существует потребность для автоматизации процесса анализа входящего потока видеоизображений. Возможности автоматизированного распознавания изображений и обнаружения объектов превзошли человеческие возможности, по крайней мере, в некоторых случаях. По мере дальнейшего прогресса эти системы будут все больше и больше способны идентифицировать объекты, которые люди пропустили бы. Это уже было выявлено в области медицины. Кроме того, прогресс в области распознавания лиц может быть применен для быстрой идентификации личностей, а анализ выражений лиц может предупредить о рискованных ситуациях.

Поддержка принятия решений в некоторых случаях сможет предоставить лучшие варианты выбора, чем люди могли бы предложить. Известным примером является технология маршрутизации, которая может получать полные карты и информацию о дорожном движении в реальном времени или проецируемую так, как это было бы недоступно людям.

Существует потенциал для применения ИИ в задачах стратегического планирования. Даже если эти технологии не подходят для использования при выработке боевых предложений или решений, эксперты ожидают, что они могут быть использованы для обеспечения более широкого спектра возможных

действий противника на учениях или оказать помощь в обнаружении грубых ошибок.

Смягчение кадровых проблем возможно, когда существует разрыв между спросом и персоналом, доступным для таких задач, как анализ изображений и перевод с иностранного языка. Это типы задач,

которые возникают из-за быстрого роста объема данных, доступных для обработки. ИИ также играет ключевую роль в оказании роботизированной помощи на поле боя, что позволит поддерживать или расширять боевые возможности без увеличения численности личного состава.

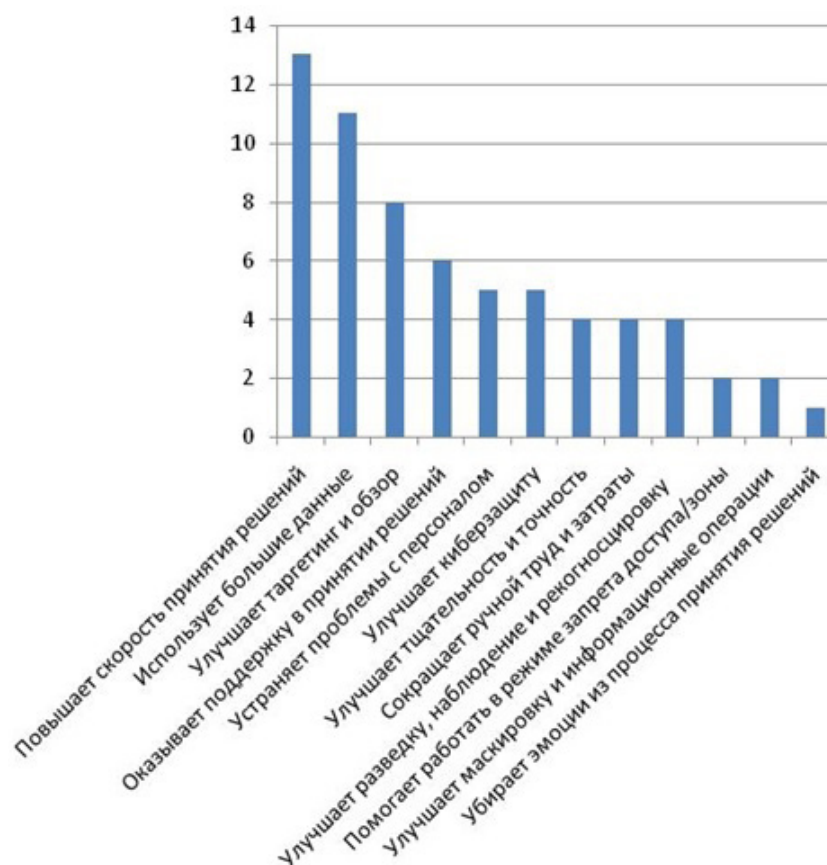


Рисунок 3 – Преимущества применения ИИ в области вооружений

Улучшения в киберзащите нужны, чтобы создать ИИ, который может наблюдать за программным обеспечением в системе и помечать действия, которые идентифицируются как подозрительные. Растет интерес к новым системам, которые могут находить и исправлять уязвимости в дружественных системах или находить и атаковать уязвимости во вражеских системах.

Повышение точности предоставляет преимущество по сравнению с людьми, которые, зачастую, привыкли использовать округлённые числа и грубые количественные оценки. Кроме того, операторы сложной техники подвержены повышенной утомляемости.

Снижение трудозатрат и затрат материальных средств позволяют сократить численность персонала без ущерба для услуг в диапазоне от логистики, транспорта до отопления и охлаждения помещений.

Улучшения в разведке, наблюдении и рекогносцировке (ISR) за счёт автономного сбора разведывательных данных с помощью дронов, с датчиков в наземной области, в космосе и даже в

киберпространстве обещает еще больше увеличить объем генерируемых данных. И этот объем данных необходимо будет анализировать частично или полностью с помощью машин с использованием ИИ. Часть этого анализа необходимо будет выполнить на платформах ISR, развернутых в полевых условиях, из-за ограничений пропускной способности, которые делают невозможным передачу таких больших объемов данных. Большая часть анализа будет проводиться в центрах обработки разведывательных данных. Везде, где это делается, ИИ позволит значительно улучшить качество разведанных, полученных из массивов собранных данных ISR.

Способность работать в средах с запретом доступа в охраняемой зоне делает возможным уменьшение количества людей-операторов, подвергающихся риску в этих средах, но также могут быть меньше, быстрее и маневреннее, чем обитаемые оружейные платформы, и, следовательно, потенциально более боеспособны.

Улучшения в информационных операциях и создании дезинформации высокой реалистичности

является "преимуществом", подвергающимся сомнению респондентами в общественных опросах в силу возможных нарушений этических норм.

Устранение фактора эмоций и усталости из процесса принятия решений относится тоже к предполагаемым преимуществам.

Не меньший интерес представляют риски, выяв-

ленные в процессе опросов и интервью со специалистами. Чтобы оценить, будет ли использование ИИ в области вооружений разумным политическим выбором, необходимо сопоставить ожидаемые преимущества этих возможностей с рисками, которые они представляют. На рисунке 4 приведены опасения экспертов, отсортированные по частоте упоминания.

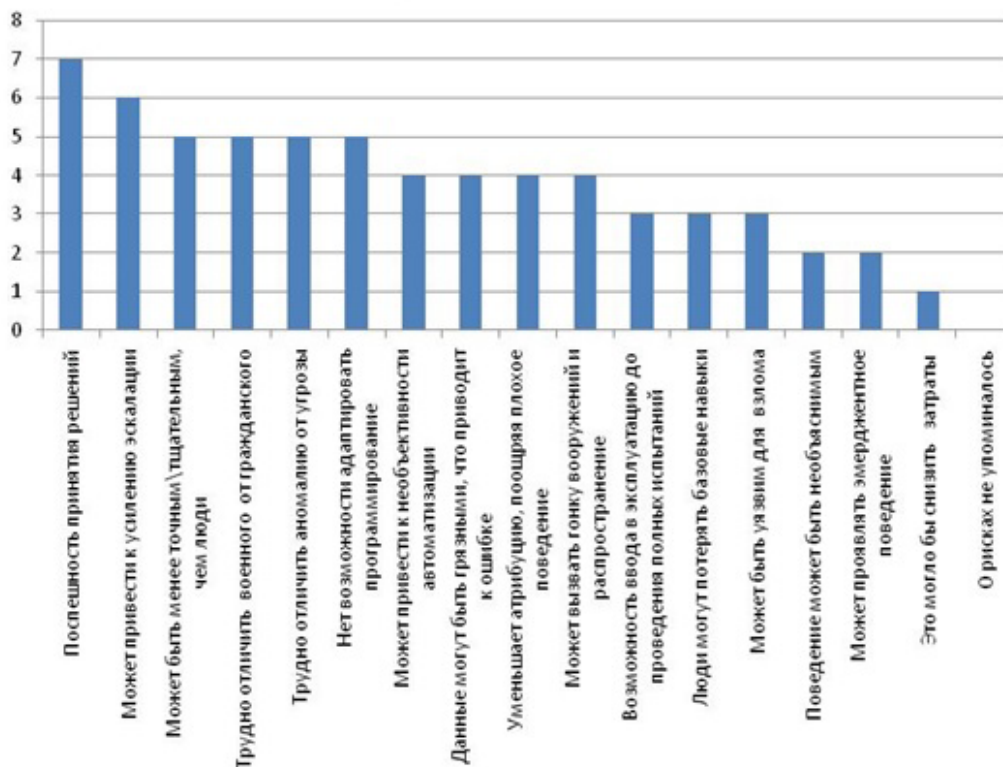


Рисунок 4 – Риски использования ИИ в области вооружений

Далее даны пояснения к наиболее распространённым упоминаниям рисков.

Хотя опрошенные эксперты назвали повышенную скорость, точность потенциальными преимуществами военного ИИ, они также выразили обеспокоенность тем, что эти возможности могут принимать решения слишком быстро или что системы не смогут адаптироваться к неизбежным сложностям военной обстановки. В результате они могут быть не в состоянии точно различать военных и мирных жителей или угрозы и системные аномалии, и в конечном итоге они могут быть менее точными и точными, чем люди-операторы. Эти проблемы могут усугубиться, если системы будут введены в эксплуатацию до того, как они будут должным образом протестированы, или в случае, если злоумышленникам удастся их взломать.

Искусственный интеллект может вызвать гонку вооружений или эскалацию конфликта. Автономное оружие может быть недостаточно чувствительным к политическим соображениям или порогам эскалации. Возможность того, что ИИ может снизить издержки войны с точки зрения человеческих жертв, могут побудить командиров идти на больший риск и действовать более агрессивно, что еще больше уси-

ливает динамику эскалации.

Военные операторы и командиры могут слишком доверять своим системам искусственного интеллекта. Они могут проявлять «предвзятость к автоматизации», полагаясь на результаты этих систем ИИ, даже если они кажутся бессмысленными. Эта тенденция усиливается в системах, в которых алгоритмическая обработка настолько сложна, что их результаты необъяснимы, то есть операторы не могут легко определить, почему их системы дают определенные ответы или ведут себя определенным образом.

Упрощение работы военного оператора способствует снижению уровня его компетенций, поощряет его дисквалификацию.

Обсуждение. Военные приложения ИИ и другие автономные системы ответственного применения развиваются ускоренными темпами. Некоторые из упомянутых выше преимуществ уже реализованы в развернутых в настоящее время системах. Другие преимущества были продемонстрированы в контролируемых приложениях или лабораторных условиях. Третьи ожидаются на основе прогнозов о том, что обеспечит будущий прогресс в области ИИ, или экстраполяции того, какие военные приложения

можно создать на базе технологий, которые были продемонстрированы или разрабатываются в коммерческом секторе [14-15]. Тем не менее, несмотря на все потенциальные преимущества военного ИИ, существуют значительные риски из области этики, а также представляющие потенциальный ущерб, причиняемый в процессе оперативного и стратегического управления. Поскольку системы искусственного интеллекта могут совершать опасные ошибки, было бы самонадеянным торопиться с неизбирательной разработкой, развертыванием и использованием этих возможностей без более тщательного изучения рисков. Чтобы оценить, будет ли использование ИИ в вооружениях разумным политическим выбором, необходимо сопоставить ожидаемые преимущества этих возможностей с рисками, которые они представляют.

Выводы. Необходимость более тщательного изучения рисков в областях ответственного использования ИИ и особенно военного использования, отмеченная в открытом письме Илона Маска и других специалистов [13], набрала 31810 подписей. В РФ опубликован Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта [16], который охватывает этическую сторону разработки, внедрения и применения ИИ на этапах жизненного цикла и ещё не отражён в законодательстве. Направление работы, заложенное в основе данных документов, это совместная разработка и внедрение набора общих протоколов безопасности для усовершенствованного проектирования и разработки искусственного интеллекта, которые тщательно проверяются и контролируются независимыми внешними экспертами. Эти протоколы должны обеспечивать то, что системы, выполняющие их, с приемлемо высокой вероятностью безопасны. Разработка протоколов не означает паузу в совершенствовании ИИ в целом, а представляют собой шаг назад от рискованной гонки ко все более непредсказуемым моделям по типу "черного ящика".

Параллельно разработчики ИИ должны работать с уполномоченными представителями по этике и праву, чтобы ускорить разработку надежных систем управления ИИ. Результатом их сотрудничества должны стать: новые и эффективные регулирующие органы, занимающиеся вопросами ИИ; наблюдение и контроль за высокопроизводительными системами искусственного интеллекта и большими пулами вычислительных машин; системы идентификации и "водяных знаков", помогающие отличить настоящие данные от синтезированных, системы обнаружения утечки моделей; защищённая экосистема аудита и сертификации; законодательно определённая ответственность за вред, причиненный ИИ; достаточное госбюджетное финансирование технических исследований безопасности ИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Vincent Boulanin, Lora Saalman, Petr Topychkanov, Fei Su And Moa Peldán Carlsson (2020). Artificial Intelligence, Strategic Stability and Nuclear Risk. [https://www.sipri.org/sites/default/](https://www.sipri.org/sites/default/files/2020-06/artificial_intelligence_strategic_stability_and_nuclear_risk.pdf)

[files/2020-06/artificial_intelligence_strategic_stability_and_nuclear_risk.pdf](https://www.sipri.org/sites/default/files/2020-06/artificial_intelligence_strategic_stability_and_nuclear_risk.pdf).

2. Integrating Cybersecurity and Critical Infrastructure. National, Regional and International Approaches. Edited by Lora Saalman (2018). https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-04/integrating_cybersecurity_0.pdf.

3. The Impact of Artificial Intelligence on Strategic Stability and Nuclear Risk. Volume I. Euro-Atlantic Perspectives. Edited by Vincent Boulanin (2020). <https://www.sipri.org/publications/2020/other-publications/artificial-intelligence-strategic-stability-and-nuclear-risk>

4. Vincent Boulanin and Maaik Verbruggen (2020). Mapping the Development of Autonomy in Weapon Systems. https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-04/integrating_cybersecurity_0.pdf.

5. Vincent Boulanin, Laura Bruun and Netta Goussac (2021). Autonomous Weapon Systems And International Humanitarian Law. Identifying Limits and the Required Type and Degree of Human-Machine Interaction. https://www.sipri.org/sites/default/files/2021-06/2106_aws_and_ihl_0.pdf.

6. Lora Saalman, Fei Su and Larisa Saveleva Dovgal (2022). Cyber Posture Trends in China, Russia, the United States and the European Union. https://www.sipri.org/sites/default/files/2022-12/2212_cyber_postures_0.pdf.

7. Vincent Boulanin (2017). Mapping the development of autonomy in weapon systems. A primer on autonomy. <https://www.sipri.org/sites/default/files/Mapping-development-autonomy-in-weapon-systems.pdf>.

8. Vincent Boulanin, Netta Goussac, Laura Bruun And Luke Richards (2020). Responsible Military Use of Artificial Intelligence. Can the European Union Lead the Way in Developing Best Practice? <https://www.sipri.org/publications/2020/other-publications/responsible-military-use-artificial-intelligence-can-european-union-lead-way-developing-best>.

9. Vincent Boulanin, Kolja Brockmann And Luke Richards (2020). Responsible Artificial Intelligence Research And Innovation For International Peace And Security. https://www.sipri.org/sites/default/files/2020-11/sipri_report_responsible_artificial_intelligence_research_and_innovation_for_international_peace_and_security_2011.pdf.

10. Mark Bromley and Giovanna Maletta (2018). The Challenge of Software and Technology Transfers to Non-Proliferation Efforts. Implementing and Complying with Export Controls. <https://www.sipri.org/publications/2018/other-publications/challenge-software-and-technology-transfers-non-proliferation-efforts-implementing-and-complying>.

11. Johan Turell, Fei Su And Vincent Boulanin (2020). Cyber-incident Management Identifying and Dealing with the Risk of Escalation. IPR Policy Paper N. 55. <https://www.sipri.org/publications/2020/sipri-policy-papers/cyber-incident-management-identifying-and-dealing-risk-escalation>.

12. Forrest E. Morgan, Benjamin Boudreaux, Andrew J. Lohn, Mark Ashby, Christian Curriden, Kelly Klima, Derek Grossman. Military Applications of Artificial Intelligence. RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2020, Pages 202.

13. Pause Giant AI Experiments: An Open Letter. <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>

14. Михеев М.Ю. Моделирование и трансфер агротехнологий на основе системы поддержки принятия решений/ Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Савочкин А.Е., Семочкина И.Ю.// Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - Пенза: Издательство Пензенского государственного университета, 2021. – Т. 1. – С. 180-183.

15. Михеев М.Ю. Методологии построения систем поддержки принятия решений в многоаспектной области применения/ Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Семочкина И.Ю. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – Пенза: Издательство Пензенского государственного университета, 2022. – Т. 1. – С. 18-22.

16. Кодекс этики в сфере ИИ. URL: <https://ethics.a-ai.ru/> (дата обращения: 30.06.2023).

Статья поступила в редакцию 29.06.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.021

EDN: DJORYZ

АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В АЭРОПОРТУ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7516-1612

AuthorID: 2905

ORCID: 0000-0001-5398-7599

ScopusID: 57485674000

СТЕПАНОВ Павел Викторович, соискатель

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

Аннотация. В статье рассматривается функционирование интеллектуального транспортно-технологического средства (ИТТС), предназначенного для сервисного обслуживания воздушных судов в аэропорту. Этот процесс является крайне сложным, так как требует координации усилий множества различных служб, должен выполняться в строгом соответствии с технологическими требованиями и в жесткие временные рамки. Ключевым элементом технологии является специализированное транспортно-технологическое средство, функционирующее в автономном режиме. Уникальной особенностью ИТТС является то, что оно не только обеспечивает выполнение технологических операций, но, благодаря специализированным системам, установленным на неё, выполняет функции полностью автоматического контроля выполнения этих операций. Для ИТТС, определяется совокупность взаимосвязанных процессов, необходимая для автономного функционирования и выполнения технологического процесса. Описываются основные процессы, обеспечивающие мобильность и автономность функционирования ИТТС. Представлены алгоритмы процессов авторизации, синхронизации данных, получения заданий, пересылки отчетов, определения текущего статуса ИТТС и контроля погрузки/разгрузки. Показаны возможности по организации группового взаимодействия и внешнего доступа к ресурсам ИТТС.

Ключевые слова: автолифт, интеллектуальное транспортно-технологическое средство, ИТТС, мобильное оборудование, система контроля оборота мобильного оборудования.

ALGORITHMS FOR THE FUNCTIONING OF AN INTELLIGENT TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS AT THE AIRPORT

© The Author(s) 2023

STEPANOV Pavel Viktorovich, applicant for the degree of candidate of technical sciences,

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences

(199178, Russia, Saint-Petersburg, 14 line, 39, e-mail: p.v.stepanov@hotmail.com)

Abstract. The article discusses the functioning of an intelligent transport and technological means (ITTM) designed for aircraft maintenance at the airport. This process is extremely complex, as it requires coordination of the efforts of many different services, must be carried out in strict accordance with technological requirements and in a tight time frame. The key element of the technology is a specialized transport and technological facility that operates in an autonomous mode. A unique feature of ITTM is that it not only ensures the execution of technological operations, but, thanks to specialized systems installed on it, performs the functions of fully automatic control of the execution of these operations. For ITTM, the set of interrelated processes necessary for the autonomous functioning and execution of the technological process is determined. The main processes ensuring mobility and autonomy of ITTM functioning are described. Algorithms of authorization processes, data synchronization, receiving tasks, sending reports, determining the current status of ITTM and control of loading/unloading are presented. The possibilities of organizing group interaction and external access to ITTM resources are shown.

Keywords: autolift, intelligent transport and technological means, ITTM, mobile equipment, mobile equipment turnover control system.

Для цитирования: Степанов П.В. Алгоритмы функционирования интеллектуального транспортно-технологического средства в аэропорту / П.В. Степанов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 32-41. – EDN: DJORYZ.

Введение. Обслуживание воздушных судов в аэропорту – это сложный процесс, в котором задействовано множество служб и большое количество технических средств, координирующих свою деятельность для выполнения главной

задачи – обеспечение вылета воздушного судна в установленное время по расписанию. Одним из таких процессов является сервисное обслуживание – целью которого является подготовка к обслуживанию пассажиров во время полёта. Всё необходимое для

пассажиров в полёте, перевозятся и грузятся на борт в специальных металлических контейнерах разного типа, называемых мобильным бортовым кухонным оборудованием (МБКО). Что бы привезти и погрузить МБКО на борт воздушного судна используются специальные транспортно-технологические средства (ТТС) или автолифты [1].

Существующая технология сервисного обслуживания предполагает использование ручного труда на всех технологических этапах. Специфика производства делает невозможным (на данном этапе развития технологий) автоматизацию процессов погрузки-разгрузки МБКО. При этом все операции учёта выполняются в ручном режиме с использованием ведомостей и прочих документов на бумажных носителях. Особенности и условия выполнения технологических операций не позволяют проводить индивидуальный учёт перемещения единицы МБКО. Отсутствие технологии автоматической идентификации единицы МБКО, обусловленное историческими причинами и технологическими особенностями, приводит к сложностям учёта и контроля перемещение МБКО, делая невозможным учёт на некоторых критически важных технологических этапах. Сильное влияние человеческого фактора является причиной того, что получаемые данные не достоверны, не актуальны и не полные.

Вместе с тем проблема идентификации объектов в том числе и автоматическая идентификация широко известна и хорошо изучена как в общей постановке [9, 11, 14], так и применительно к транспортным [10] и логистическим системам [12, 13].

Методы автоматической идентификации основываются на ряде известных технологий: оптическое распознавание штрих кодов (*2D*, *3D*, *QR-cod*) [15, 17], в том числе с использованием нейронных сетей [16], идентификация с помощью *Bluetooth* [6, 18, 19, 20] и *RFID* [8].

Существуют ограничения, вводимые авиакомпаниями, на использование активных меток на борту воздушного судна во время полёта. Поэтому в качестве базовой была выбрана технология *RFID* [21-24] имеющая длительную историю успешного применения в различных, сильно различающихся областях [25-29].

Широкое распространение технология *RFID* получила так же в технологически близких областях, связанных с контролем перемещения грузов и транспорта в портах [30, 31], контейнерных терминалах [32, 33], складской логистике и контроле в цепях поставок [34-36].

В индустрии авиаперевозок *RFID* маркировка успешно используется для отслеживания процесса погрузки багажа авиапассажирами [37, 38, 39] и контроля перемещения багажных тележек [40].

Каждое решение практической задачи на основе технологии *RFID* является уникальным. Для эффективного решения конкретной практической зада-

чи приходится осуществлять подбор и испытание различных меток [45], разрабатывать специализированные считыватели [41], антенны [42] и метки, адаптированные к геометрическим формам, физическим свойствам и параметрам контролируемых объектов [43, 44].

Технология *RFID* не использовалась ранее для маркировки МБКО в силу ряда причин. Во-первых, МБКО представляет из себя металлический ящик. Во-вторых, технология перевозки предполагает установку МБКО в плотную друг к другу, в несколько рядов по ширине и высоте, что приводит, в общем случае, к полному экранированию радиочастотной метки. Для решения задачи маркировки МБКО *RFID* меткой автором статьи проведены исследования и испытания различных видов и типов меток, выбраны места установки меток на МБКО, разработана система установки антенн и создан уникальный алгоритм идентификации [4].

По имеющейся у автора информации, подобные работы проводились в аэропортах московского региона на предмет использования *RFID* технологии для маркировки предметов комфорта необходимых пассажирам во время полёта (пледы, подушки и т.п.) и для учёта комплектов питания. Данные работы находятся на стадии технических испытаний (по состоянию на 2020 год).

Недавно авиакомпании смягчили ограничения на использование активных меток на борту самолёта, что даёт шанс на использование технологии *Bluetooth* для маркировки МБКО. Поведённые испытания и исследовательские работы показывают, что технология *Bluetooth* имеет ряд преимуществ и ограничений, но может быть применена в случае использования меток с адаптивным поведением [5, 6].

Методология. Основная идея и новизна работы стоит в оснащение транспортно-технологического средства, как основного элемента транспортно-логистической системы, системами идентификации, контроля и учёта выполнения операций погрузки-разгрузки МБКО. Созданная система единственная и уникальна в российской практике.

Разработанная автором статьи система контроля за оборотом мобильного оборудования СКО МБКО [3, 4, 7] позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и полностью исключить человека из процесса фиксации результатов выполнения отдельных технологических операций, благодаря использованию различных технологий автоматической идентификации, дополняющих друг друга.

Использование технологии *RFID* в данной области является уникальным решением [4].

Планируется, что дальнейшее развитие ТТС связано с их интеллектуализацией. При этом интеллектуальные транспортно-технологические средства (ИТТС), разработанные в рамках концепции «Цифровой автолифт» [1] будут оснащаться дополнительными системами, в частности модулями системы контроля оборота мобильного оборудования.

В этом случае интеллектуальная составляющая в ИТТС обеспечивается на аппаратном уровне реализации за счет новейших интеллектуальных сенсоров и датчиков, используемых при оперативном оценивании состояния ИТТС, перевозимых грузов и окружающей обстановки, а на программном уровне – соответствующими моделями и алгоритмами, базирующимися на декларативных и процедурные знаниях, о рассматриваемой предметной области.

В настоящее время в состав ИИТС входит автомобильная платформа с электронным оборудованием, контейнером, а также грузоподъемные механизмы. Они оснащены различными датчиками и измерительно-вычислительными подсистемами (порядка 50 шт.), чтобы обеспечить их работу в едином цифровом пространстве аэропорта.

На рисунке 1 представлена обобщенная структура ИИТС [1].

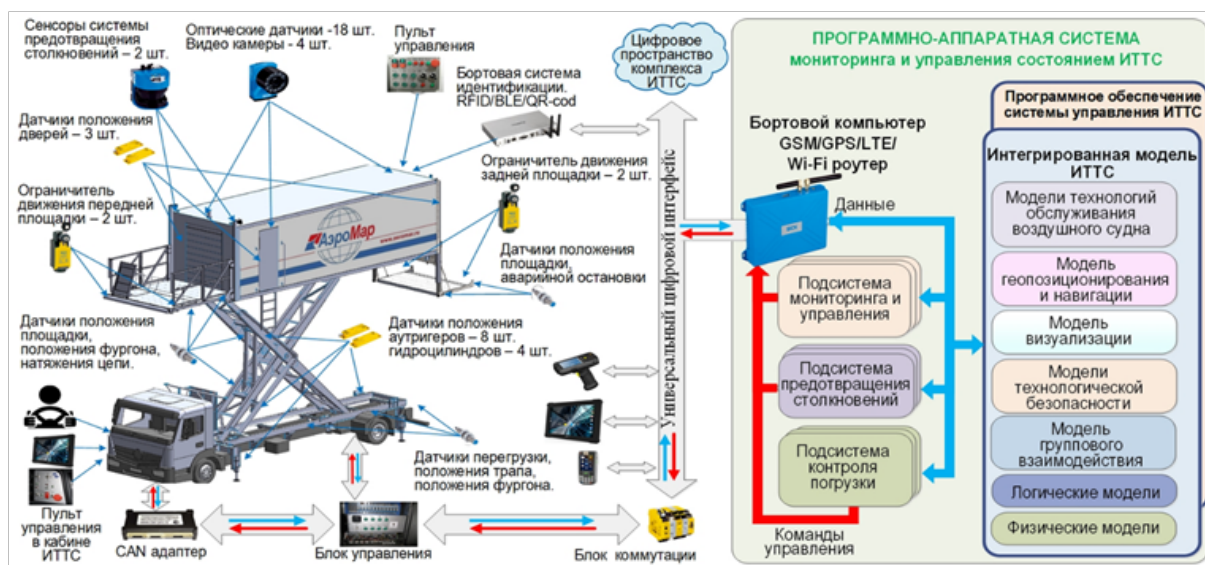


Рисунок 1 – Обобщенная структура ИИТС

Целью ИИТС является качественное выполнение задач по сервисному обслуживанию воздушных судов (ВС), включающему в себя задачи по обеспечению своевременного вылета; поддержке необходимого уровня обслуживания пассажиров в части обеспечения их безопасности и комфорта в полете; задачи своевременной и качественной доставки грузов и вещей пассажиров с прибывающих воздушных судов, задачи качественного технического обслуживания прилетевших ВС. При этом сервисное обслуживание ВС должно проводиться в соответствии с установленными регламентами.

Использование интеллектуальных систем и датчиков позволяет осуществить сквозной контроль за технологическим процессом комплектации МБКО, погрузки/выгрузки в ИТТС и на борт воздушного судна, обеспечить инструментальный контроль технологических процессов в любой точке лётного поля, сделать процесс сбора первичных данных объективным, автоматизированным и максимально достоверным.

Проведенные исследования показали, что ИТТС должно иметь возможность функционировать автономно, так как «облачная» реализация невозможна из-за неустойчивости и наличия зон отсутствия сетей GSM/LTE/UMTS. Автономность ИТТС достигается установкой специального оборудования (различных датчиков, сенсоров, киберфизических систем (КФС) и т.п.) под управлением универсального бортового

компьютера, на котором функционирует специальное программное обеспечение (СПО) СКО БКО.

На данный момент времени указанное СПО обеспечивает требуемый уровень автономного функционирования ИТТС, в рамках которого реализованы различные технологии информационного обмена. Разработанное СПО позволяет:

- обмениваться данными с Системой контроля оборота МБКО;
- обмениваться информацией с внешними системами аэропорта;
- передавать данные другим ИТТС;
- предоставлять доступ и обмениваться данными с внешними пользователями.

Важное значение при решении задач автоматизации и интеллектуализации процессов функционирования ИТТС играют модели, методы и алгоритмы мониторинга и управления как отдельными ИТТС, так и их группировкой. В работах [2-3] были описаны модели отдельных подсистем ИТТС. В данной статье основное внимание уделим описанию алгоритмов реализации основных процессов, обеспечивающие выполнение ИТТС основного технологического процесса и обмен информацией с системой контроля оборота МБКО [7].

Результаты. Основными результатами работы является разработка и реализация алгоритмов, обеспечивающих автономное функционирование ИТТС

1. Алгоритм, обеспечивающий реализацию про-

цесса авторизации. ИТТС для работы в информационном пространстве аэропорта и для доступа к информационным ресурсам должен быть авторизован и получить определённые права доступа. Авторизация происходит по уникальному номеру ИТТС, зашитому в память бортового компьютера. ИТТС, обращаясь к сервису авторизации получает в

ответ уникальный ключ с определёнными правами, которые могут изменяться системой в зависимости от состояния ИТТС, текущих планов и обстановки.

Алгоритм реализации процесса авторизации представлен на рисунке 2. Полученные ключи доступа так же позволяют устанавливать связь между ИТТС для обмена данными.

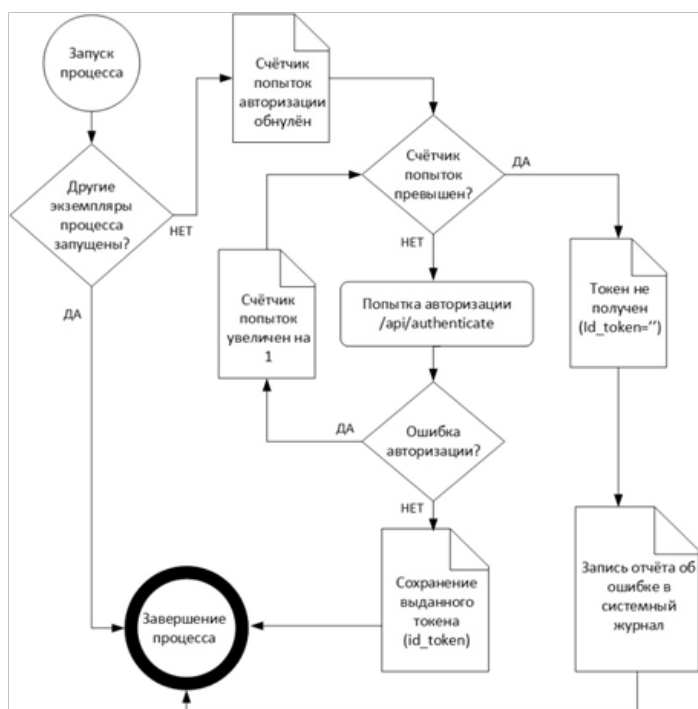


Рисунок 2 – Алгоритм реализации процесса авторизации ИТТС в СКО БКО

2 Алгоритм, обеспечивающий реализацию процесса синхронизации справочников. Каждая единица мобильного оборудования маркируется визуальной меткой, содержащей уникальный номер и QR-код. Такая метка используется для идентификации единицы мобильного оборудования человеком визуальным или ручным сканированием QR-кода любым мобильным сканером. Двухмерный код содержит уникальные номер и ссылку на облачный сервис СКО МБКО [7]. Уникальный номер используется системой для отслеживания перемещения мобильного оборудования по всей технологической цепочке.

Для автоматической идентификации на каждую единицу мобильного оборудования устанавливается одна и более меток радиочастотной идентификации (RFID) [3, 4, 7] или, как альтернатива, метки, работающие по технологии Bluetooth [5, 6]. Каждая метка содержит уникальный шестнадцатеричный код. Справочник системы содержат записи, устанавливающие соответствие между уникальным номером МБКО и уникальными номерами меток. В СКО МБКО разработан специальный модуль, позволяющий создавать и модифицировать справочник соответствия меток. В процессе эксплуатации МБКО периодически теряется, ломается и списывается. Появляется новое оборудование с новыми метками. Метки могут меняться на мобильном оборудовании в

процессе ремонта или в результате поломки.

Алгоритм реализации процесса синхронизации справочников (рис. 3) запускается каждый раз при активизации систем ИТТС или после 12 часов непрерывной её работы. Для успешного завершения процесса синхронизации справочников необходимо наличие доступа к СКО МБКО и успешная авторизация ИТТС.

Полноценная работа ИТТС в информационном поле аэропорта требует синхронизации множества других справочников – ИТТС, персонала, внешних устройств и т.д.

3. Алгоритм реализации процесса получения задания. Разработанная система контроля погрузки/разгрузки, установленная на ИТТС фиксирует сколько было фактически погружено и выгружено единиц МБКО. При этом каждая единица оборудования идентифицируется по её уникальному номеру. После окончания технологической операции формируется список фактически погруженного, выгруженного и оставшегося в кузове ИТТС мобильного оборудования.

Задания на погрузку формируются в СКО МБКО только для рейсов, вылетающих из аэропорта. По прилетающим рейсам отсутствует исходная информация о составе прилетевшего МБКО. Задание на погрузку содержит информацию о рейсе и список

уникальных номеров мобильного оборудования и используется системой погрузки ИТТС для контроля полноты загрузки на рейс.

Система контроля погрузки/разгрузки фиксирует в режиме реального времени какое МБКО погружено/выгружено из кузова ИТТС. Информация о полноте

выполнения задания отображается на экране системы и дублируется специальной световой индикацией.

Алгоритм реализации процесса получения задания (рис. 4) запускается периодически с заданным интервалом при наличии доступа к СКО МБКО и успешной авторизации ИТТС.

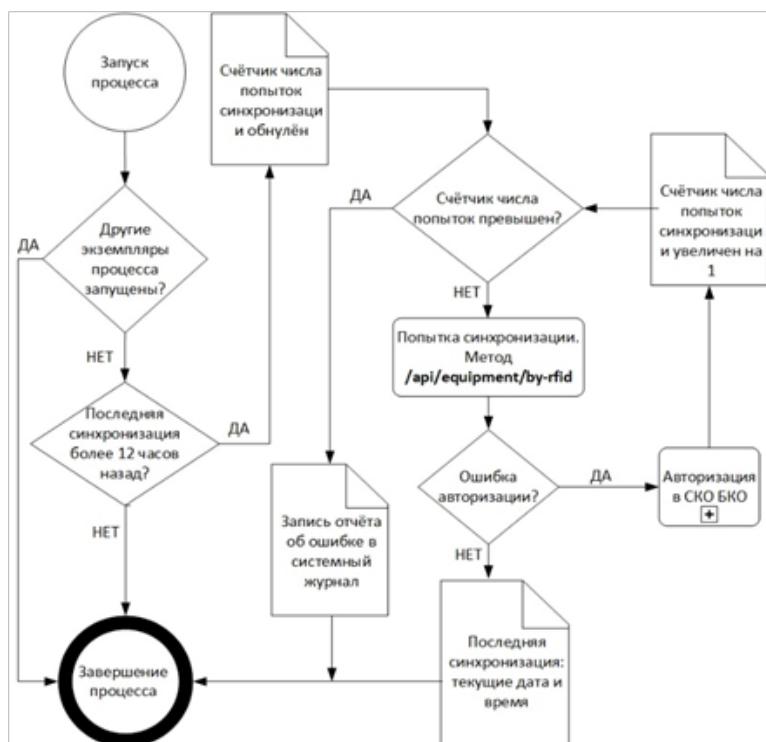


Рисунок 3 – Алгоритм реализации процесса синхронизации справочников ИТТС

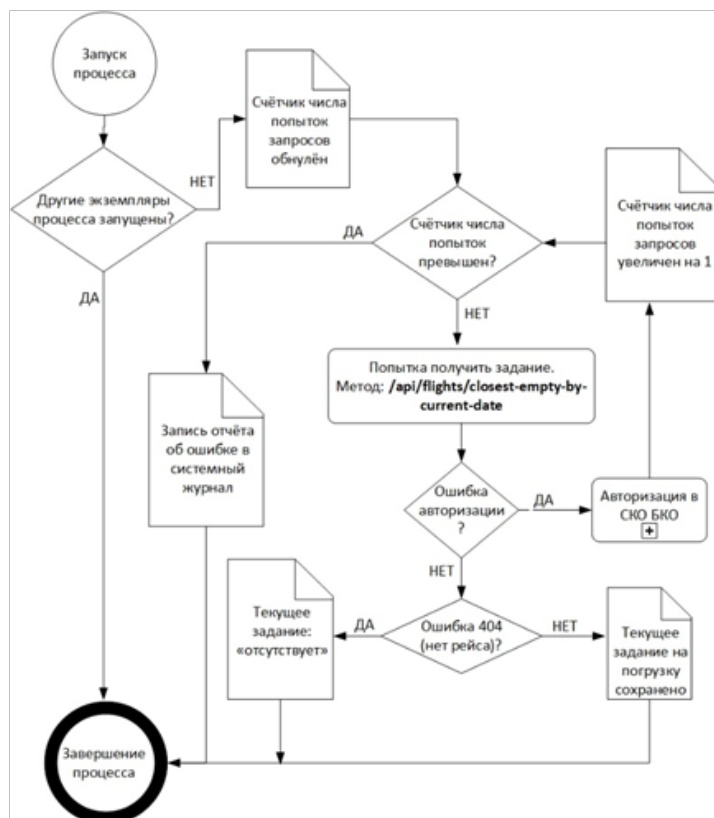


Рисунок 4 – Алгоритм реализации процесса получения ИТТС задания из СКО БКО

4. Алгоритм реализации процесса отправки отчётов. Созданная система контроля погрузки/разгрузки ИТТС после окончания технологической операции формируется отчёт о фактически погруженном, выгруженном и оставшемся в кузове ИТТС мобильном оборудовании.

Эти отчёты должны быть переданы в базу СКО МБКО для обработки и отслеживания перемещения мобильного оборудования. Оптимальным была бы передача сразу же после формирования отчёта, но связь или облачные сервисы СКО МБКО не всегда доступны. Поэтому отчёты будут переданы только тогда, когда ИТТС попадёт в зону устойчивой связи.

Конкретная ИТТС может находиться в зоне отсутствия связи сколь угодно долго, от нескольких минут до нескольких часов. Находясь в такой ситуации, ИТТС может передать отчёты другому ИТТС, подключившись к его локальной WiFi сети. Это второе ИТТС может передать отчёты в центральную систему, как только появится связь, или передать их следующему ИТТС.

Алгоритм реализации процесса отправки отчётов задания (рис. 5) запускается периодически с заданным интервалом при наличии доступа к СКО МБКО или к сети WiFi другого ИТТС и успешной авторизации ИТТС.

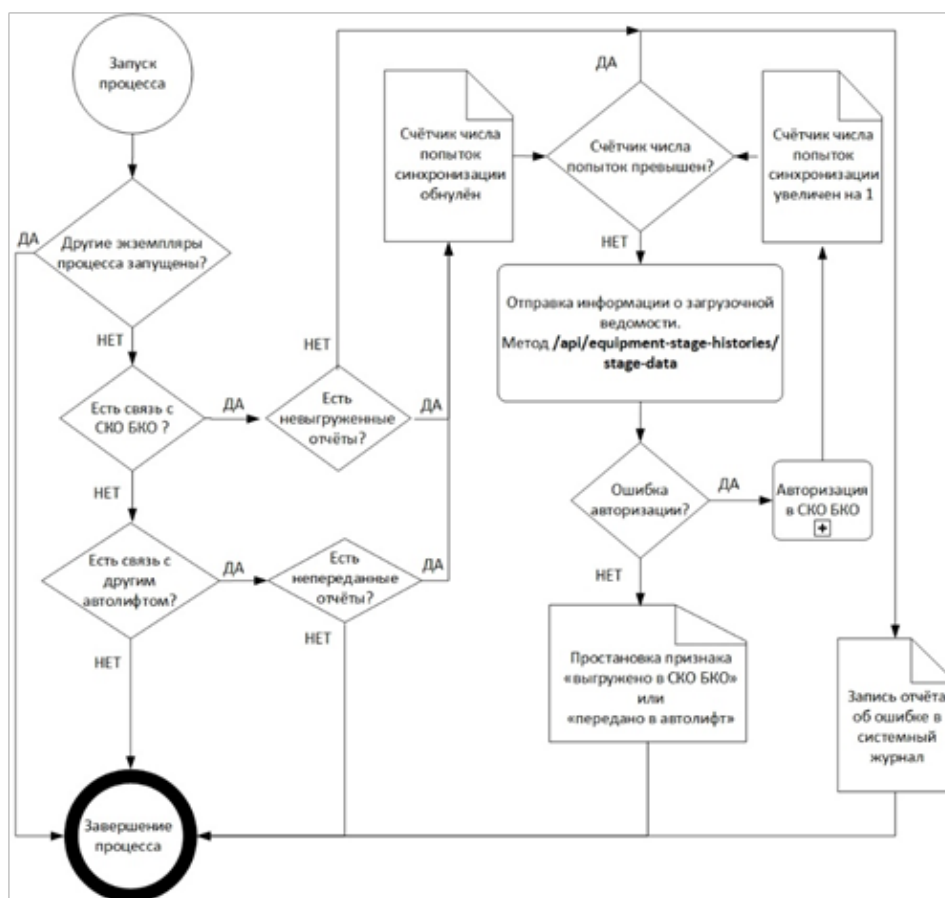


Рисунок 5 – Алгоритм реализации процесса выгрузки отчётов в СКО БКО и передача отчётов в другие ИТТС

5. Алгоритм реализации процесса определения статуса ИТТС. Осуществление автоматического контроля за технологическим процессом, предполагает возможность определения текущего состояния ИТТС в каждый момент времени. ИТТС – это мобильная система, поэтому необходимо контролировать в какое время и в каком месте выполнялись технологические операции. В рамках разработанного алгоритма статус ИТТС определяется для конкретного времени и реализован в виде записи с множеством полей разного типа – координаты местоположения, состояние систем ИТТС, позиционные и идентификационные метки, дополнительные признаки и т.д.

Координаты GPS/ГЛОНАС получаются от

встроенного GPS приёмника. Система управления ИТТС формирует агрегированный показатель в соответствии с состоянием по модели ИТТС, показания датчиков шасси и рабочих органов.

Позиционные метки расположены в определённых местах предприятия и по ним можно определить относительное положение ИТТС. Например, метки, установленные в створах погрузочных ворот, позволяют однозначно определить номер ворот на погрузочной эстакаде и которых стоит ИТТС.

Идентификационные метки, установленные на ИТТС и другие специализированные транспортные средства (автомобили, трактора, погрузчики и т.д.) позволяют определить какие средства механизации были задействованы при погрузке/разгрузке

ИТТС. Идентификационные метки, установленные в пропусках персонала, позволяют однозначно определить кто конкретно участвовал в процессе перемещения МБКО.

Терминал системы управления ИТТС позволяет водителю-экспедитору вводить predetermined состояния или произвольное описание ситуации.

Аналогичные действия возможны и с мобильных терминалов сотрудников других аэродромных служб, которые могут подключаться к локальной сети ИТТС.

Алгоритм реализации процесса определения статуса (рис. 6) запускается по требованию любого из процессов системы управления ИТТС, по внешним и внутренним событиям.

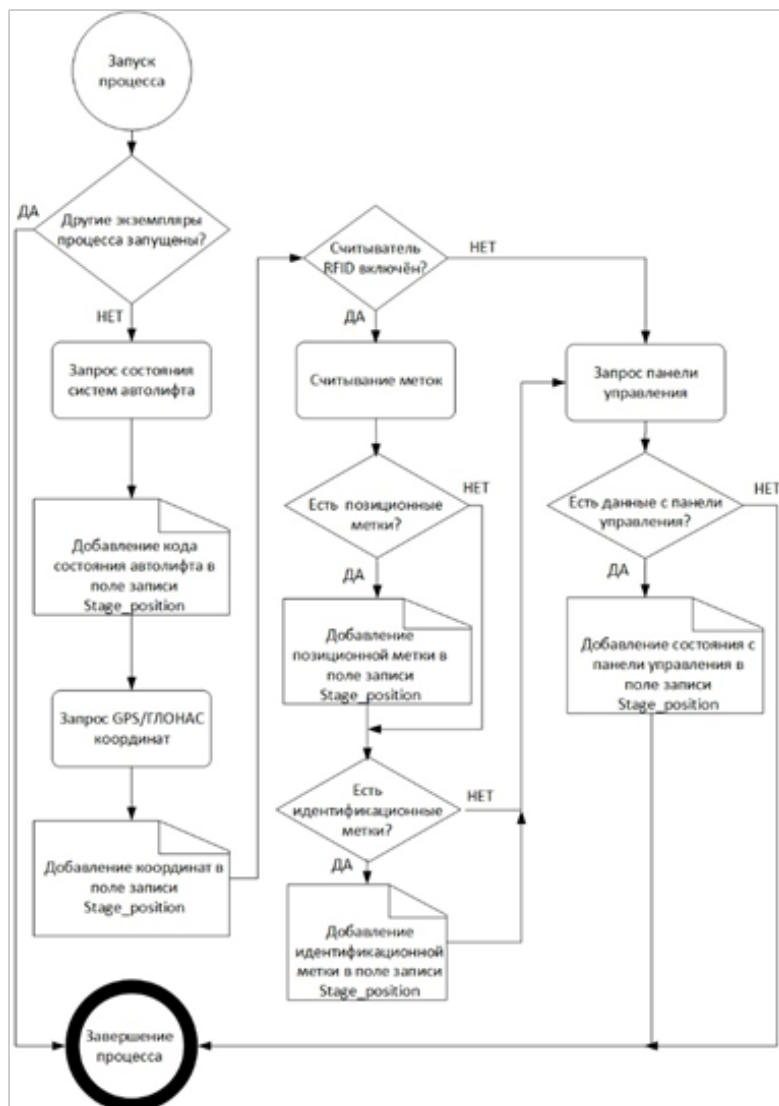


Рисунок 6 – Алгоритм реализации процесса определения статуса ИТТС

6. Алгоритм реализации процесса выполнения контроля операций погрузки-разгрузки в ИТТС. Предлагаемый алгоритм реализации процесса контроля выполнения операций погрузки-разгрузки в ИТТС (рис. 7) запускается в момент включения ИТТС и активизации системы управления. Выполняется непрерывно до момента выключения или перезагрузки системы. С помощью разработанного алгоритма осуществляется непрерывный анализ наличия связи с СКО МБКО и при ее наличии проводится синхронизация справочников, запрос задания и выгрузку отчётов. При обнаружении связи с другим ИТТС осуществляет попытку передачи отчётов в это ИТТС.

Погрузка/разгрузка МБКО физически возможна только при открытых дверях. События открытия передней или задней двери кузова ИТТС является триггером запуска процессов определения статуса ИТТС и считывания в ИТТС, который выполняется до закрытия двух дверей одновременно.

7. Алгоритм реализации процесса считывания информации в ИТТС. Алгоритм реализации процесса считывания в ИТТС запускается как подпроцесс процесса контроля выполнения операций погрузки-разгрузки в ИТТС (рис. 7).

Алгоритм реализации рассматриваемого процесса запускается по факту открытия одной из дверей кузова ИТТС и завершается при закрытии двух д

рей одновременно.

Алгоритм реализации процесса считывания информации в ИТТС управляет работой специализированного оборудования и определяет какое МБКО было погружено и выгружено из ИТТС за время пока

были открыты двери, формируя отчёты о погрузке/разгрузке.

Подробно способы идентификации МБКО, технические решения и алгоритмы работы описаны в [4].

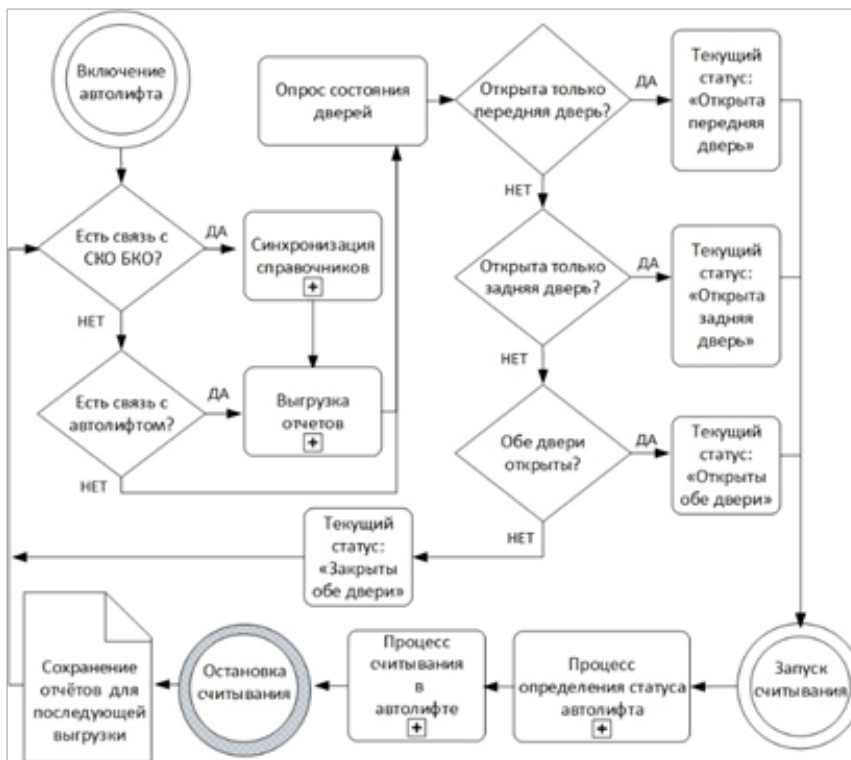


Рисунок 7 – Алгоритм реализации процесса выполнения операций погрузки-разгрузки в ИТТС

Обсуждение. Технологии *RFID* давно и широко используются во множестве областей для контроля за объектами различного типа. Решения, разрабатываемые в каждом конкретном случае уникальны, могут быть эффективны, но и весьма ограничены для тиражирования и распространения в другие, даже смежные области. Общим для всех предлагаемых решений, является то, что зона контроля – это ограниченная территория, с заранее фиксированными точками в которых установлено специальное оборудование. Специфика технологии оборота мобильного оборудования, предполагает осуществлять контроль за перемещением в любой точке зоны аэропорта, где использование стационарно установленного оборудования для *RFID* невозможно. Созданное интеллектуальное транспортно-технологическое средство, как элемент системы контроля оборота МБКО, является по сути передвижной (мобильной) системой идентификации, используя которую можно в реальном масштабе времени определять как местоположение данной системы, так и объекты, которые проходят через эту точку.

Для технологии *RFID* возможно использование ручного сканера, что позволяет также осуществлять контроль в любой точке. Однако использование ручного сканера предполагает участие человека, что

снижает надёжность системы, понижает уровень достоверности данных и является потенциальной уязвимостью всей контролирующей системы в целом. Так же, требуется разработка и реализация алгоритмов передачи данных с ручного сканера в систему контроля оборота МБКО.

Созданная ИТТС – уникальная Российская разработка. От имеющихся зарубежных аналогов [46] её отличает возможность использования комбинированных технологий идентификации (*RFID*, *Bluetooth*, *QR-cod*), абсолютная мобильность и автономность, открытость для внешних коммуникаций и подключения специализированных пользователей, возможность учета и контроля всех операций погрузки-разгрузки, независимо от места их выполнения и наличия мобильного интернета.

ИТТС – это мобильная автономная система, выполняющая технологические операции по всей территории аэропорта. ИТТС тесно интегрируется в технологические процессы. Системы ИТТС позволяют собирать в режиме реального времени актуальные, объективные и достоверные данные о ходе выполнения технологических операций автоматически без или с минимальным участием человека.

ИТТС имеет развитые коммуникационные возможности, что позволяет создать цифровое

пространство ИТТС, в котором могут функционировать все его системы и к которому могут подключаться множество различных внешних пользователей.

Выводы. В статье представлен минимально необходимый набор алгоритмов реализации процессов, обеспечивающих автономное функционирование мобильных интеллектуальных транспортно-технологических средств и их групповое взаимодействие. Описаны конкретные алгоритмы реализации процессов обмена данными с СКО МБКО, обеспечивающие координацию действий ИТТС, выдачу заданий, сбор отчётов о результатах выполнения заданий и других технологических операций.

Описанные алгоритмы положены в основу организации информационного обмена между ИТТС. Алгоритмы обмена информацией в рамках группы ИТТС требуют отдельного рассмотрения, особенно с учётом возможного ограничения или полного отсутствия мобильного интернета, обеспечивающего синхронизацию с СКО МБКО. Требуется оценка и выработка критериев необходимости и условий передачи информации от одного ИТТС другому, с целью уменьшения времени доставки данных в СКО МБКО.

Учитывая условия работы средств сотовой связи в зоне аэропорта, представляется необходимым в перспективном рассмотреть возможность организации альтернативных каналов передачи данных, например, с использование технологии *LoRa* [47]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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

информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1(36).

8. Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д., Миронова Е.Г., Стыскин М.М. Применение технологии радиочастотной идентификации для построения системы контроля оборота бортового оборудования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2020. – № 1. – С. 13-20.

9. Байзитова Г.У. Сравнительный анализ технологий идентификации и сбора информации // E-Scio. – 2019. – № 11 (38). – С. 100-109.

10. Вишневецкий В.М., Титов А.Ю. Методы и средства детектирования и идентификации транспортных средств в интеллектуальных транспортных системах // Датчики и системы. – 2014. – № 9 (184). – С. 59-68.

11. Савинкова С.А. Разработка метода отслеживания перемещений объектов // Вестник современных исследований. – 2021. – № 1-6 (39). – С. 28-36.

12. Соколова В.Д. Автоматическая идентификация грузов в логистических системах // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2022"). Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. Москва, 2022. – С. 688-693.

13. Павлова Я.В., Сакович С.И. Применение информационных технологий для электронного сопровождения грузов // Modern Science. – 2019. – № 5-1. – С. 133-136.

14. Фомин А.А., Трифонов А.А. Обзор методов идентификации в информационных системах // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2015. – № 4 (33). – С. 141-150.

15. Макаров Р.А. Распознавание цифр маркировки грузового контейнера с использованием алгоритма FASTER-RCNN // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3 (99). – С. 203-213.

16. Макаров Р.А. Алгоритм распознавания маркировки грузового контейнера с использованием глубоких нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4 (100). – С. 225-237.

17. Маслова А.И., Адилгалиева Р.А. Применение штрих-кода в логистике // В сборнике: Инструменты и механизмы формирования конкурентоспособной государственно и региональной экономики. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 34-38.

18. Лызганов М.С. Концепт детектора транспорта на основе технологии *BLUETOOTH* // В сборнике: Развитие науки, национальной инновационной системы и технологий. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ). Белгород, 2020. – С. 41-44.

19. Lewandowski M., Płaczek B., Bernas M., Szymała P. Road traffic monitoring system based on mobile devices and *BLUETOOTH* low energy beacons // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2018. – Т. 2018. – С. 3251598.

20. Bernas M., Płaczek B., Korski W. Wireless network with *BLUETOOTH* low energy beacons for vehicle detection and classification // Communications in Computer and Information Science. – 2018. – Т. 860. – С. 429-444.

21. Баранников А.И. Стандартизация в области радиочастотной идентификации // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. – 2019. – № 15. – С. 66-73.

22. Владимиров А.А. Преимущества и недостатки радиочастотной идентификации *RFID* // В сборнике: Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 31-34.

23. Ворох Д.А., Садыков А.Н. Активная радиочастотная идентификация и её перспективные направления развития и применения // В сборнике: Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией А.И. Данилина. – 2018. – С. 26-28.

24. Рыбин М.А. Анализ систем радиочастотной идентификации (*RFID*) // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. – 2019. – № 15. – С. 50-58.

25. Давыдов К.С., Астахов С.П. Применение *RFID*-меток в различных отраслях деятельности // В сборнике: Наука и технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник научных трудов по материалам XXIX Международной научно-практической конференции. Анапа, 2021. – С. 44-48.
26. Верзун Н.А., Колбанёв М.О., Омелян А.В. *RFID*-технологии для эффективности и безопасности документооборота // В сборнике: Технологии информационно-экономической безопасности. Санкт-Петербург, 2016. – С. 44-51.
27. Конин А.С. Внедрение и применение *RFID*-технологий в авиационной промышленности // Радиопромышленность. – 2016. – № 2. – С. 25-28.
28. Бойцов А.К., Потапов А.П., Булатов А.С. Проблемы и пути решения применения *RFID* технологий в лесном хозяйстве // В сборнике: Информационные системы и технологии: теория и практика. сборник научных трудов. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2021. – С. 17-22.
29. Яшин М.Г., Кузнецов П.А., Мелешко А.В. Способы контроля участков железнодорожного пути с применением систем технического зрения и *RFID* технологии // Специальная техника и технологии транспорта. – 2019. – № 1 (39). – С. 61-65.
30. Веремеенко Е.Г. Применение системы радиочастотной идентификации (*RFID*) для автоматизации работы автомобильного транспорта в порту // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 (27). – С. 237.
31. Белая Т.И., Каликина Н.В. Автоматизированная система мониторинга перегрузочных работ в грузовом районе морского порта // В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов конференций: Санкт-Петербургской международной конференции и Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. Санкт-Петербург, 2020. – С. 122-125.
32. Зенкин А.А. Об обеспечении контроля за перемещением контейнеров и сохранностью грузов на контейнерных площадках и терминалах // В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 202-207
33. Орлов А.А., Астафьев А.В., Попов Д.П., Пшеничкин М.В. Автоматический контроль движения изделий на основе *RFID*-идентификации при перемещении подъемно-транспортными механизмами // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 12. – С. 46-48.
34. Беляева Е.Р. Применение *RFID*-меток в складской логистике // В сборнике: Актуальные исследования студентов и аспирантов в области гуманитарных, общественных, юридических и экономических наук. Материалы научного мероприятия. Под общей редакцией А.В. Жебо, О.В. Лешковой. Хабаровск, 2022. – С. 7-11.
35. Макаруч Н.И. Вопросы прогнозирования развития *RFID*-технологии в цепях поставок // Системный анализ и логистика. 2019. № 2 (20). С. 59-66.
36. Шевелева К.И., Шуринова В.А., Иваев М.И. Особенности технологии *RFID* и ее применение на промышленных складах // Наукосфера. – 2020. – № 12-1. – С. 181-185.
37. Белянина И.В. Внедрение *RFID* - системы в аэропорт для качественной и количественной обработки багажа // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 6-1 (62). – С. 48-50.
38. Симакова З.Л., Степанова А.А. Исследование барьеров применения *RFID*-меток для отслеживания багажа пассажиров в аэропортах России // Экономические исследования и разработки. – 2020. – № 5. – С. 20-33.
39. Тешева П.Д., Богданова Н.И. Анализ применения *RFID*-меток при обработке багажа на воздушном транспорте // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2022. Материалы Международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. – 2022. – С. 289-292.
40. Панфилов А.Н., Сафонов А.А. Применение *RFID*-технологии для контроля перемещения багажных тележек в аэропорту // В сборнике: Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 96-98.
41. Бабич В.В., Осипов С.О., Собченко М.И., Ухандеев В.И. Разработка стационарного UHF *RFID*-устройства дальнего действия для идентификации объектов в различных сферах деятельности // Электронные информационные системы. – 2022. – № 2 (33). – С. 25-29.
42. Верёвкин А.П., Кириллов В.В., Мунина И.В., Туральчук П.А. Малогабаритные СВЧ-антенны для систем радиочастотной идентификации металлических объектов // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – Т. 1. – С. 444-448.
43. Дудников С.Ю., Ухов А.А., Шаповалов С.В., Стеблевская И., Ли Р.В. Беспроводной датчик температуры и влажности с передачей данных посредством технологии радиочастотной идентификации // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2018. – Т. 18. – № 3. – С. 807-810.
44. Резник А.Ю., Эпов И.В. Объемные *RFID*-метки UHF-диапазона для решения задач идентификации металлических объектов // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16. – № S9-2 (119). – С. 597-601.
45. Широкова Е.А. Исследовательские испытания радиочастотной метки // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2022. – Т. 2. – С. 98-100.
46. Sophy, a connectivity solution for trolleys // <https://www.aeroexpo.online/prod/safran-cabin/product-187296-75757.html>, <https://www.youtube.com/watch?v=M7nz5-gthYo>.
47. Андриянов Н.А., Кутузов В.И. Применение технологии LORA для связи автономных транспортных средств // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2019. – № 2. – С. 8.

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

*Статья поступила в редакцию 31.07.2023
Статья принята к публикации 15.09.2023*

УДК 004.855.5

EDN: SLMOWL

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ОТВЕТОВ НА ПРОЕКТИВНЫЕ МЕТОДИКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТА РОРШАХА

© 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: 0009-0006-9211-7012

ГРИГОРЬЕВА Дарья Дмитриевна, студентка кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

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

ORCID: 0009-0001-2362-1075

СЕРОВ Даниил Валерьевич, магистрант кафедры «Программирования»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: serovd33@gmail.com)

ORCID: 0009-0000-2166-5974

СОРОКИН Дмитрий Сергеевич, магистрант кафедры «Программирования»

Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. Данная статья описывает исследование применения методов машинного обучения и глубокого обучения для классификации ответов на проективные методики психологического тестирования на примере теста Роршаха. Основной целью данной статьи является изучение метода классификации ответов на тест Роршаха на основе использования нейронных сетей глубокого обучения для выполнения бинарной классификации и машинного на основе наивного Байесовского классификатора – для многоклассовой. Исследование включало в себя классификацию ответов тестируемого на основе наличия или отсутствия в них признаков, принадлежащих категориям “популярные” и “животные”. Использование данного метода исключает возникновение ошибок, допущенных из-за человеческого фактора, например, помощь тестируемому в распознавание образов, личные предубеждения, ошибки в интерпретации результатов. Данные ошибки могут существенно повлиять на точность интерпретации результатов, от которой напрямую зависит правильность поставленного диагноза. В работе использовался язык программирования *Python* с подключением библиотек, предназначенных для работы с нейронными сетями: *TensorFlow*, *scikit-learn* и *Keras*. Результаты исследования демонстрируют высокую точность и эффективность созданных алгоритмов при классификации ответов на тест Роршаха, что позволяет использовать данные методы в практике психологической и психиатрической диагностики.

Ключевые слова: нейронная сеть, бинарная классификация, машинное обучение, глубокое обучение, психологическое тестирование, тест Роршаха, наивный Байесовский классификатор, *Python*, *TensorFlow*, *scikit-learn*, *Keras*.

ANALYSIS RESPONSES TO PROJECTIVE TECHNIQUES OF PSYCHOLOGICAL TESTING WITH USING NEURAL NETWORKS ON THE EXAMPLE OF THE RORSCHACH TEST

© The Authors 2023

MARTYSHKIN Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, head of Programming Department
Penza state technological University

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

GRIGOREVA Daria Dmitrievna, student of the Computer Engineering Department

Penza State University

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

SEROV Daniil Valerevich, master's student of the Programming Department

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: serovd33@gmail.com)

SOROKIN Dmitrii Sergeevich, master's student of the Programming Department

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: dsorokin.job@yandex.ru)

Abstract. This article describes a study on the application of machine learning and deep learning methods for classifying responses to projective psychological testing methods using the Rorschach test as an example. The main

goal of this article is to study the method of classifying responses to the Rorschach test based on the use of deep learning neural networks for binary classification and machine learning based on the naive Bayes classifier for multiclass classification. The study included classifying the participant's responses based on the presence or absence of features belonging to the categories of "popular" and "animals". The use of this method eliminates errors caused by human factors, such as assisting the participant in recognizing patterns, personal biases, and errors in interpreting the results. These errors can significantly affect the accuracy of result interpretation, which directly affects the accuracy of the diagnosis. The Python programming language was used in the study, along with libraries designed for working with neural networks such as TensorFlow, scikit-learn, and Keras. The results of the study demonstrate high accuracy and effectiveness of the developed algorithms in classifying responses to the Rorschach test, allowing for the use of these methods in psychological and psychiatric diagnostics.

Keywords: neural network, binary classification, machine learning, deep learning, psychological testing, Rorschach test, naive Bayes classifier, Python, TensorFlow, scikit-learn, Keras.

Для цитирования: Мартышкин А.И. Использование нейронных сетей для анализа ответов на проективные методики психологического тестирования на примере теста Роршаха / А.И. Мартышкин, Д.Д. Григорьева, Д.В. Серов, Д.С. Сорокин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 42-49. – EDN: SLMOWL.

Введение. Тест Роршаха или «пятна Роршаха» – психодиагностический тест для исследования личности, опубликован в 1921 году швейцарским психиатром и психологом Германом Роршахом. Тест состоит из 10 чёрно-белых, чёрно-красных и цветных симметричных изображений (рис. 1), похожих на чернильные или акварельные пятна. Тестируемый должен рассмотреть изображения и описать то, что он видит на них. Проводя исследование среди 405 испытуемых, Роршах заметил, что некоторые категории ответов свидетельствуют об определённых свойствах личности, показал, чем ответы здоровых людей отличаются от ответов психически больных [1, 2].

Уникальность теста заключается в том, что в его основе лежит проективная гипотеза, которая предполагает, что малоструктурированный стимульный материал наиболее точно отражает психологическую организацию человека. Испытуемый называет ответ сам, а не выбирает один из предложенных вариантов [3].

Тестируемому поочередно показывается каждое из 10 изображений, проводящий исследование не может подсказывать или давать оценку ответам

испытуемого, может лишь задавать уточняющие вопросы.

Далее ответы испытуемого формализуются по следующим параметрам:

- 1) локализация (Как испытуемый повернул изображение? Образ виден на всём изображении, его части или белом фоне?);
- 2) детерминанты (На ответ повлиял цвет, форма или всё сразу? Какое влияние на ответ оказала светотень? Изображение движется?);
- 3) уровень формы (Образ виден чётко или нет?);
- 4) содержание (Что испытуемый видит на карточке?);
- 5) оригинальность (Ответ относится к популярным или оригинальным ответам?) [4].

Для постановки предварительного диагноза необходимо учитывать количество ответов по животным и количество популярных ответов. Ответами по животным являются любые ответы, содержащие в себе название животного. Популярные ответы – ответы, встречающихся более чем у 30% тестируемых [5].

Список популярных ответов по каждой карточке представлен в таблице 1.

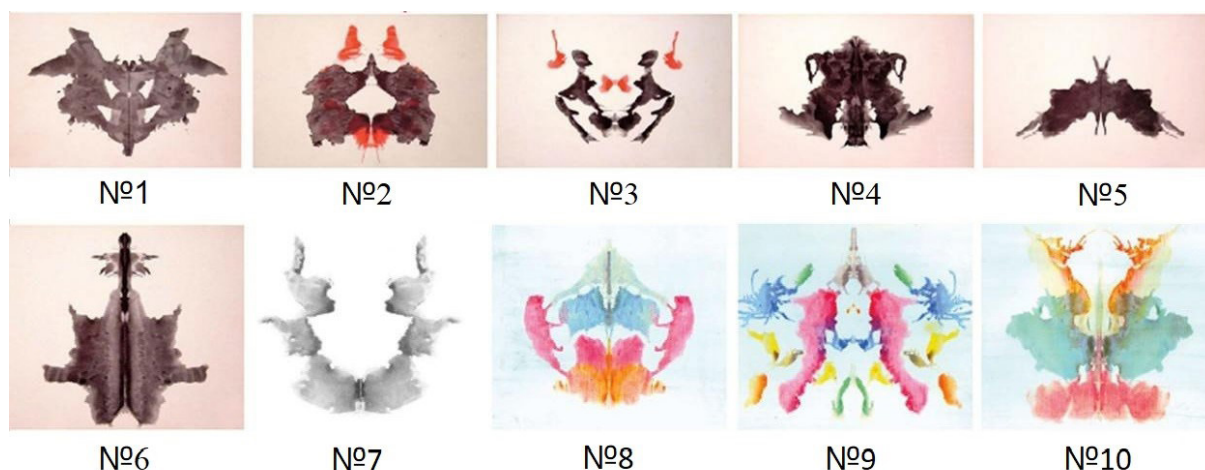


Рисунок 1 – Карточки теста Роршаха

Таблица 1 – Популярные ответы на тест Роршаха в соответствии с номерами карточек на рисунке 1.

Номер карточки	Популярные ответы
1	Летучая мышь, бабочка, птица, человек.
2	Человек, медведь, слон, собака.
3	Человек.
4	Летучая мышь, бабочка.
5	Летучая мышь, бабочка, птица.
6	Черепашка.
7	Облако.
8	Собака, ящерица, тигр.
9	Голова человека.
10	Краб, осьминог, паук, собака, кролик, заяц, лев.

В интерпретации ответов на тест Роршаха существует определенный человеческий фактор. Это связано с тем, что психолог, проводящий тест, должен принимать во внимание множество факторов, таких как контекст ответа, эмоциональное состояние испытуемого, его индивидуальные особенности и т. д. Эти факторы могут влиять на интерпретацию ответов и оценку личности испытуемого. Человеческий фактор также может проявляться в предвзятом отношении психолога, его субъективных предпочтениях, представлениях и опыте. Это может привести к искажению интерпретации ответов и неправильной оценке личности испытуемого.

Цель данной работы – реализовать классификацию ответов на тест Роршаха с помощью нейронных сетей.

Методология исследования. Тест Роршаха является одним из наиболее известных мировых методов для индикации свойств личности и установки наклонений психики. Тест занимает лидирующие позиции среди методов, используемых в клинической практике на протяжении более 60 лет. Однако, традиционные методы оценки этого теста требуют высокой квалификации психолога и могут быть подвержены субъективным ошибкам, а существующее на данный момент онлайн-тестирование содержит варианты ответов, вследствие чего не может дать точную оценку личности тестируемого. В процессе тестирования не должно быть никаких отвлекающих факторов, которые могут "натолкнуть" тестируемого на тот или иной ответ, поэтому данные тесты можно рассматривать как развлекательные, они не могут использоваться во врачебной практике в отличие от программы для тестирования с использованием нейронной сети со свободным вариантом ответа [6, 7].

В этой связи, использование нейронной сети для сбора и обработки данных тестирования методом Роршаха представляет собой перспективный подход, который позволяет увеличить точность и объективность результатов тестирования, а также самостоятельно формализовать ответы быстрее, чем человек. Кроме того, разработка такого алгоритма может значительно упростить процесс проведения тестирования и снизить затраты на обучение

психологов [8].

Поиск в ответе тестируемого слова из категории «Популярные ответы» можно выполнить с помощью функции *search()* на *Python*, однако результат будет не совсем точным, так как не будут учитываться синонимы или другие вариации формы слова [9].

Наиболее рациональным является использование наивного Байесовского классификатора или наивного Байеса – алгоритма машинного обучения для многоклассовой классификации, так как он прост в реализации и работает с высокой скоростью [10].

Наивный Байес объединяет модель и правило решения. Он представляет собой формулу, вычисляющую условные вероятности, основанную на теореме Байеса – это простая математическая формула, используемая для вычисления условных вероятностей. Формула наивного Байесовского классификатора имеет вид

$$c^* = \arg_{c_j \in C} \max [\log P(c_j) + \sum_{i=1}^X P(x_i | c_j)],$$

где c^* – вероятностная оценка принадлежности входных данных к классу из множества категорий ,

C – множество категорий,

c_j – элемент множества C ,

X – количество категорий,

x_i – слово из множества ,

$P(x_i | c_j)$ – вероятностная оценка вхождения слова x_i в класс c_j ,

$P(c_j)$ – априорная вероятность класса c_j [11].

Формулу можно усовершенствовать, добавив, как параметр сглаживание Лапласа к x_i [12].

Если в введённом пользователем ответе, встречается слово или словосочетание из категории «Популярные ответы», ответ является популярным, далее наличие полученной категории можно проверить в списке популярных ответов для каждой карточки.

Для классификации ответа пользователя по категориям «Животное», «Не животное» рациональней использовать бинарную классификацию с применением глубокого обучения, так как тестируемый может вести название любого животного [13].

Для реализации нейронных сетей был выбран объектно-ориентированный язык программирования *Python*. Он поддерживает наибольшее количество библиотек для работы с нейронными сетями машинного и глубокого обучения, имеет удобную библиотеку *matplotlib* для построения графиков и *pandas* для обработки и преобразования входных табличных данных в тензоры. В качестве библиотеки для реализации модели машинного обучения была выбрана *scikit-learn*, так как она имеет уже готовые инструменты для инициализации модели без необходимости ручного задания формулы алгоритма. Для создания и работы с моделью глубокого обучения используется фреймворк *Keras* на ядре *TensorFlow*. Он является самым популярным среди библиотек глубокого обучения, так как обладает наибольшим функционалом для работы с нейронными сетями.

Создание и обучение нейронной сети на *sci-*

kit-learn начинается с определения архитектуры модели, которая может быть выполнена с помощью класса *MLPClassifier* или *MLPRegressor*, в зависимости от типа задачи. Этот класс позволяет определить количество скрытых слоев, количество нейронов в каждом скрытом слое, функцию активации и другие параметры модели [14].

После определения архитектуры модели необходимо подготовить данные для обучения. Это может включать в себя предобработку данных, такую как масштабирование и нормализацию, выбор признаков и разделение данных на обучающую и тестовую выборки [15].

Затем модель может быть обучена на обучающей выборке с помощью метода *fit*, который принимает на вход данные обучения и соответствующие метки классов или значения целевой переменной.

В процессе обучения модель будет обновлять свои веса, используя алгоритм обратного распространения ошибки.

После завершения обучения можно оценить точность классификации модели на тестовой выборке, используя метрику точности *accuracy_score*. Метрика возвращает отношение суммы истинно положительных и истинно отрицательных результатов к сумме всех полученных результатов классификации. Можно также использовать другие метрики, такие как среднеквадратическая ошибка или коэффициент детерминации, для оценки производительности модели.

Результаты. *Классификация популярных ответов.* Для обучения модели, создаётся датасет в формате *csv*, фрагмент которого представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Фрагмент датасета для категоризации популярных ответов

Категория	Популярный ответ
летучая мышь	Летучая мышь была замечена в саду, где искала пищу
бабочка	Бабочка плавала на поверхности воды, расправляя свои крылья
птица	Птицы имеют перья вместо шерсти или меха
человек	Ребенок, который играет в парке, очень смешной и милый
медведь	Существует несколько видов медведей, включая бурого, гризли, полярного и малайского
слон	Африканский слон – самый крупный вид слонов и обитает в Африке
собака	Большинство пород собак были выведены для определенных целей, таких как охота или охрана
черепаха	Некоторые виды черепах могут жить до нескольких сотен лет
облако	Облака представляют собой сгустки водяного пара и льда, которые наполняют небо

Классификации текста по категориям популярных ответов осуществляется с использованием наивного Байесовского классификатора, он сортирует введенный пользователем текст по категориям: летучая мышь; бабочка; птица; человек; медведь; слон; собака; черепаха; облако; ящерица; тигр; голова человека; краб; осьминог; паук; кролик;

заяц; лев.

Для каждой вышеописанной категории написано от 18 до 35 предложений.

При первом запуске ещё не обученного классификатора процент правильных ответов по категориям составлял 0.7222222222222222, что видно на рисунке 2.

```

Метрика ассигасу: 0.7222222222222222
Правильные результаты: 0          летучая мышь
1          бабочка
2          птица
3          человек
4          медведь
5          слон
6          собака
7          черепаха
8          облако
9          ящерица
10         тигр
11        голова человека
12        краб
13        осьминог
14        паук
15        кролик
16        заяц
17        лев
Name: label, dtype: object
Результаты классификации: ['летучая мышь' 'бабочка' 'птица' 'человек' 'медведь' 'слон' 'птица'
'птица' 'птица' 'ящерица' 'тигр' 'голова человека' 'краб' 'птица' 'птица'
'кролик' 'заяц' 'лев']

```

Рисунок 2 – Результаты работы наивного Байесовского классификатора до подбора параметров

α – параметр аддитивного сглаживания в теореме Лапласа. Как было сказано выше, добавление данного параметра к частоте появления слова в теореме Байеса является типичным решением проблемы неизвестных слов, так как не все слова, которые модель будет получать в качестве входных данных, есть в обучающей выборке. Идея заключается в том, что мы притворяемся как будто видели каждое слово на n раз больше, то есть прибавляем n к частоте каждого слова [16]. Добавим перебор значений гиперпараметра α , чтобы выяснить, при

каком значении этого параметра модель показывает наилучший результат. Для удобства представим метрику на графике *pyplot*. Рассмотрим α в пределах от 0.1 до 10.0, принадлежащих множеству [0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 4.5, 5.0, 6.5, 8.5, 10.0]. Наилучший результат модель показала при $\alpha=0.1$, что видно на графике рисунка 3.

Изменим параметр α на наилучший результат, показанный на графике – 0.1. На рисунке 4 видно, что точность прогноза повысилась до 0.9444444.

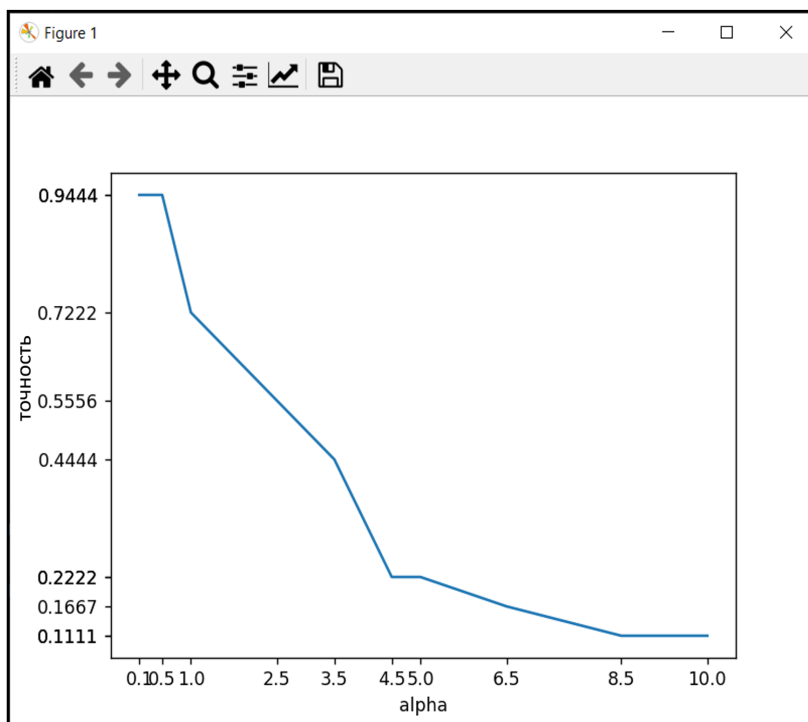


Рисунок 3 – График зависимости точности работы модели (%) от гиперпараметра α наивного Байесовского классификатора

```

Метрика ассигасу: 0.9444444444444444
Правильные результаты: 0          летучая мышь
1          бабочка
2          птица
3          человек
4          медведь
5          слон
6          собака
7          черепаха
8          облако
9          ящерица
10         тигр
11         голова человека
12         краб
13         осьминог
14         паук
15         кролик
16         заяц
17         лев
Name: label, dtype: object
Результаты классификации: ['летучая мышь' 'бабочка' 'птица' 'человек' 'медведь' 'слон' 'птица'
'черепаха' 'облако' 'ящерица' 'тигр' 'голова человека' 'краб' 'осьминог'
'паук' 'кролик' 'заяц' 'лев']
    
```

Рисунок 4 – Результаты работы наивного Байесовского классификатора после изменения α

Добавим проверку точности результата. Если она меньше 0.5, функция будет возвращать категорию «другое». Это означает, что введённый текст не подходит ни под одну категорию популярных ответов.

```
if max(predicted_probabilities) > 0.5:
    return result
return "другое"
```

Классификация ответов по животным. Для обучения и тренировки модели, создан датасет размерностью 5000 строк. Датасет формата *csv* состоит из двух столбцов. Первый содержит слова на русском языке, второй – метки: 1 для слов, относящихся к категории «Животные», 0 – для остальных слов. Фрагмент датасета представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Фрагмент датасета для обучения нейронной сети

Название	Метка
Пингвин Адели	1
Афганская борзая	1
Африканский слон	1
Африканская когтистая лягушка	1
Африканский лесной слон	1
Африканский пингвин	1
Африканская древесная жаба	1
Африканская дикая собака	1
Айнская собака	1

Так как *Keras* не работает напрямую с локальными файлами формата *csv*, невозможно сразу передать в модель данные, необходимо выполнить преобразование в бинарную матрицу. Преобразование для каждой колонки выполняется отдельно, так как они разных типов данных. Для текстовых данных преобразование выполняется с помощью библиотечной функции *Vectorizer()*, для колонки результата – преобразование в массив *np.array* [17].

```
# Инициализация векторизатора
vectorizer = CountVectorizer(binary=True)
# Преобразование данных в бинарную матрицу
x_train = vectorizer.fit_transform(dataframe['text']).toarray().astype('float32')
y_train = np.asarray(dataframe['label']).astype('float32')
```

Полученные данные необходимо разделить на обучающие и валидационные.

```
x_val = x_train[-1000:]
y_val = y_train[-1000:]
x_train = x_train[:-1000]
y_train = y_train[:-1000]
```

Далее необходимо сконструировать нейронную сеть и научить её отличать названия животных от остальных слов. Для этого инициализируем модель и добавим несколько полносвязных слоёв с операцией активации *relu* – блок линейной ректификации, который преобразует в 0 отрицательные значения, а

остальные распределяет в интервале [0;1], благодаря чему результат работы функции можно рассматривать как вероятность. Необходимо учитывать, что количество скрытых нейронов в слое не должно быть больше удвоенного размера входного слоя. Последний слой выводит скалярное значение [18].

```
model = Sequential()
model.add(Dense(16, activation='relu',
input_shape=num_words))
model.add(Dense(16, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='sigmoid'))
```

При компиляции модели добавим оптимизатор и функцию потерь для перекрёстной энтропии, так она даёт наиболее точные результаты при выполнении бинарной классификации. В качестве метрики будем отслеживать точность [19].

```
model.compile(loss='binary_crossentropy',
optimizer='rmsprop', metrics=['accuracy'])
```

Обучим модель.

```
result = model.fit(x_train, y_train, epochs=4,
batch_size=512, validation_data=(x_val, y_val))
```

После обучения модели, с помощью библиотеки *pyplot* выведем график потерь и точности работы модели. На рисунках 5 и 6 кривые функции потерь при обучении и валидации практически совпадают и выходят на плато одновременно. Для указанного случая оптимальным будет количество эпох в интервале от 15 до 25, что является оптимальным состоянием между недообучением и переобучением модели [20].

Так как это бинарная классификация, показатели довольно низкие, изменим количество эпох на 24, как видно на рисунках 7 и 8, потери падают, а точность повышается практически до 1.

```
result = model.fit(x_train, y_train, epochs=24,
batch_size=64, validation_data=(x_val, y_val))
```

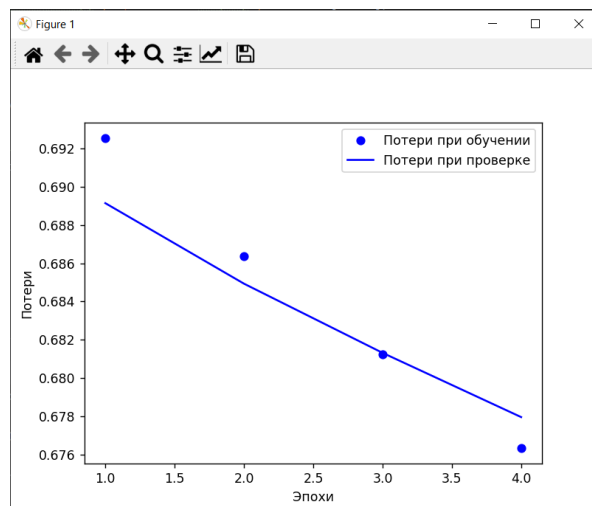


Рисунок 5 – График потерь модели при обучении

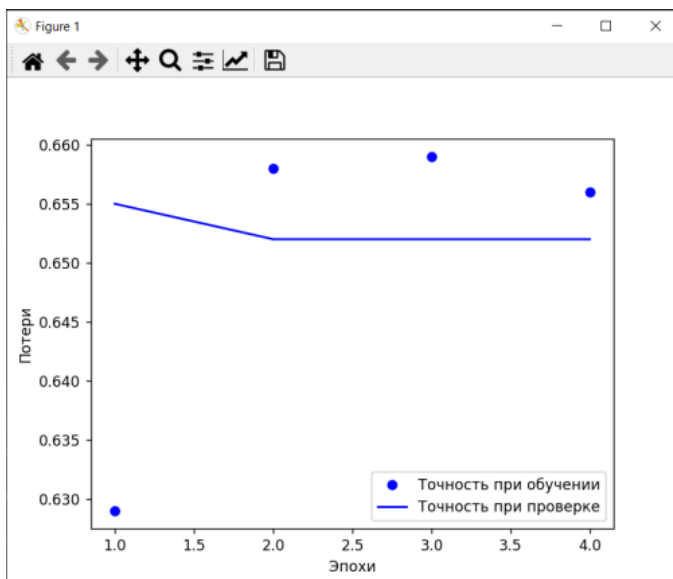


Рисунок 6 – График точности модели при обучении

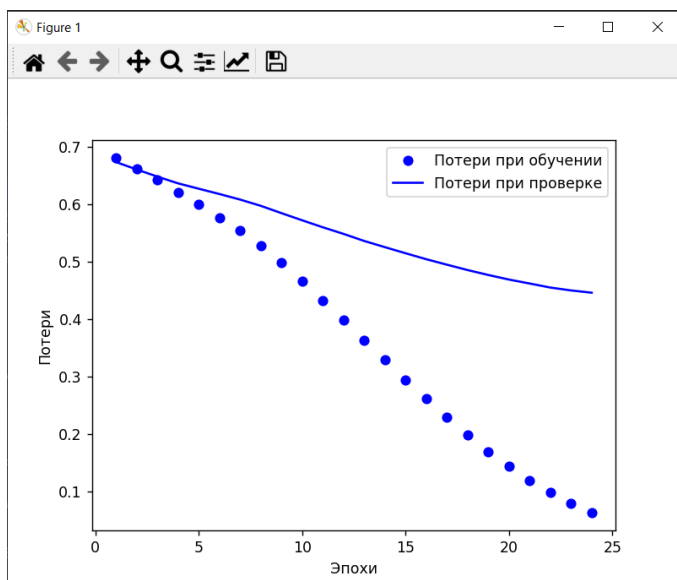


Рисунок 7 – График потерь модели при обучении после изменения параметров

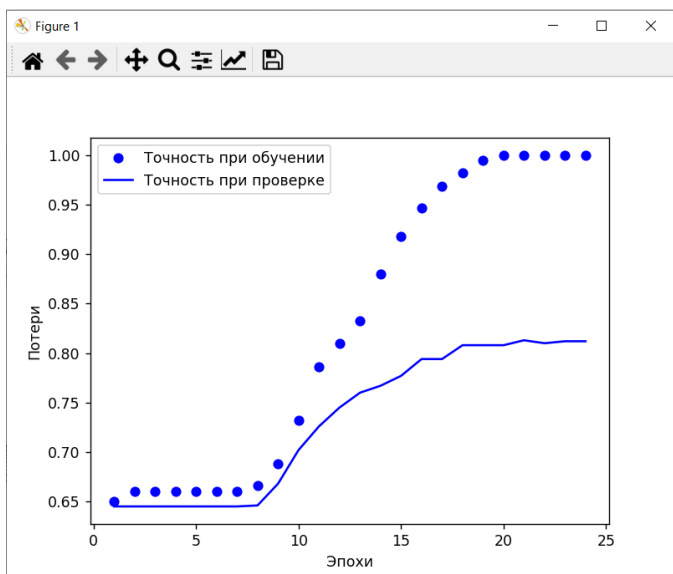


Рисунок 8 – График точности модели при обучении после изменения параметров

Если полученное предсказание равно 0, введённое слово не распознаётся как «Животное» и возвращается 0, если распознаётся – возвращается 1.

```
count = np.where(prediction > 0.5, 1, 0)
if count == [[0]]:
```

```
return 0
elif count == [[1]]:
return 1
```

Нейронная сеть обучена, результат работы представлен на рисунке 9.

```
большая фиолетовая бабочка
1/1 [=====] - 0s 87ms/step
Prediction: [[0.98138803]]
1
```

Рисунок 9 – Результат классификации ответа на карточку №10

Обсуждение. Предложен способ классификации ответов тестируемого на карточки теста Роршаха по категориям «Популярное» и «Животное» с помощью алгоритмов глубокого и машинного обучения для последующей постановки диагноза. В качестве оценки точности классификации было проведено исследование на основе данных, взятых из открытых протоколов тестирования, проведённых в НИИ мозга Российской АМН [4]. Результаты работы моделей совпали с интерпретациями врачей, что показывает высокую точность и эффективность в классификации ответов по выбранным категориям на тест Роршаха. Это делает возможным использование данных методов в практике диагностики в области психологии и психиатрии.

Выводы. Использование нейронных сетей для категоризации ответов на тест Роршаха может ускорить процесс обработки результатов, так как нейронной сети требуется меньшее количество времени на классификацию ответа, чем человеку. Несмотря на скорость классификации, точность не снижается, так как при проведении тестирования работы модели, результаты классификации совпали с категориями, поставленными врачами, из открытых протоколов.

В дальнейшем программу можно усовершенствовать, расширив количество категорий, содержания ответов, которые будут классифицироваться нейронными сетями. Это поможет расширить список диагнозов, которые можно будет классифицировать с помощью нейронных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Exner Jr J.E. The Rorschach: A Comprehensive System: Basic Foundations, Vol. 1. – John Wiley & Sons, 1993. – 672 с.
2. де Траубенберг Р., Роршаха Н.К.Т. практическое руководство / НК Рауш де Траубенберг // М.: Когито-Центр. – 2005. – 255 с.
3. Ванеян С.С. Тест Роршаха: случайности восприятия и закономерности воображения // Современная терапия в психиатрии и неврологии. – 2014. – №. 2. – С. 45-52.
4. Белый Б.И. Тест Роршаха. Практика и теория / Под ред. Л.Н. Собчик. – СПб.: ООО «Каскад», 2005. – 240 с.
5. Pramod Kumar popular responses in the Rorschach test // Psychoiogia. – 1962. – №5. – С. 161-169.
6. Эткинд А.М. Тест Роршаха и структура психического образа // Вопросы психологии. – 1981. – № 5. – С. 106-115.
7. Кабанов М.М. Личко А.Е., Смирнов В.М. Методы психологической диагностики и коррекции в клинике-Л // Л.: Медицина. – 1983. – С. 3-155.

8. Бурлачук Л.Ф. Проблема исследования бессознательного психического проективными методами // Бессознательное: Природа, функции, методы исследования, Тбилиси, 1978. – Т. 3. – С. 638-643.

9. Кольцов Д.М. Python. Полное руководство. – СПб: Издательство Наука и Техника, 2022. – 480 с.

10. Хасти Т., Тибширани Р., Фридман Д. Основы статистического обучения. Интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование // Санкт-Петербург: ООО «Диалектика. – 2020. – 768 с.

11. Rish I. et al. An empirical study of the naive Bayes classifier // IJCAI 2001 workshop on empirical methods in artificial intelligence. – 2001. – Т. 3. – №. 22. – С. 41-46.

12. Маннинг К.Д., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск, Вильямс, М., 2011 // English: Manning CD, Raghavan P., Schutze H., Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press New York, NY, USA. – 2008. – 504 с.

13. Семенычева А.А., Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей/Санкт-Петербург, 2018.–137 с.

14. Hao J., Ho T.K. Machine learning made easy: a review of scikit-learn package in python programming language // Journal of Educational and Behavioral Statistics. – 2019. – Т. 44. – №. 3. – С. 348-361.

15. Shukla N., Fricklas K. Machine learning with TensorFlow. – Greenwich: Manning, 2018. – 272 с.

16. Salmi N., Rustam Z. Naïve Bayes classifier models for predicting the colon cancer // IOP conference series: materials science and engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 546. – №. 5. – С. 052068.

17. Джулли А., Пал С. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow. – Litres, 2022. – 296 с.

18. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. - СПб: Питер, 2022. – 400 с.

19. Choca J.R., PhD Rorschach protocol report: 2020. – 16 с.

20. Hunt J., Graphing with Matplotlib pyplot //Advanced Guide to Python 3 Programming. – 2019. – С. 43-65.

Статья поступила в редакцию 31.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.75

EDN: EYEBQM

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ МОЛОЧНОГО СТАДА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 8490-1175

AuthorID: 791718

ORCID: 0009-0004-8806-3969

АМБРОСЕНКО Николай Дмитриевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 90, e-mail: nikolai.ambrosenko@yandex.ru)

SPIN: 6655-8076

AuthorID: 832079

ORCID: 0000-0001-8305-6867

ТИТОВСКИЙ Сергей Николаевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 90, e-mail: sntitovsky@rambler.ru)

SPIN: 9456-3783

AuthorID: 832932

ORCID: 000-0001-7687-2145

КАЛИТИНА Вера Владимировна, кандидат педагогических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 90, e-mail: vesik_kl@mail.ru)

SPIN: 3726-8970

AuthorID: 768184

ORCID: 0000-0002-1021-1966

ТИТОВСКАЯ Наталья Викторовна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 90, e-mail: nvtitov@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассматривается построение автоматизированной системы оценки и формирования структуры стада КРС молочного направления. Целью работы является разработка модели информационной системы, позволяющей выполнять такую оценку. При разработке модели используются методы классического проектирования реляционных баз данных, объектно-ориентированного моделирования информационных систем, структурного подхода к проектированию программного обеспечения. Основой для разработки является методика классификации животных по продуктивно-технологическим группам с использованием показателей экстерьера, продуктивности, конституциональных особенностей. По результатам анализа методики предлагается логическая модель данных для реляционной СУБД, использующая предопределенные в SQL типы данных. На основе объектно-ориентированного моделирования с использованием UML предлагается модель системы, содержащая диаграммы прецедентов и диаграммы последовательности. Правильность принятых решений иллюстрируется программной реализацией разработанной модели в виде локальной информационной системы. Рассматриваются вопросы интеграции модели и информационной системы в существующие программные комплексы животноводческого направления. Предложенная модель впервые решает задачу автоматизации оценки и формирования молочного стада КРС, является универсальной с точки зрения использования СУБД и среды программирования, достаточно просто реализуется в виде самостоятельной системы и интегрируется в существующие программные комплексы.

Ключевые слова: животноводство, продуктивно-технологическая группа, база данных, реляционная модель, объектно-ориентированное моделирование, UML, диаграмма прецедентов, диаграмма последовательности.

MODEL OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING THE STRUCTURE OF A DAIRY HERD OF CATTLE

© The Author(s) 2023

AMBROSENKO Nikolai Dmitrievich, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Information technology and mathematical support of information systems

Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Mira Avenue, 90, e-mail: nikolai.ambrosenko@yandex.ru)

TITOVSKII Sergei Nikolaevich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Information technology and mathematical support of information systems
Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Mira Avenue, 90, e-mail: sntitovsky@rambler.ru)

KALITINA Vera Vladimirovna, candidate of pedagogy sciences,
associate professor of the Department of Information technology and mathematical support of information systems
Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Mira Avenue, 90, e-mail: vesik_kl@mail.ru)

TITOVSKAIA Natalia Viktorovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Information technology and mathematical support of information systems
Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Mira Avenue, 90, e-mail: nvtitov@yandex.ru)

Abstract. The article discusses the construction of an automated system for assessing and forming the structure of the dairy cattle herd. The aim of the work is to develop a model of an information system that allows such an assessment. Methods of classical design of relational databases, object-oriented modeling of information systems, and a structural approach to software design are used in developing the model. The basis for the development is a method for classifying animals according to productive and technological groups using indicators of exterior, productivity, and constitutional features. Based on the results of the analysis of the methodology, a logical data model for a relational DBMS is proposed, using data types predefined in *SQL*. Based on object-oriented modeling using *UML*, a system model is proposed that contains precedent diagrams and sequence diagrams. The correctness of the decisions made is illustrated by the software implementation of the developed model in the form of a local information system. The issues of integration of the model and the information system into the existing software systems of livestock breeding are considered. The proposed model for the first time solves the problem of automating the assessment and formation of a dairy herd of cattle, is universal in terms of the use of a DBMS and a programming environment, is quite simply implemented as an independent system and integrated into existing software systems.

Keywords: livestock, production and technology group, database, relational model, object-oriented modeling, UML, use case diagram, sequence diagram.

Для цитирования: Амбросенко Н.Д. Модель информационной системы оценки структуры молочного стада крупного рогатого скота // Н.Д. Амбросенко, С.Н. Титовский, В.В. Калитина, Н.В. Титовская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 50-56. – EDN: EYEBQM.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется внедрению современных информационных технологий в сельскохозяйственное производство. Одним из важнейших направлений в сельском хозяйстве является животноводство, в частности разведение крупного рогатого скота молочного направления.

Сейчас для использования в сельскохозяйственных предприятиях животноводческого направления имеется ряд программных средств, решающих основные типовые задачи оперативного учета, движения стада, ветеринарии, племенного дела и кормления животных [1]. К таким программным средствам относятся программный комплекс «СЕЛЭКС» [2], «1С: Предприятие 8. Цифровое животноводство. Оперативный учет и управление производством. КРС» [3], «Коралл. Программы по кормлению животных и управлению стадом» [4].

Однако наряду с основными типовыми сферами деятельности в животноводстве, автоматизированными в существующих программных продуктах, имеется ряд частных задач, не нашедших отражения в существующих программах.

Одной из таких частных, но достаточно важных задач в молочном животноводстве, является периодическая текущая оценка структуры стада, суть

которой заключается в отнесении каждого животного к одной из продуктивно-технологических групп (категорий) [5]. К сожалению, ни «СЕЛЭКС», ни другие программы, не позволяют выполнять такую оценку.

Оценка и формирование структуры молочного стада производится на основании продуктивно-технологического индекса, который учитывает показатели экстерьера, продуктивности, конституциональных особенностей. Индекс включает параметры экстерьера для каждого животного: высота в холке (*hw*), глубина груди (*cd*), косая длина туловища (*bl*), обхват груди за лопатками (*cc*), на основании которых рассчитываются индексы: индекс длиннотелости (*li*) и индекс сбитости (*hi*), определяемые выражениями

$$li = \frac{hw - cd}{hw} \times 100, \quad (1)$$

$$hi = \frac{cc}{bi} \times 100. \quad (2)$$

Помимо показателей экстерьера в оценке структуры стада также участвуют показатели продуктивности каждого животного: удой (*my*), процент жира в молоке (*fp*), процент белка в молоке (*pp*), на основании которых рассчитываются количества молочного жира (*mf*) и молочного белка (*mp*) согласно выражениям

$$mf = \frac{my \times fp}{100}, \quad (3)$$

$$mp = \frac{my \times pp}{100}. \quad (4)$$

В структуру индекса также включается живая масса каждого животного (lw) на момент измерения параметров экстерьера.

Критерием для отнесения каждого животного к определенной группе является значение продуктивно-технологического индекса (pti), определяемого как

$$pti = \frac{my}{lw} \times \left(\frac{hw - cd}{hw} \right) + \frac{\left(\frac{my \times fp + my \times pp}{100} \right)}{amf + amp}, \quad (5)$$

где amf – среднее по стаду количество молочного жира, amp – среднее по стаду количество молочного

белка, рассчитываемые как

$$amf = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N mf_i, \quad (6)$$

$$amp = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N mp_i, \quad (7)$$

где i – номер животного, N – количество животных в стаде.

С учетом соотношений (1)–(4) формулу (5) можно записать в более компактном виде

$$pti = \frac{my}{lw} \times \frac{li}{hi} + \frac{mf + mp}{amf + amp}, \quad (8)$$

На основании рассчитанного продуктивно-технологического индекса определяется принадлежность животного к конкретной группе (табл. 1).

Таблица 1 – Принадлежность к группам в зависимости от продуктивно-технологического индекса

Продуктивно-технологический индекс	Группа
$pti > 5$	селекционная
$4 < pti \leq 5$	первая производственная
$3,5 < pti \leq 4$	вторая производственная
$pti \leq 3,5$	выранжировка

Таким образом, на сегодняшний день в сфере внедрения информационных технологий в животноводстве имеется настоятельная потребность в автоматизации решения частной задачи оценки и формирования структуры молочного стада крупного рогатого скота.

Методология. Целью настоящей статьи является разработка и анализ моделей программного и информационного обеспечения автоматизированной системы оценки и формирования структуры стада крупного рогатого скота молочного направления.

Для достижения поставленной цели используются методы классического проектирования реля-

ционных баз данных [6, 7], объектно-ориентированного моделирования информационных систем [8, 9], структурного подхода к проектированию программного обеспечения [10, 11].

Результаты. Содержательный анализ предметной области показал, что в ней участвуют следующие сущности: животное, группа, измерение, порода, место нахождения. Для реализации была выбрана реляционная модель данных, как наиболее употребительная в настоящее время [12]. После нормализации до нормальной формы Бойса-Кодда [13] было показано, что сущности характеризуются атрибутами, приведенными в таблице 2

Таблица 2 – Атрибуты выявленных сущностей

Название	Пояснение	Тип	Ограничения
Animal (животное)			
Animal id	Суррогатный первичный ключ	Целое число	Primary key (not null, unique)
Animal name	Кличка животного	Строка	Not null, не более 200 символов
Inventory number	Инвентарный номер	Строка	Не более 50 символов
Breed id	Порода (код)	Целое число	Foreign key
Group (группа)			
Group id	Суррогатный первичный ключ	Целое число	Primary key (not null, unique)
Min pti	Нижняя граница pti для группы	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Max pti	Верхняя граница pti для группы	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Group name	Название группы	Строка	Не более 100 символов
Measurement (измерение)			
Measurement id	Суррогатный первичный ключ	Целое число	Primary key (not null, unique)
Measurement date	Дата измерения	Дата	Not null
Hw	Измеренная высота в холке	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Cd	Измеренная глубина груди	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Bl	Измеренная косая длина туловища	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Cc	Измеренный обхват груди за лопатками	Вещественное число	Not null, неотрицательное
My	Измеренный удой за период	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Fp	Измеренный процент молочного жира за период	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Pp	Измеренный процент молочного белка за период	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Lw	Измеренная живая масса	Вещественное число	Not null, неотрицательное
Animal id	Животное (код)	Целое число	Foreign key, not null
Group id	Группа (код)	Целое число	Foreign key, not null
Location id	Место нахождения (код)	Целое число	Foreign key
Breed (порода)			
Breed id	Суррогатный первичный ключ	Целое число	Primary key (not null, unique)
Breed name	Название породы	Строка	Not null, не более 200 символов
Location (место нахождения)			
Location id	Суррогатный первичный ключ	Целое число	Primary key (not null, unique)
Location name	Название места нахождения	Строка	Not null, не более 200 символов

Логическая (реляционная) модель данных с использованием предопределенных типов данных *SQL* приведена на рисунке 1.

С точки зрения пользователя система в целом должна предоставлять набор функциональных

возможностей, определяемых в процессе объектно-ориентированного моделирования поведения системы.

Результаты такого моделирования представлены в нотации диаграммы прецедентов UML на рисунке 2.

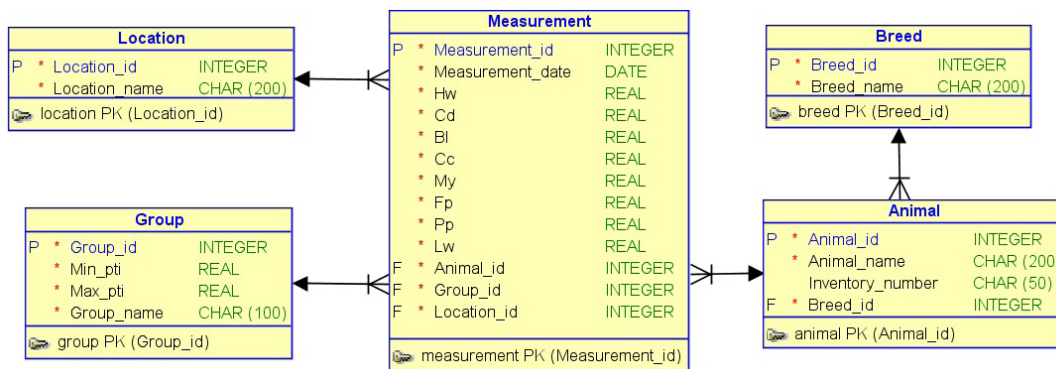


Рисунок 1 – Реляционная модель базы данных

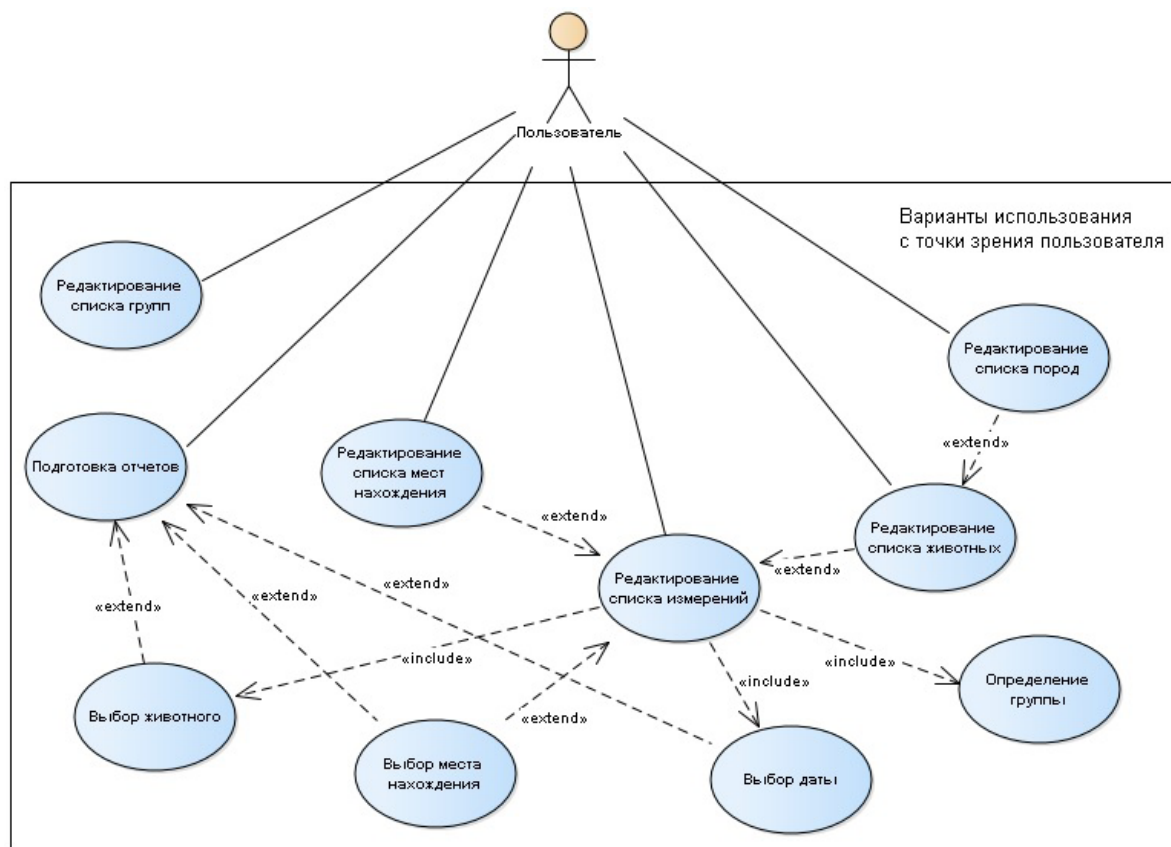


Рисунок 2 – Укрупненная диаграмма прецедентов

Исходя из приведенной модели (рис. 2), функциональные возможности системы можно сформулировать следующим образом:

- система должна позволять добавлять, изменять, удалять сведения о группах, породах, животных, местах нахождения, результатах измерений,
- выполнять расчеты согласно (1) – (8), необходимые для отнесения каждого животного к определенной группе и фиксировать эту принадлежность при вводе или изменении каждой совокупности измеренных параметров животного,

– формировать отчеты о принадлежности животных к группам на произвольную дату по стаду в целом, по каждому месту нахождения, по отдельным животным.

Для описания реализации (сценариев) указанных прецедентов были использованы *UML*-диаграммы последовательности [14].

Сценарий одного из основных прецедентов «Добавление результатов измерений», входящего в прецедент «Редактирование списка измерений», приведен на рисунке 3.

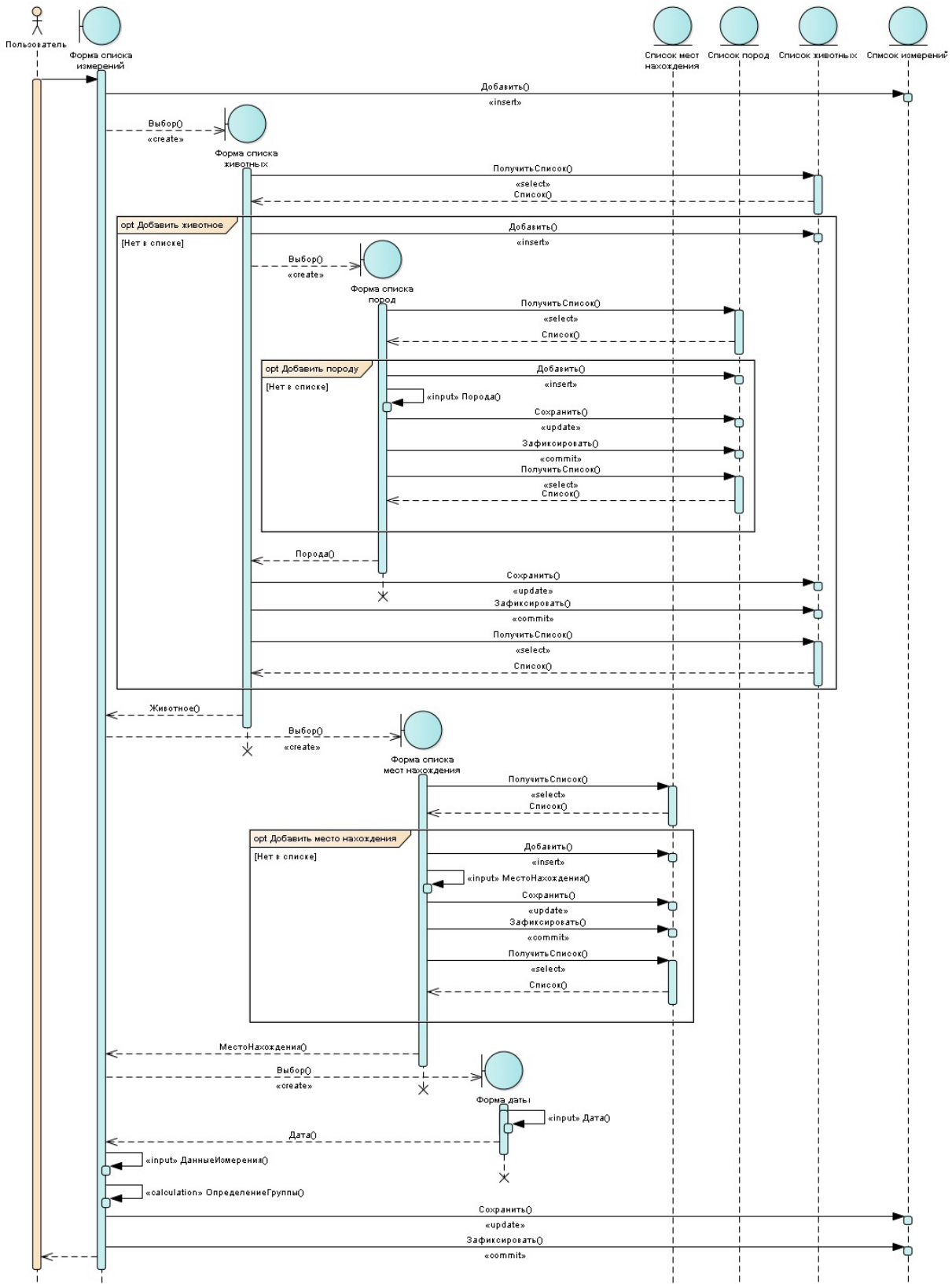


Рисунок 3 – Диаграмма последовательности прецедента Добавить результаты измерений

Обсуждение. Сельскохозяйственное производство в целом, и животноводство, в частности, в настоящее время является объектом интенсивного внедрения современных информационных технологий, как программных средств [15], так и специализированной аппаратуры, от применения

микропроцессорных средств [16] до использования принципов IoT [17]. Разработчики информационных систем нацелены в основном на автоматизацию основных процессов оперативного учета, племенного дела, ветеринарии и кормления животных, однако животноводство охватывает очень обширную сферу

деятельности, включающую множество относительно небольших задач, пока еще выпадающих из общей направленности разрабатываемых информационных систем, но которые в будущем неизбежно придется решать. Первым решением одной из таких частных задач является модель, приведенная в данной статье.

Достоинством данной модели является универсальность, так как в ней отсутствуют какие-либо элементы, специфичные для конкретных сред разработки и реализации программных систем, и, следовательно, она может быть реализована с использованием любой реляционной СУБД и

большинства современных сред программирования.

Для подтверждения достоверности принятых решений и проверки работоспособности модели была разработана и сдана в опытную эксплуатацию информационная система, реализующая разработанную модель. Главное окно программы приведено на рисунке 4.

В качестве СУБД в ней использована *MS Access*, входящая в десятку наиболее популярных систем управления базами данных (рис. 5).

Инвентарный номер	Кличка	Порода
11140	Лама	черно-пестрая
12876	Гита	черно-пестрая
25432	Джуди	красно-пестрая
23487	Ада	красно-пестрая
12437	Точка	красно-пестрая
32486	Пума	черно-пестрая
15683	Шахиня	черно-пестрая

Инвентарный номер	Удой за 305, кг	Жир за 305, %	Белок за 305, %	Группа
11140	4584	4,23	3,19	Вторая производствен
11140	5233	4,15	3,13	Первая производствен
11140	7059	4,2	3,1	Селекционная

Рисунок 4 – Главное окно программы

410 systems in ranking, February 2023

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Feb 2023	Jan 2023	Feb 2022			Feb 2023	Jan 2023	Feb 2022
1.	1.	1.	Oracle +	Relational, Multi-model	1247.52	+2.35	-9.31
2.	2.	2.	MySQL +	Relational, Multi-model	1195.45	-16.51	-19.23
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server +	Relational, Multi-model	929.09	+9.70	-19.96
4.	4.	4.	PostgreSQL +	Relational, Multi-model	616.50	+1.65	+7.12
5.	5.	5.	MongoDB +	Document, Multi-model	452.77	-2.42	-35.88
6.	6.	6.	Redis +	Key-value, Multi-model	173.83	-3.72	-1.96
7.	7.	7.	IBM Db2	Relational, Multi-model	142.97	-0.60	-19.91
8.	8.	8.	Elasticsearch	Search engine, Multi-model	138.60	-2.56	-23.70
9.	↑10.	↑10.	SQLite +	Relational	132.67	+1.17	+4.30
10.	↓9.	↓9.	Microsoft Access	Relational	131.03	-2.33	-0.23

Рисунок 5 – Рейтинг систем управления базами данных

Основной причиной выбора данной СУБД явился явно недостаточно высокий уровень администрирования компьютерных систем в небольших сельскохозяйственных предприятиях [18] (во многих таких хозяйствах просто отсутствуют квалифицированные системные администраторы),

и решению этой проблемы аграрными вузами уделяется большое внимание [19, 20]. В то же время *MS Access* входит в пакет *MS Office*, установленный на подавляющем большинстве компьютеров, и нет необходимости в установке дополнительного программного обеспечения силами конечного

пользователя, который далеко не всегда способен это сделать.

Предложенная модель и ее реализация, в том виде, как она описана в данной статье, выглядит изолированной, так как является решением жестко ограниченной частной задачи и содержит все необходимые данные именно для этой задачи. Наилучшим решением на сегодняшний день является их интеграция в существующие программные комплексы, перечисленные во введении данной статьи. Такая интеграция не вызывает затруднений, потому что в большинстве этих комплексов уже имеются таблицы, содержащие все необходимые данные о животных, их породах и местах их нахождения, перечисленные на рисунке 1.

Прецеденты «Редактирование списка пород», «Редактирование списка животных» и «Редактирование списка мест нахождения» (рис. 2) также уже реализованы в разработанных программных комплексах. Поэтому для включения предложенной модели в существующие системы необходимо добавить в них таблицы для сущностей «*Measurement*» и «*Group*» (рис. 1) и реализовать сценарии вариантов использования «Редактирование измеренных показателей» и «Подготовка отчета» (рис. 2) с включаемыми и опциональными прецедентами.

Выводы. В данной статье впервые предложена модель информационной системы решения частной задачи животноводства – текущей оценки и формирования структуры стада крупного рогатого скота молочного направления. Разработанная модель включает в себя описание базы данных в виде реляционной модели, содержащей пять таблиц (сущностей), связанных между собой, а также описание поведения системы в целом, с точки зрения конечного пользователя, в виде *UML* – диаграмм прецедентов и последовательности для этих прецедентов.

Модель достаточно просто интегрируется в существующие программные системы и комплексы животноводческого направления и, по сути, может рассматриваться как их расширение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Горпинченко, К.Н. Информатизация в животноводстве / К.Н. Горпинченко, Е.А. Горпинченко, Ш.С. Маркосян // Промышленность и сельское хозяйство. – 2022. – № 2(43). – С. 5-10. – EDN TYKNKA.
- Буклагин Д.С. Цифровые технологии и системы управления в животноводстве // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 4(40). – С. 105-112.
- Горпинченко, К.Н. Информатизация отрасли скотоводства в России (Краснодарском крае) / К.Н. Горпинченко, Е.А. Горпинченко, А.А. Панская, М.В. Богатырь // Финансовый бизнес. – 2023. – № 3(237). – С. 26-30. – EDN CIVDLN.
- Лукьянов П.Б. Компьютерные программы "КОРАЛЛ": автоматизация управления ветеринарными мероприятиями // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 11. – С. 50-57.
- Алексеева Е.А. Конструирование индекса для комплексной оценки коров молочного направления // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 2. – С. 172-179. doi: 10.36718/1819-4036-20232-172-179.
- Шилин А.С. Перспективные методы проектирования реляционных баз данных. Рязань, 2021. – 137 с.
- Кореньков, В.В. Технологии баз данных. Проектирование реляционных баз данных / В.В. Кореньков, О.В. Иванцова, И.А. Филозова. – Москва: Курс, 2022. – 128 с. – ISBN 978-5-907352-79-7. – EDN ENREZZ.
- Гудков К.В., Гудкова Е.А. Объектно-ориентированное моделирование информационной системы сбора, обработки и хранения данных // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2014. – № 1. – С. 199-203.
- Романенко Г.С., Толчков А.Н., Чумичкин А.А. Моделирование информационных систем // Информатизация и связь. – 2020. – № 1. – С. 89-97.
- Salamatov, A.A. Modern languages and technologies of programming / A.A. Salamatov // Languages in professional communication: Сборник материалов международной научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов, Екатеринбург, 28 мая 2020 года / ответственный редактор Л.И. Корнеева. – Екатеринбург: ООО «Издательский Дом «Ажур», 2020. – Р. 637-642. – EDN LJJLV.
- Вичугова А.А. Методы и средства концептуального проектирования информационных систем: сравнительный анализ структурного и объектно-ориентированного подходов // Прикладная информатика. – 2014. – №1(49). – С. 56-65.
- Юрчев В.А. Современные модели баз данных // В сборнике: Интеграционные процессы мирового научно-технологического развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 183-187.
- Голенищев Э.П. Формализованная методика нормализации отношений реляционных баз данных // В сборнике: Инновационные подходы в современной науке. Сборник статей по материалам XXIII международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 76-82.
- Davydova K.V., Shershakov S.A. Mining Hierarchical UML Sequence Diagrams from Event Logs of SOA Systems while Balancing between Abstracted and Detailed Models // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2016; 28(3): 85-102.
- Еремина И.Ю., Шевцова Л.Н. Разработка базы данных «Селекционно-генетическая характеристика молочного крупного рогатого скота Красноярского края по эритроцитарным антигенам» // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. – 2022. – С. 446-451.
- Titovskii S.N., Titovskaya N.V., Titovskaya T.S. The prospects of microcontroller application in the agriculture digitalization // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2019. – 315: 32011. doi 10.1088/1755-1315/315/3/032011.
- Titovskaia N.V., Titovskaia T.S., Titovskii S.N. Application of the IoT technology in agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2020. – 548: 32021. doi 10.1088/1755-1315/548/3/032021.
- Бутюгина А.А., Горбунова Е.Е., Никулина С.Н. Проблемы комплексной автоматизации сельского хозяйства // В сборнике: Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 2022. – С. 181-185.
- Pyzhikova N.I., Titovskaia N.V., Titovskii S.N., Titovskaya T.S. Interactive approach and technique of teaching future experts in database development // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – 2494: 328-338. doi:10.25146/1995-0861-2019-50-4-164.
- Titovskii S.N., Titovskaya T.S., Titovskaya N.V. Training of specialists for implementation of the agriculture digitization programme // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 315(2): 022088. doi:10.1088/1755-1315/315/2/022088.

Статья поступила в редакцию 11.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 005

EDN: FTRNCQ

ПОКАЗАТЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7570-3276

AuthorID: 921445

ORCID: 0000-0002-0338-3049

ResearchersID: AAI-7960-2020

ScopusID: 57193741833

ГРАЧЕВ Михаил Иванович,

старший инженер отделения программного обеспечения информационного центра

Санкт-Петербургский университет МВД России

(198206, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Летчика Пилутова, 1, e-mail: mig2500@mail.ru)

Аннотация. Развитие информационных технологий происходит всё ускоряющимися темпами, что в свою очередь влияет на деятельность практически каждой организации, предприятия и технологических процессов происходящих в них. Важность подготовки кадров, а особенно сохранение их на всём протяжении обучения в высшем учебном заведении (вузе), становится важной задачей для руководителя образовательной организации. Только слаженная работа всех подразделений учебного заведения и своевременное реагирование на возникающие проблемы в системе управления позволят уменьшить количество отчисляющихся. Для своевременного реагирования на возникающие проблемы в организации, требуется, чтобы у лица, принимающего решение (ЛПР) была аналитическая динамическая модель принятия управленческого решения. В связи с этим в настоящей работе рассматривается модель управленческого решения образованная на основе метода синтеза, позволяющая получить показатель эффективности реализации решения руководителя. Целью работы является введения критерия автоматизации, как правила, по которому осуществляется автоматизация исследуемой системы с применением полученного показателя эффективности реализации решения ЛПР. В работе используется построение графа, позволяющего рассмотреть процесс формирования управленческого решения и получить систему дифференциальных уравнений описывающих данные состояния. Переведа их в систему линейных алгебраических уравнений и применяя метод Гаусса, мы получим показатель эффективности реализации управленческих решений применяемый в автоматизации организации. Построение сетевых графиков позволяет связать полученные состояния с продолжительностью реализации управленческого решения. Применяя критерий автоматизации задаём требуемый уровень показателя эффективности реализации управленческого решения и решая обратную задачу мы получим требуемые характеристики рассматриваемой системы, позволяющие своевременно идентифицировать возникающую проблему в системе управления и гарантированно нейтрализовать её. Полученные данные позволяют автоматизировать рассматриваемую систему с заданным уровнем показателя эффективности реализации решения руководителя согласно применяемому критерию автоматизации.

Ключевые слова: критерий автоматизации, управленческое решение, лицо, принимающее решения, организация, модель принятия решений, система дифференциальных уравнений.

SIMULATION MODEL OF EDUCATIONAL MANAGEMENT ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION

© The Author(s) 2023

GRACHEV Mikhail Ivanovich, senior engineer of the information Center Software Department

St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia

(198206, Russia, St. Petersburg, Pilot Pilyutova St., 1 e-mail: mig2500@mail.ru)

Abstract. The development of information technologies is taking place at an ever-accelerating pace, which in turn affects the activities of almost every organization, enterprise and technological processes taking place in them. The importance of personnel training, and especially their preservation throughout their studies at a higher educational institution (university), becomes an important task for the head of an educational organization. Only the coordinated work of all departments of the educational institution and timely response to emerging problems in the management system will reduce the number of expulsions. For timely response to emerging problems in the organization, it is required that the decision-maker (LPR) has an analytical dynamic model of managerial decision-making. In this regard, this paper considers a management decision model formed on the basis of the synthesis method, which allows to obtain an indicator of the effectiveness of the implementation of the decision of the head. The purpose of the work is to introduce the automation criterion as the rule by which the automation of the system under study is carried out using the obtained indicator of the effectiveness of the implementation of the LPR solution. The paper uses the construction of a graph that allows us to consider the process of forming a management decision and obtain a system of differential equations describing these states. By translating them into a system of linear algebraic equations and applying the Gauss method, we will get an indicator of the effectiveness of the implementation of management decisions used in the automation of the organization.

The construction of network graphs allows you to link the received states with the duration of the implementation of the management decision. Applying the automation criterion, we set the required level of the efficiency indicator for the implementation of a management decision and solving the inverse problem, we will obtain the required characteristics of the system in question, allowing us to identify the emerging problem in the management system in a timely manner and to neutralize it with guarantee. The data obtained make it possible to automate the system under consideration with a given level of efficiency indicator of the implementation of the decision of the head according to the applied automation criterion.

Keywords: automation criterion, management decision, decision-maker, organization, decision-making model, system of differential equations.

Для цитирования: Грачев М.И. Показатель автоматизации как критерий эффективности реализации управленческих решений в организации // М.И. Грачев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 57-65. – EDN: FTRNCQ.

Введение. Развитие информационных технологий с повсеместным их внедрением в процессы жизнедеятельности, требует от образовательных организаций, предприятий и соответствующих учреждений соответствовать им. Для руководителя данных организаций как лицу, принимающему решение (ЛПР) возникает много сложностей в разрешении таких вопросов как своевременное принятие решения для преодоления потока проблем в управляемой системе. Практически любая организация состоит из персонала и технического оснащения, соответственно её необходимо рассматривать как человеко-машинную систему. Вопрос влияния человеческого фактора на принятие управленческого решения рассматривали следующие авторы: И. П. Скворцов, А. О. Титарев [1], И. В. Калущкий, А. А. Агафонов [2], Д. Г. Маркова [3], А. В. Енгибарян, Ф. В. Шутилов [4]; В. А. Гончаренко, А. Н. Богатова, В. Е. Хабаров [5]; Ю. А. Зуева [6]; А. А. Гребенщикова [7]; А. В. Енгибарян, Ф. В. Шутилов [8]; Е. С. Дашкова [9]; Демидова, Е. А [10]; А. О. Алексеев [11] и другие. Рассмотрение вопросов автоматизации на предприятиях и организациях затрагивающие различные технологические процессы рассматривали следующие авторы: О. Г. Лаптева, Н. В. Киселева [12]; Ю. Б. Вагнер [13]; Н. В. Суханова [14] и другие. Вопросы автоматизации предприятий и организаций рассматривали следующие учёные: А.Ф. Долгополова, Т.А. Гулай, Д.Б. Литвин [15], А.Н. Колмогоров [16], Гуд Г.Х., Маккол Р.Э. [17], Дж. Форестер [18], Н.Е. Жигалова, А.А. Заборских [19], А. С. Мараховский, Н. В. Ширяева, Т. В. Таточенко [20], В.В. Андреев, Е.А. Васильева [21], С.А. Гречаный, Ю.В. Горшков, В.С. Струков [22], Г.В. Егорова [23], Х.Х. Калажоков [24], С.Н. Кузьмина [25], Р.В. Бадараева, А.Д. Бадараев [26], О.Н. Кунгурова, Л.А. Палкина [27], А.А. Соляникова, А.А. Андреева [28], Ю.С. Гусынина [29], О.Д. Казаков [30] и другие. В своих работах авторы в основном применяют метод анализа, что не позволяет строить адекватную модель исследуемой системы и гарантировано получать результат. В связи с этим в данной работе на основе данного вывода модель строится на базе метода синтеза и предполагает провести соответствующее исследование в заданном контуре.

Для руководителя образовательной организации

важным является сбережение контрольных цифр приема (КЦП) поступающих в вуз. Соответственно необходимо обеспечить управление вузом позволяющее своевременно принимать решения как ответная реакция на возникающие в системе управления проблемы. Для решения возникающих в управляемой системе потока проблем необходимо иметь модель решения, позволяющую противодействовать им, но в публикуемой литературе синтез математической модели реализации управленческого решения не приводятся, представлена лишь аналитика действий ЛПР и выработка команды по полученным данным [6, 19, 24]. В связи с этим создание модели на основе метода синтеза управленческого решения является актуальной задачей. В данной статье исследование проводится в рамках научной школы «Системная интеграция процессов государственного управления» зарегистрированной в реестре ведущих научных школ Санкт-Петербурга [31]. Создание аналитической динамической модели рассматриваются в рамках научной школы и периодически публикуются различные варианты моделей помогающих ЛПР в принятии решений [32-38], но вопросы автоматизации организации в них не рассматриваются в связи с этим подтверждается актуальность данного исследования.

Академик П.К. Анохин в своих исследованиях утверждал, что все объекты окружающего мира реализуемые человеком созданы на базе модели его решения [39]. Академик Н.Н. Моисеев в своих трудах указывал, что человек ведет свою деятельность направленную на употребление потребностей в основе этой деятельности лежит решение человека [40]. В связи с этим данная работа построена на базе модели решения человека. В работах Н.Н. Моисеева [40], С.А. Орловского [41], Д.А. Новикова [42] под решением понимается выбор альтернатив, но как отмечали в своих работах В.В. Дружинин и Д.С. Контуров [43] данное направление страдает концептуальной неполнотой и приводит к тому, что результаты деятельности не соответствуют ожиданиям руководителя организации [44-46].

При управлении вузом у ЛПР возникают трудности по управлению им в выработке своевременного решения способного с требуемым уровнем

эффективности его реализации обеспечивать своевременную идентификацию и нейтрализацию потока проблем. Так как вуз это человек-машинная система, то и решение должно быть направлено по решению вопросов кадрового состава и технического оснащения [47].

Методология. Целью проводимого исследования является создание модели управленческого решения руководителя организации на основе применения метода синтеза, позволяющего получить показатель эффективности реализации управленческого решения позволяющим получать сведения о системе и автоматизировать процессы управления, а также ввести критерий автоматизации, как правило, по которому осуществляется автоматизация исследуемой системы.

В работе применяются метод синтеза аналитической динамической модели управленческого решения, так как данный метод позволяет строить адекватные обстановке модели, а показателем адекватности является правильно построенная модель дающая требуемый результат. После построения аналитической динамической модели мы получаем показатель эффективности реализации управленческого решения позволяющий получать характеристики об исследуемом объекте управления и применять критерий автоматизации. Для связи полученных характеристик со временем реализации управления организацией применяется построение

сетевых графиков образования потока проблем, идентификации потока проблем и нейтрализации потока проблем. Применяя критерий автоматизации и решая обратную задачу мы получаем характеристики гарантирующие достижение цели деятельности с заданным показателем эффективности реализации управленческого решения.

Результаты. Рассматривая понятие, управленческое решение в трёх базовых состояниях и анализируя его через свойства, методологический уровень, методический уровень и технологический уровень, мы получили, что выработка управленческого решения состоит из: обстановки, информационно-аналитической работы и самого решения [32-38] (рис. 1). Проведя декомпозицию, абстрагирование и агрегирование этих факторов, мы получили модель решения при обычном функционировании рассматриваемой системы в виде выражения (1) (рис. 2):

$$P=F(\Delta tnn, \Delta tun, \Delta tnn), \tag{1}$$

где Δtnn – представляет собой среднее время проявления проблемы в рассматриваемой организации;

Δtun – представляет собой среднее время идентификации проблемы в рассматриваемой организации;

Δtnn – представляет собой среднее время нейтрализации проблемы в рассматриваемой системе организации.

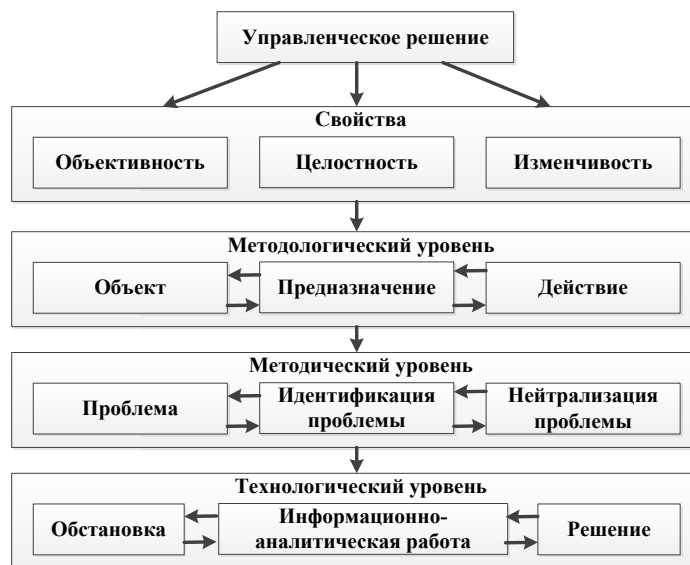


Рисунок 1 – Управленческое решение как процесс

Усложнение рассматриваемой системы и введение целевого процесса приводит к появлению параметра $Tэ$ – характеризующего длительность решения задачи управления организацией, рисунок 3.

Рисунок 3 характеризует длительности решения различных задач появления проблемы в рассматриваемой системе, её идентификацию и её нейтрализацию, введение параметра $Tэ$ – также предполагает цикличность рассматриваемого процесса, что предполагает введение предположений

и допущений для дальнейшего применения дифференциальных уравнений Колмагорова [32-38].

Тогда структурная схема по организации управления вузом с целевым процессом будет представлена рисунком 4.

На рисунке 4 представлены следующие обозначения:

$\xi+$ – частота реализации задачи управления организацией;

$\xi-$ – частота срыва деятельности по управлению

организацией;

λ – частота проявления потока проблем в организации;

$\nu 1$ – частота идентификации потока проблем возникающих в организации;

$\nu 2$ – частота нейтрализации потока проблем возникающих в организации.

Данные процессы позволяют составить граф состояний для наглядности описания происходящих процессов состоящих из $S1$ – состояния, когда на систему не происходит влияние потока проблем;

$S3$ – состояние системы при котором поток проблем λ проявляется в системе и воздействует на неё; $S4$ – состояние системы при идентификации потока проблем; $S2$ – состояние системы при выработке решения и нейтрализации потока проблем, рисунок 5.

Введенная величина $\nu 3$ – означает частоту срыва нейтрализации потока проблем возникающих в организации, соответственно ЛПР не хватило времени для распознавания возникающих проблем в системе, что привело к срыву решения этой проблемы.

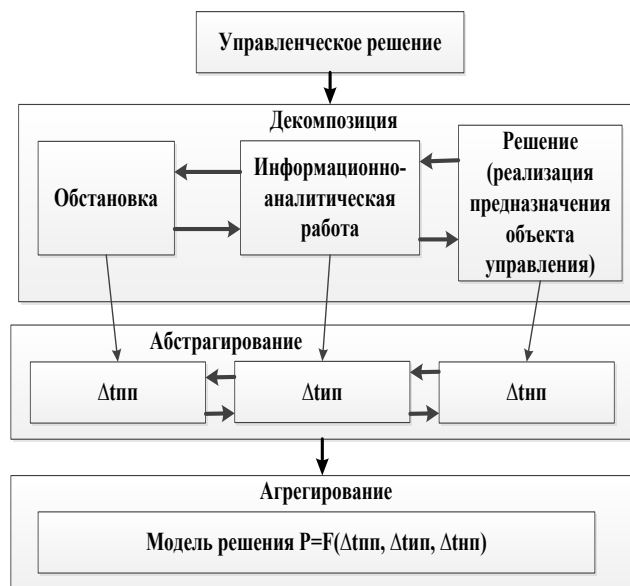


Рисунок 2 – Схема образования модели управленческого решения

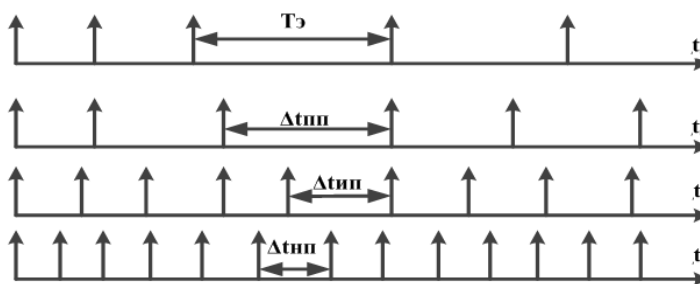


Рисунок 3 – Диаграмма проявления базовых элементов

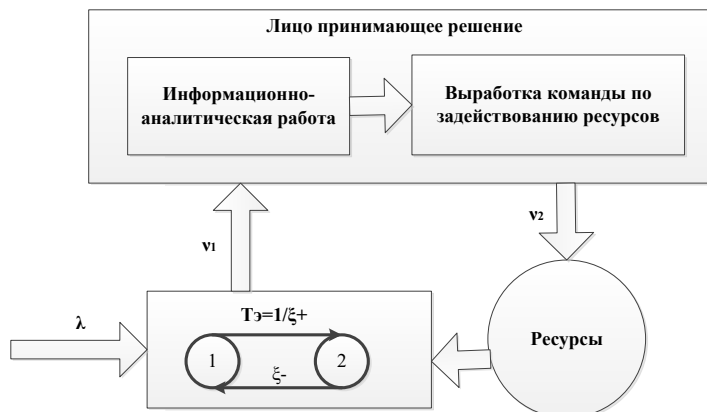


Рисунок 4 – Схема образования модели управленческого решения

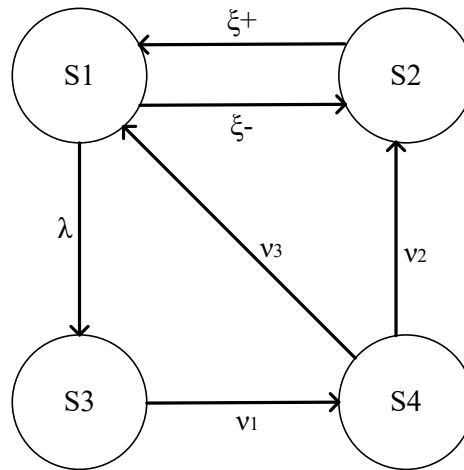


Рисунок 5 – Граф процесса формирования решения

Изображенный на рисунке 5 граф при применении системы дифференциальных уравнений Колмогорова позволяет получить следующие формулы (2). Преобразовав полученные выражения в линейные алгебраические и решая их методом Гаусса мы применяли *MathCad* [34]. Для решения нашей задачи получения показателя эффективности реализации управленческого решения, позволяющим применять критерий автоматизации и автоматизировать процессы управления, необходимо получить показатель эффективности реализации решения, в нашем случае это $P_2=P$. Показатель эффективности реализации решения является вероятностью того, что каждая проблема, возникающая в исследуемой системе перед ЛПР будет идентифицирована и нейтрализована, при соответствующих:

- интенсивности работы технического оснащения вуза;
- способности персонала по своим знаниям, умениям и навыкам своевременно принимать решения по противодействию потоку проблем.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_3 \cdot \zeta^-}{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^-} \\
 P_2 &= \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3}{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^-} \\
 P_3 &= \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^-}{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^-} \\
 P_4 &= \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^-}{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^-}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Соответственно вероятность того, что проблема идентифицируется и разрешается, будет служить выражение (3):

$$P_2 = \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3}{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot \zeta^- + \lambda \cdot v_3 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^+ + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^- + v_1 \cdot \zeta^+ \cdot v_3 + v_1 \cdot v_2 \cdot \zeta^-} \tag{3}$$

Мы получили показатель эффективности реализации управленческого решения для данной организации. Соответственно, критерием автоматизации нашей человеко-машинной системы будет являться связь показателя эффективности реализации решения с четырьмя базовыми процессами целевой (базовой) деятельности, образования проблем, идентификации проблем и нейтрализации проблем.

Для нахождения средних времен проявления проблемы, идентификации проблемы и нейтрализации проблемы необходимо построить сетевые графики с отражением перечня событий и перечня работ, которые необходимо выполнить.

Составив таблицы и определив события и работы, подлежащие выполнению переходим к графическому отображению графиков проявления проб-

лемы, идентификации проблемы и нейтрализации проблемы.

На рисунке 6 представлен график мониторинга образования проблемы в организации, где $a0 \dots a16$ – это события системы, а числа время, потраченное на переход к этому событию.

По полученным данным сетевого графика мы получаем критический путь, как наибольшее время, которое необходимо для проявления проблемы в системе, нахождения проявления проблемы в исследуемой системе, нейтрализации проблемы в системе.

Полученные данные мы применяем в выражении (3), позволяющим получить показатель эффективности реализации управленческого решения руководителя организации. Применяя критерий

автоматизации и задавая показатель эффективности реализации управленческого решения мы решаем обратную задачу и получаем характеристики об управляемой системе, что позволяет автоматизировать процессы принятия управленческих решений.

По полученным данным ЛППР принимает соответствующие решения на задействование ресурсов и перераспределяет их для соответствия требуемым параметрам гарантирующим достижение цели деятельности с заданным уровнем реализации управленческого решения.

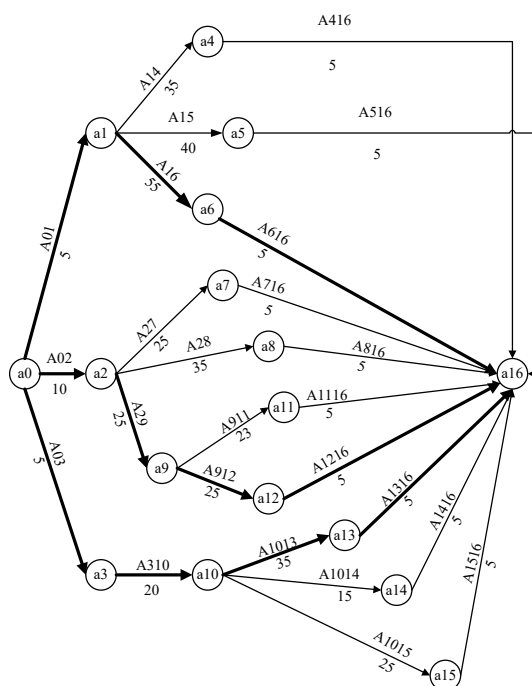


Рисунок 6 – График процесса мониторинга (идентификации) проявления проблемы

При полученном показателе эффективности реализации управленческого решения например, равным 0,403, организация не может сохранить КЦП, так как этот показатель не позволяет идентифицировать возникающие проблемы в системе и своевременно нейтрализовать выявленные проблемы, что приводит к срыву в работе и как следствия отчислениям из вуза. Для достижения работы вуза обеспечивающей своевременную иден-

тификацию и нейтрализацию проблем в системе необходимо применить критерий автоматизации, который позволяет задавать показатель реализации равным 0,9 показывающим высокую эффективность работы вуза для этого необходимо в 12 раз повысить идентификацию возникающих проблем и в 14 раз нейтрализацию возникающих проблем. Как следствие это приведет к пересчету времени выполнения работы (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень работ с необходимыми изменениями

Обозначение работ	Время выполнения работы	При идентификации P=0.9	При нейтрализации P=0.9
A_{01}	5	0,14	0,15
A_{02}	10	0,29	0,3
A_{03}	5	0,14	0,15
A_{14}	35	1	0,6
A_{15}	40	1,14	0,45
A_{16}	55	1,57	1,34
A_{27}	25	0,71	1,04
A_{28}	35	1	1,04
A_{29}	25	0,71	1,19
A_{310}	20	0,57	0,6
A_{911}	23	0,66	0,45

Соответственно, все работы рассматриваемого сетевого графа изменяются в соответствии с таблицей, для достижения данных показателей ЛППР должен задействовать имеющиеся у него ресурсы и перераспределять их по напряженным (критическим)

путям.
Обсуждение. Рассматривая организацию как человеко-машинную систему необходимо должным образом учитывать их взаимозависимость друг от друга. В различных источниках рассматриваются че-

ловеческий фактор, либо проведение автоматизации предприятий с целью повышения производительности и увеличения эффективности производства. Известный в литературе подход на основе метода анализа имеет более широкое распространение, но он не гарантирует результат при его реализации на практике. Метод синтеза, описываемый в статье как основной, позволяет применять его при проведении исследований и создания математических моделей.

В рамках исследований проводимых научной школой «Системная интеграция процессов государственного управления» создаются и исследуются аналитические динамические модели позволяющие получать показатель эффективности реализации управленческого решения. Ранее показатель эффективности реализации управленческого решения описывался в рамках только его получения. Введение критерия автоматизации, как правило, по которому осуществляется автоматизация исследуемой системы ранее не рассматривалось.

В данной статье более подробно описано применение показателя эффективности реализации управленческого решения и критерия автоматизации, что является научной новизной. Решение обратной задачи позволяет получать характеристики, которыми должна обладать рассматриваемая система управления для достижения цели деятельности при заданном уровне показателя эффективности реализации управленческого решения.

Полученные данные по персоналу организации позволяют ЛПР задавать требования к оборудованию и наоборот по полученным характеристикам полученным по техническому оснащению задавать требования к персоналу предприятия.

Полученная модель позволяет руководителю перераспределить и направить ресурсы согласно полученным данным, что позволит своевременно идентифицировать поток проблем в системе и нейтрализовать его.

Выводы. Рассматриваемая человеко-машинная система находится в зависимости друг от друга. Если нам известны характеристики человеческого фактора, то ЛПР может предъявлять соответствующие требования к техническому оснащению организации и наоборот.

В работе получена аналитическая динамическая модель реализации управленческого решения позволяющая связать целевой процесс, процесс проявления проблемы, процесс идентификации проблемы и процесс нейтрализации проблемы. Таким образом, полученный в работе критерий автоматизации позволяет применять показатель эффективности реализации управленческого решения, позволяющим получать данные, о рассматриваемой системе, решать обратную задачу и как следствие в связи со своевременным реагированием кадрового персонала, например, сохранить КЦП (обучающихся в вузе).

В рамках дальнейших исследований аналитические динамические модели могут быть услож-

нены, что потребует применения аппаратно-программных средств для проведения более сложных расчетов. В связи с продолжающимися исследованиями, проводимыми в рамках научной школы «Системная интеграция процессов государственного управления» будут продолжаться публикации по теме исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Скворцов, И.П. О проблеме человеческого фактора в обеспечении информационной безопасности / И.П. Скворцов, А. О. Титарев // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2022. – № 23. – С. 106-113. – EDN NYFVMVI.
2. Калущий, И.В. Роль человеческого фактора в обеспечении информационной безопасности бизнеса / И.В. Калущий, А.А. Агафонов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – № 2-2. – С. 173-178. – EDN RD-GWMT.
3. Маркова, Д.Г. Человеческий фактор в информационной безопасности / Д.Г. Маркова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 10. – С. 149-152. – EDN YRBHLN.
4. Енгибарян, А.В. Роль человеческого фактора в принятии управленческого решения / А.В. Енгибарян, Ф.В. Шугилов // Производственный менеджмент: теория, методология, практика: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 18 мая – 14 июня 2016 года / Министерство образования и науки РФ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. – С. 125-130. – EDN WLMNFB.
5. Гончаренко, В.А. Роль человеческого фактора в процессах принятия управленческих решений и их эффективности / В.А. Гончаренко, А.Н. Богатова, В.Е. Хабаров // Наука и образование: актуальные вопросы, проблемы теории и практики: Сборник научных трудов Национальной (всероссийской) научно-практической конференции, Краснодар, 27 ноября 2020 года. – Краснодар: Краснодарский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова", 2020. – С. 602-611. – EDN XBBYJK.
6. Зуева, Ю.А. Роль человеческого фактора в принятии управленческих решений / Ю.А. Зуева // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: Сборник трудов научно-практической и учебной конференции: в 3 частях, Санкт-Петербург, 05-07 июня 2018 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. – С. 209-212. – EDN XPNRVJ.
7. Гребенщикова, А.А. Влияние человеческого фактора на управление рисками и принятие управленческих решений / А.А. Гребенщикова // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа, 24 декабря 2019 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2019. – С. 110-113. – EDN GZOZTX.
8. Енгибарян, А.В. Роль человеческого фактора в принятии управленческого решения / А.В. Енгибарян, Ф.В. Шугилов // . – 2016. – № 6. – С. 125-130. – EDN WCNWGT.
9. Дашкова, Е.С. Роль человеческого фактора в процессе разработки и реализации управленческих решений / Е.С. Дашкова // Мотивация и оплата труда. – 2016. – № 4. – С. 306-312. – EDN XGOENT.
10. Демидова, Е.А. Трансформация модели принятия экономических решений / Е.А. Демидова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 10-2(112). – С. 140-142. – DOI 10.23670/IRJ.2021.112.10.056. – EDN SJJHJV.
11. Алексеев, А.О. Концепция субъектно-ориентиро-

- ванного моделирования многофакторных рисков в мультиагентных системах / А.О. Алексеев // – 2015. – № 4(76). – С. 19. – EDN TWQEKX.
12. Лаптева, О.Г. Автоматизация процесса управления рисками на предприятиях нефтегазовой промышленности: анализ автоматизированных систем управления рисками / О.Г. Лаптева, Н.В. Киселева // Вестник науки и образования. – 2021. – № 5-1(108). – С. 5-13. – EDN KXJVIP.
13. Вагнер, Ю.Б. Совершенствование системы управления вузом на основе процессного подхода и автоматизации управления бизнес-процессами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Вагнер Юлия Борисовна. – Москва, 2011. – 26 с. – EDN QHOYFN.
14. Суханова, Н.В. Разработка и применение нейросетевых моделей в автоматизации управления оборудованием и технологическими процессами / Н.В. Суханова // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2022. – № 1(15). – С. 24-32. – DOI 10.30987/2658-6436-2022-1-24-32. – EDN IOLCED.
15. Долгополова А.Ф., Гулай Т.А., Литвин Д.Б. Математическое моделирование социально-экономических систем. Учетно-аналитические и финансово-экономические проблемы развития региона. – 2012. – С. 283-286.
16. Гуд Г.Х., Маккол Р.Э. Системотехника: введение в проектирование больших систем. М. Советское радио. 1962. – 383 с.
17. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. – 453 с.
18. Форрестер Дж. Мировая динамика. М. ООО «Издательство АСТ». 2003. – 384 с.
19. Жигалова Н.Е., Заборских А.А. Математическое моделирование социально-экономических систем. Вестник Волжской Государственной Академии Водного Транспорта. – 2014. – № 40. – С. 195-199.
20. Мараховский А.С., Ширяева Н.В., Таточенко Т.В. Математическое моделирование оптимального управления в социально-экономических системах. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2014. – № 2 (41). – С. 274-279.
21. Андреев В.В., Васильева Е.А. Математическое моделирование и исследование динамики социально-экономической системы России. Известия Российской академии естественных наук. Дифференциальные уравнения. – 2009. – № 14. – С. 27-40.
22. Гречаный С.А., Горшков Ю.В., Струков В.С. Математическое моделирование социально-экономических систем. Управление социально-экономическим развитием регионов: проблемы и пути их решения. Материалы международной научно-практической конференции. – 2011. – С. 47-49.
23. Егорова Г.В. Использование методов экономико-математического моделирования развития социально-экономических систем. Научная мысль. – 2014. – № 3. – С. 87-97.
24. Калажиков Х.Х. Концептуальные вопросы экономико-математического моделирования развития социально-экономической системы региона. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2015. – № 1 (63). – С. 32-41.
25. Кузьмина С.Н., Андросенко Н.В. Использование методов математического моделирования и инструментов экономики качества для обеспечения устойчивого развития социально-экономических систем. Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 6 (25). – 147 с.
26. Бадараева Р.В., Бадараев А.Д. Теоретические аспекты применения математического моделирования в управленческих процессах социально-экономических систем. Современные тенденции в экономике и управлении: Новый взгляд. – 2015. – № 33. – С. 8-14.
27. Кунгурова О.Н., Палкина Л.А. Математическое моделирование социально-экономических систем в среде AnyLogic. Фундаментальные проблемы науки и образования. – 2014. – С. 362-363.
28. Соляникова А.А., Андреева А.А. Экономико-математическое моделирование социально-экономических систем (на примере рынка). Социально-экономические проблемы инновационного развития в исследованиях молодых ученых и студентов. – 2015. – С. 331-335.
29. Гусынина Ю.С. Математическое моделирование социально-экономических систем с использованием вероятностного подхода. Новые информационные технологии и системы. – 2015. – С. 52-55.
30. Казаков О.Д. Экономико-математическое моделирование синергетических аспектов управления социально-экономическими системами. Актуальные проблемы социально-гуманитарных исследований в экономике и управлении. – 2015. – С. 138-142.
31. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга // Вузы и научные организации, в которых функционируют ведущие научные и научно-педагогические школы Санкт-Петербурга: [Электронный ресурс]. СПб. 2011 - 2020. URL: <http://knvsh.gov.spb.ru/media/files/contests/closed/85/Spisok%201.pdf>
32. Грачев, М.И. Математическая модель для принятия решений по противодействию киберугрозам в производстве / М.И. Грачев, В.Г. Бурлов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 4(188). – С. 22-27. – DOI 10.52190/2073-2597_2022_4_22. – EDN FXVJDL.
33. Грачев, М.И. Математическое моделирование организационных систем / М.И. Грачев, В.Г. Бурлов, Н.Г. Грачева // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 14-20. – DOI 10.36724/2409-5419-2022-14-5-14-20. – EDN SBRDUD.
34. Грачев, М.И. Математическое моделирование в социальных и экономических системах / М.И. Грачев, В.Г. Бурлов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15, № 5. – С. 38-45. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45. – EDN CRNULK.
35. Грачев, М.И. Модель управления в цифровых социальных и экономических системах / М.И. Грачев, В.Г. Бурлов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15, № 9. – С. 36-41. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-9-36-41. – EDN TTGAIT.
36. Грачев, М.И. Модель управленческого решения лица, принимающего решение в цифровой экосистеме / М.И. Грачев, В.Г. Бурлов // Технично-технологические проблемы сервиса. – 2021. – № 2(56). – С. 42-47. – EDN LUHTQW.
37. Модель управления в социальных и экономических системах с учетом воздействия на информационные процессы в обществе / В.Г. Бурлов, М.И. Грачев, М.Н. Васильев, С.Ю. Капицын // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14, № 5. – С. 46-55. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-46-55. – EDN IBIABC.
38. Бурлов, В.Г. Аналитическо-динамическая модель управленческого решения в социально-экономических системах на примере руководителя учебного заведения высшего образования / В.Г. Бурлов, М.И. Грачев // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13, № 10. – С. 27-34. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10314. – EDN SNJZQR.
39. Анохин, П.К. Идеи и факты в разработке теории функциональных систем / П.К. Анохин // Психологический журнал. – 1984. – Т.5. – С. 107-118.
40. Моисеев, Н.Н. Человек и биосфера: Опыт систем, анализа и эксперименты с моделями / Н.Н. Моисеев, В.В. Александров, А.М. Тарко. – М.: Наука, 1985. – 271 с.
41. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечёткой исходной информации. «Наука», Москва, 1981. – 207 с.
42. Новиков, Д.А. Структура теории управления социально-экономическими системами / Д.А. Новиков // Управление большими системами: сборник трудов. – 2009. – № 24. – С. 216-258.
43. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. «Радио и Связь», Москва. 1989. – 288 с.
44. Burlov, V.G. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems / V.G. Burlov, V.F. Volkov // Engineering Simulation. – 1994. – V. 12. – N. 1. – P. 110-115. – EDN RGMTHD.
45. Decision support model within environmental economics / E.P. Istomin, V.G. Burlov, V.M. Abramov [et al.] // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 : Conference proceedings. ENVIRONMENTAL ECONOMICS, Albena, 30 июня – 06 2019 года. Vol. 19. – Sophia: Общество с ограниченной ответственностью CTEФ92 Технолоджи, 2019.

– P. 139-146. – DOI 10.5593/sgem2019/5.3/S21.018. – EDN NGHCVO.

46. Geo-information and geo-ecological support tools development for environmental economics / V.M. Abramov, V.G. Burlov, E.P. Istomin [et al.] // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020 : 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, 10–11 апреля 2019 года. – Granada, 2019. – P. 7053-7061. – EDN ENSXRF.

47. Бурлов, В.Г. Многоуровневый подход в подготовке и переподготовке кадров в сфере безопасности информационных технологий / В.Г. Бурлов, М.И. Грачев, А.И. Примакин // Региональная информатика и информационная безопасность: сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 01-03 ноября 2017 года / Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. Том Выпуск 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2017. – С. 185-189. – EDN YNAEGV.

Статья поступила в редакцию 23.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 355/359.07

EDN: QNUQHX

**МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ
КОЛИЧЕСТВА БПЛА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИ
ОПАСНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ**

©Автор(ы) 2023

SPIN: 2838-2550

AuthorID:634849

ORCID: 0000-0002-7149-8489

КУВАТОВ Валерий Ильич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: kub.valery@yandex.ru)

SPIN: 2838-2550

AuthorID:634849

ORCID: 0000-0002-7149-8489

КУБЕНИН Николай Александрович, кандидат технических наук,
доцент кафедры корабельных систем управления
Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия»
(198510 г. Санкт-Петербург, г. Петродворец, улица Разводная, 15; e-mail: kubenin@list.ru)

SPIN: 2838-2550

AuthorID:634849

ORCID: 0000-0002-7149-8489

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией
Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук
(199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13; e-mail: t__54@mail.ru)

SPIN: 4520-5394

AuthorID: 1093167

ORCID: 0000-0001-9800-4904

КОЛЕРОВ Дмитрий Алексеевич, начальник кабинета кафедры
системного анализа и антикризисного управления
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149, e-mail: dima11rus@inbox.ru)

Аннотация. В статье рассмотрена задача принятия управленческого решения по определению количества необходимых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и обнаружения террористически опасных морских объектов. Кроме того, БПЛА по сравнению с другими средствами обнаружения являются более дешёвыми. Поэтому задача обнаружения малоразмерных средств террористического нападения с помощью БПЛА является весьма перспективной. Для решения этой задачи была разработана модель определения количества БПЛА необходимых для своевременного обнаружения средств террористического нападения на объекты в море. Обоснована целесообразность разработки модели на основе метода поиска с постоянной интенсивностью. События, состоящие в своевременном прибытии к месту поиска и обнаружении террористически опасных объектов, в своевременном прибытии противодействующих сил к месту планируемого теракта и в успешной ликвидации объекта в модели приняты как независимые. Это позволило вероятность предотвращения теракта выразить через произведение вероятностей этих событий. Приведены графики зависимости необходимого количества БПЛА от требований к вероятности своевременного обнаружения средств террористического нападения для конкретных исходных данных. Показано, что для увеличения вероятности нахождения террористически опасного морского объекта необходимо большее количество БПЛА. Даны рекомендации по применению разработанной модели с целью повышения достоверности принимаемых решений по определению количества необходимых БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, управление, поддержка принятия управленческих решений, модель, математическая модель, террористически опасные морские объекты.

**MANAGEMENT DECISION SUPPORT MODEL FOR SUBSTANTIATING THE NUMBER OF UAVS
FOR DETECTING TERRORIST DANGEROUS OFFSHORE OBJECTS**

© The Author(s) 2023

KUVATOV Valery Ilyich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of System Analysis and Anti-Crisis Management
St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia

(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr-kt, 149, e-mail: kyb.valery@yandex.ru)

KUBENIN Nikolai Alexandrovich, candidate of technical sciences,
associate professor, Department of Ship Control Systems

Military Educational and Scientific Center of the Navy "Naval Academy"

(198510 St. Petersburg, Petrodvorets, Razvodnaya street, 15; e-mail: kubenin@list.ru)

TARANTSEV Alexander Alekseevich, doctor of technical sciences, professor, head of laboratory
Institute of Transport Problems named after N.S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences

(199178, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, line 12, 13; e-mail: t_54@mail.ru).

KOLEROV Dmitry Alekseevich, head of the cabinet of the Department
of System Analysis and Anti-Crisis Management

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr-kt, 149, e-mail: dima11rus@inbox.ru)

Abstract. The article considers the problem of making a managerial decision to determine the number of unmanned aerial vehicles (UAVs) required for monitoring and detecting terrorist dangerous marine objects. In addition, UAVs are cheaper than other means of detection. Therefore, the task of detecting small-sized means of terrorist attacks using UAVs is very promising. To solve this problem, a model was developed to determine the number of UAVs necessary for the timely detection of means of a terrorist attack on objects at sea. The expediency of developing a model based on the search method with a constant intensity is substantiated. The events consisting in the timely arrival to the search site and detection of terrorist dangerous objects, in the timely arrival of counteracting forces to the site of the planned terrorist attack, and in the successful liquidation of the object in the model are taken as independent. This allowed the probability of preventing a terrorist attack to be expressed through the product of the probabilities of these events. Graphs of the dependence of the required number of UAVs on the requirements for the probability of timely detection of terrorist attack means for specific initial data are given. It is shown that in order to increase the probability of finding a terrorist dangerous marine object, a larger number of UAVs is needed. Recommendations are given on the application of the developed model in order to increase the reliability of decisions made to determine the number of required UAVs.

Keywords: UAV, management, management decision support, model, mathematical model, terrorist dangerous off-shore facilities.

Для цитирования: Куватов В.И. Модель поддержки принятия управленческих решений по обоснованию количества БПЛА для обнаружения террористически опасных морских объектов // В.И. Куватов, Н.А. Кубенин, А.А. Таранцев, Д.А. Колеров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 66-71. – EDN: QNUQHХ.

Введение. Задача поиска террористически опасных объектов в море, как одна из составных частей антитеррористической деятельности, является особенно актуальной в связи с ростом интенсивности террористических нападений во всем мире. Научная новизна этой задачи связана с появлением новых недорогих и эффективных средств террористического нападения на море: воздушных и надводных беспилотных аппаратов. Задача борьбы с такими аппаратами требует новых методов и моделей. Практическая новизна задачи связана с необходимостью повышения эффективности предотвращения террористических нападений на море и ликвидации их последствий.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты настоящего исследования. В настоящее время проблеме борьбы с терроризмом посвящены многие исследования. В большинстве этих исследований в прямой постановке освещается одна из сторон противодействия терроризму. Так в работах [1, 5, 12, 18, 19, 20, 21, 26] рассмотрены теоретические вопросы противодействия терроризму. Работы [9, 10] посвящены правовым вопросам противодействия терроризму. Вопросы психологии терроризма исследованы в работах [15, 24]. В работах [11, 16-18, 22, 23] рассмотрены вопро-

сы международного терроризма. Методы и средства противодействия терроризму в Интернет и в социальных сетях рассмотрены в работах [1, 2, 6]. В работах [4, 13] рассмотрены иные, в том числе технические средства и методы противодействия терроризму. В работах [14, 3, 7, 8] рассмотрены вопросы применения БПЛА, в том числе – в интересах противодействия терроризму. Отметим, что в ряде работ, это касается в основном монографий, рассматриваются сразу несколько направлений противодействия терроризму. Работ, в которых в прямой постановке ставилась и решалась бы задача противодействия терроризму на море, нет.

Методология. Цель настоящей статьи заключается в разработке модели поддержки принятия решений в интересах своевременного обнаружения террористически опасных морских объектов. В качестве метода исследования была выбрана теория поиска. Показано, что модель поддержки принятия решений по поиску террористически опасных морских объектов целесообразно разрабатывать на базе метода поиска с постоянной интенсивностью. События, состоящие в своевременном прибытии к месту поиска и обнаружении террористически опасных объектов, в своевременном прибытии противодействующих сил к месту планируемого теракта и в успешной ликви-

дации объекта в модели приняты как независимые. Это позволило вероятность предотвращения теракта выразить через произведение вероятностей этих событий.

Задача борьбы с терроризмом в море, особенно в проливах и на интенсивных торговых путях, проходящих вблизи берегов ряда государств, является исключительно актуальной [1, 6]. Успешное предотвращение теракта предполагает: принятие грамотных управленческих решений, своевременное обнаружение средств террористического нападения, своевременное прибытие противодействующих сил к месту планируемого террористического акта и успешной ликвидации террористов [7, 8]. Математически это может быть выражено формулой:

$$P_{\text{пта}} = P_{\text{обн}} * P_{\text{приб}} * P_{\text{ликв}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пта}}$ – вероятность предотвращения теракта;

$P_{\text{обн}}$ – вероятность своевременного обнаружения средств террористического нападения и места планируемого теракта; $P_{\text{приб}}$ – вероятность своевременного прибытия противодействующих сил в месту планируемого теракта; $P_{\text{ликв}}$ – вероятность успешной ликвидации объекта.

Пусть в момент времени T_0 на пункт управления системой охраны водного района поступила информация о том, что в момент T_1 в заданном районе моря готовится террористическая атака. Пусть известно:

– время необходимое для прибытия в заданный район сил поиска средств террористического нападения $t_{\text{сил поиска}}$;

– время, необходимое для прибытия в заданный район сил противодействия террористической атаке $t_{\text{сил прот}}$;

– время, необходимое для ликвидации средств террористического нападения $t_{\text{ликв}}$.

Тогда время, необходимое для предотвращения теракта, должно удовлетворять соотношению:

$$T_0 + t_{\text{сил поиска}} + t_{\text{поиска}} + t_{\text{сил прот}} + t_{\text{ликв}} \leq T_1, \quad (2)$$

где $t_{\text{поиска}}$ – отрезок времени от начала поиска до обнаружения средств террористического нападения. Отсюда следует, что длительность поиска должна удовлетворять соотношению:

$$t_{\text{поиска}} \leq T_1 - T_0 - t_{\text{сил поиска}} - t_{\text{сил прот}} - t_{\text{ликв}} \quad (3)$$

Соотношение (3) позволяет выявить наряд сил, необходимых для своевременного обнаружения средств террористического нападения. Рассмотрим одну из моделей, позволяющих рассчитать такой наряд с учетом специфики входящих в него сил и средств поиска и особенностей средств террористического нападения.

Благодаря развитию интеллектуальных технологий [2] у террористов появляются дистанционно-управляемые или полностью автономные робототехнические комплексы, которые могут перемещаться по поверхности моря и осуществлять террористические акты в соответствии с разработанными алгоритмами. В связи с тем, что размеры таких робототехнических комплексов могут быть очень

малыми, вопросы их своевременного обнаружения необходимо решать на современном технологическом уровне. Стационарные радиолокационные станции береговой системы наблюдения и станции, установленные на кораблях охраны водного района, не всегда имеют возможность своевременно обнаруживать надводные объекты малых размеров. Это происходит в силу того, что эффективная площадь рассеяния таких объектов мала, даже незначительное волнение на море значительно снижает дальность обнаружения малоразмерных объектов, особенно в условиях пониженной радиолокационной наблюдаемости и др.[4].

В последние годы в мировой практике существует устойчивая тенденция успешного применения БПЛА в различных сферах деятельности. В России имеется ряд компаний, занимающихся производством БПЛА для различных нужд, в том числе и для обнаружения малоразмерных объектов. Дополнительным преимуществом БПЛА по сравнению с другими средствами обнаружения является их относительная дешевизна. Поэтому задача обнаружения малоразмерных средств террористического нападения с помощью БПЛА является весьма перспективной.

Результаты. Ниже описана модель определения состава группы БПЛА, способной своевременно обнаружить малоразмерные средства террористического нападения в заданном районе моря площадью .

Анализ особенностей поиска малоразмерных объектов: вероятность пропуска целей в силу волнения моря и, как следствие, необходимость неоднократного обследования одних и тех же участков района местонахождения террористов, позволил прийти к выводу о целесообразности использования модели поиска с постоянной интенсивностью.

Пусть БПЛА обнаруживает объект за время t с вероятностью $P(t)$, а за время от t до $t+dt$ с вероятностью $P(dt)$. Цель не будет обнаружена за время от 0 до $t+dt$, если она не будет обнаружена ни за время от 0 до t , ни за время dt .

Отсюда, получим:

$$1 - P(t + dt) = [1 - P(t)] \cdot [1 - P(dt)]. \quad (4)$$

Найдем разность вероятностей $P(t+dt)$ и $P(t)$ поделим эту разность на dt и, устремив dt к нулю, получим:

$$\frac{dP(t)}{dt} = [1 - P(t)]\gamma(t),$$

где $\gamma(t) = \frac{P(dt)}{dt}$ – интенсивность поиска объекта.

Решив это дифференциальное уравнение, получим

$$P(t) = 1 - e^{-\int \gamma(t) dt} \quad (5)$$

Для поиска с постоянной интенсивностью ($\gamma = const$) формула оценки вероятности обнаружения цели за время t имеет вид:

$$P(t) = 1 - e^{-\gamma t}. \quad (6)$$

Интенсивность поиска объекта одним беспилотным летательным аппаратом определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{1,8 \cdot D_{\text{обн}} \cdot V_p}{S_p} \quad (7)$$

где: $D_{\text{обн}}$ – дальность обнаружения малоразмерного средства террористического нападения, V_p – относительная скорость средства террористического нападения. Для надежного обнаружения ширину полосы поиска обычно принимают равной $1,8 \cdot D_{\text{обн}}$.

Относительная скорость вычисляется по формуле:

$$V_p = \frac{2(V_0 + V_p)E(k)}{\pi}, \quad (8)$$

где: V_0 – скорость средства террористического нападения, V_p – поисковая скорость беспилотного летательного аппарата, $E(k)$ – эллиптический интеграл второго рода, параметр k которого определяется по формуле:

$$k = \frac{2 \cdot \sqrt{V_0 \cdot V_p}}{(V_0 + V_p)}. \quad (9)$$

На практике для вычисления относительной скорости часто применяют приближенную формулу:

$$V_p = \frac{V_0^2 + V_p^2}{V_0 + V_p} + 0,3 \cdot \sqrt{V_0 \cdot V_p}. \quad (10)$$

Если в районе поиска одновременно действует n БПЛА, то вероятность обнаружения средства террористического нападения хоть одним из них за время $t_{\text{поиска}}$ определяется по формуле:

$$P(n, t_{\text{поиска}}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t_{\text{поиска}})). \quad (11)$$

Если исходить из того, что все n БПЛА одинаковые, а это обычно имеет место на практике, то формула (11) преобразуется к виду:

$$P(n, t_{\text{поиска}}) = 1 - (1 - P(t_{\text{поиска}}))^n. \quad (12)$$

Соотношение (12), с учетом формул (6) и (7) для поиска с постоянной интенсивностью, приобретает

вид:

$$P(n, t_{\text{поиска}}) = 1 - e^{-\frac{1,8 \cdot D_{\text{обн}} \cdot V_p \cdot t_{\text{поиска}} \cdot n}{S_p}}. \quad (13)$$

Потребуем, чтобы вероятность своевременного обнаружения средства террористического нападения была равна 0.9. Это значит, что в 9 случаях из 10 цель будет обнаружена вовремя:

$$1 - e^{-\frac{1,8 \cdot D_{\text{обн}} \cdot V_p \cdot t_{\text{поиска}} \cdot n}{S_p}} = 0,9. \quad (14)$$

Отсюда, после несложных преобразований, найдем требуемое количество БПЛА для своевременного обнаружения средств террористического нападения. Формула для расчёта будет иметь вид:

$$n = -\frac{S_p \cdot \ln(0,1)}{1,8 \cdot D_{\text{обн}} \cdot V_p \cdot t_{\text{поиска}}}, \quad (15)$$

где $t_{\text{поиска}}$ определяется из соотношения (3).

Расчётная величина n , получаемая из последнего соотношения может оказаться не целочисленной. Поэтому в качестве количества БПЛА, требуемых для своевременного обнаружения средств террористического нападения, выбираем целое число, ближайшее сверху к n .

Рассмотрим пример. Пусть $D_{\text{обн}} = 5$ км, $S_0 = 5000$ км², $V_p = 110$ км/ч. На рисунке 1 представлен график зависимости $P(t_{\text{поиска}}; n)$, рассчитанный для этих значений при различных значениях вероятности своевременного обнаружения и количества БПЛА.

На рисунке 2 построено семейство графиков для различных значений вероятности обнаружения средств террористического нападения.

Расчёт произведён с учётом заданных ранее данных. На графиках приведены результаты для различных значений $D_{\text{обн}}$.

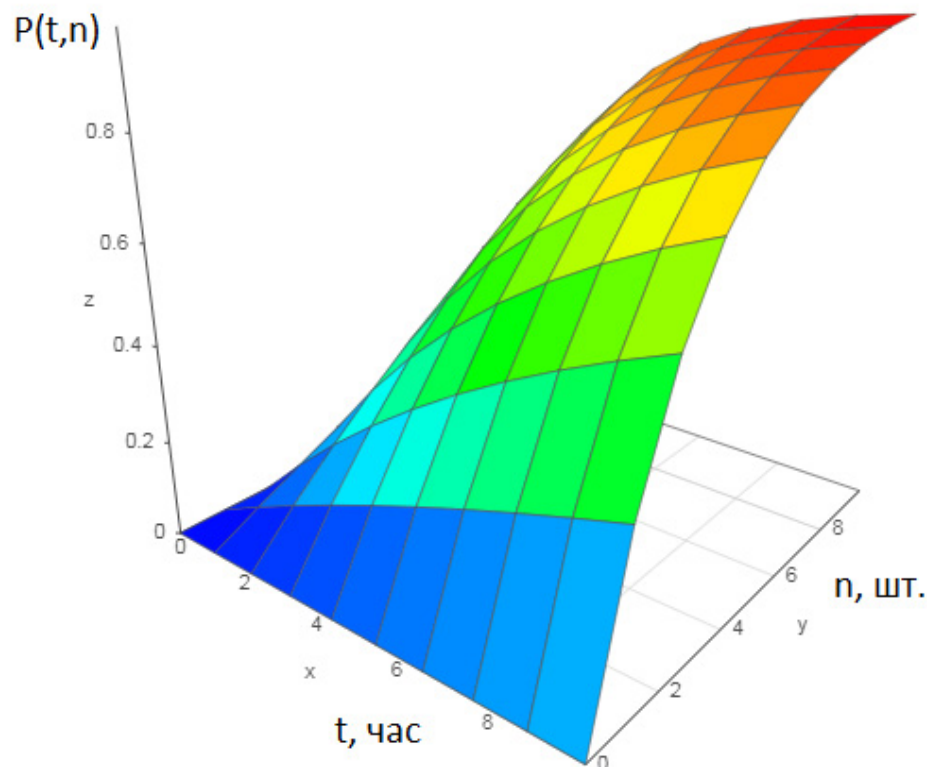


Рисунок 1 – Зависимость $P(t, n)$

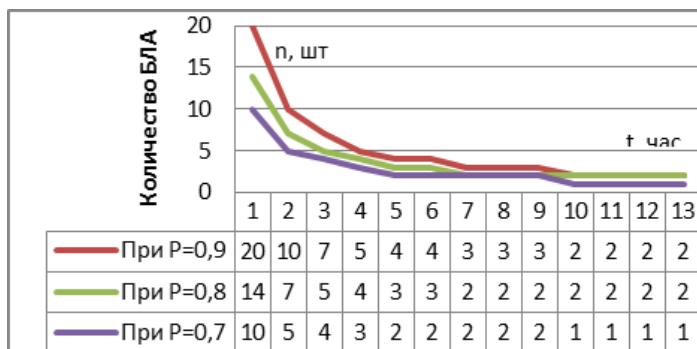


Рисунок 2 – Зависимость количества БПЛА от времени t при заданной вероятности

Обсуждение. В статье даны основы построения модели, позволяющей обосновать количество БПЛА, необходимое для своевременного обнаружения террористически опасных морских объектов. В статье основное внимание уделено вопросам поиска и обнаружения террористически опасных морских объектов. В статье применен метод с постоянной интенсивностью поиска. Для этих же целей могут применяться также методы поиска с убывающей и возрастающей интенсивностью. Однако оба этих метода целесообразно применять в тех случаях, когда поисковые силы обнаруживают объект поиска, если он находится в зоне обнаружения объекта, с вероятностью равной единице. В нашем случае, в силу малой заметности террористически опасного объекта и особенностей морской среды, возможен пропуск объекта, даже если он находится в зоне обнаружения. Поиск с постоянной интенсивностью предполагает возможность повторного обследования одних и тех же районов. Во многих статьях, посвященных борьбе с терроризмом, рассматриваются различные аспекты проблемы: правовые [1, 9], информационные [2, 6], социальные [24], психологические [25], технические без учета специфики поиска террористов в морской среде [1, 4, 13] и др. В статье определение необходимого количества БПЛА происходит: с учетом времени прибытия их район местонахождения объекта, времени прибытия в этот район сил противодействия террористической атаке и времени ликвидации террористически опасного морского объекта. В других источниках [3, 7, 8 и др.] не учитываются процессы своевременного прибытия противодействующих сил к месту планируемого террористического акта и успешной ликвидации террористов, вопросы учета специфики морской среды. Анализ графика, приведенного на рисунке 2, показывает, как меняется необходимое количество БПЛА в зависимости от требуемой вероятности обнаружения объекта и времени поиска. Достоверность модели обоснования количества БПЛА, необходимое для своевременного обнаружения террористически опасных морских объектов подтверждается корректностью использования апробированных методов теории поиска и практикой применения аналогичных моделей при организации поиска потерпевших аварию морских объектов.

Выводы. Таким образом, задействование БПЛА позволит по-новому подойти к борьбе с терроризмом в открытом море, а разработанная выше математическая модель позволит научно обосновать количество беспилотных летательных аппаратов с учетом требуемой вероятности обнаружения объекта в заданном районе поиска.

Использование этой модели позволит более оперативно принимать управленческие решения по определению необходимого количества БПЛА для обнаружения террористически опасных морских объектов и снизить вероятность ошибки.

В дальнейшем предполагается разработать модель, в которой рассчитывается время прибытия сил противодействия и время ликвидации террористически опасного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абрамов А.Э. Терроризм – современная специфика и методы противодействия. Научный вестник РАНХиГС. Политология и социология. – 2017. – № 4. – С. 91-94.
2. Бушин, Е.В. Современные тенденции развития информационных технологий в борьбе с информационным терроризмом в Российской Федерации / Е.В. Бушин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 20 (310). – С. 257-259. – URL: <https://moluch.ru/archive/310/70047/> (дата обращения: 14.06.2023).
3. Граневский К.В., Кубенин Н.А., Позырайло С.В. Дроны – оружие будущего! (или настоящего?) // Сборник статей и докладов. «Актуальные проблемы военной науки и политтехнического образования ВМФ» Научно-техническая конференция ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Санкт-Петербург. – 2015. – С. 55-60.
4. Григорьев Н.Ю., Родюкова Э.Б., Слобцова Т.Л. Превентивные средства и методы борьбы с терроризмом в России. <https://cyberleninka.ru/article/n/preventivnye-sredstva-i-metody-borby-s-terrorizmom-v-rossii/viewer>
5. Долгова А.И. Теоретические основы реагирования на терроризм и экстремизм / Проблемы теории и практики борьбы с терроризмом и экстремизмом: материалы научно-практической конференции. – Москва: Российская криминологическая ассоциация; Ставрополь: СКФУ, 2015. – С. 5-12.
6. Куватов В.И., Примакин А.И., Якушев Д.И. Противодействие террористическим и экстремистским организациям в сети Интернет. Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России, 2015. – № 1 (65). – С.91-94.
7. Кубенин Н.А., Куватов В.И., Скородумов Д.Н. Инструментальное средство моделирования рационального состава поисковой группы беспилотных летательных аппаратов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018618069, 09.07.2018.
8. Кораблев Д.К., Кубенин Н.А., Куватов В.И., Буков С.А. Инструментальное средство имитационного моделирования оценки эффективности освещения надводного района

разнотипными робототехническими комплексами. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019618563, 02.07.2019.

9. Потемка К.А. Терроризм: правовая основа и способы борьбы в Российской Федерации. Российский государственный социальный институт. Сетевое издание Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации».

10. Саидов А.К. Борьба с терроризмом в России: возможности и перспективы [Электронный ресурс] // Наукарус – Российская библиотека научных журналов и статей академии (РАН) URL: <http://naukarus.com/bor-ba-sterrorizmom-v-rossii-vozmozhnosti-i-perspektivy> (Дата обращения: 24.04.2020).

11. Сапута А.И. Международный терроризм в условиях глобализации. Вестник Московского университета МВД России, 2014. – № 9. – С. 58-62.

12. Скребец Е.С. Борьба с терроризмом в Российской Федерации: концепции и методология. Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Юридические науки – 2016 – Т.2 (68) № 1. – С. 137-144. Борьба с терроризмом – приоритетное направление обеспечения безопасности любого государства.

13. В.К. Толоконников. Современные научные разработки и специальные средства, способствующие предотвращению совершения террористических актов. Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия «Право» 2016. – № 1-2 (18). Оснащение правоохранительных органов современными комплексами обнаружения взрывчатых веществ и взрывных устройств одна из важнейших задач борьбы с террором.

14. Щидловский А.Л., Щупнев Д.С., Турсенев С.А., Мاستипан А.В., Куватов В.И. Разработка алгоритмов управления беспилотными летательными аппаратами. Сборник: Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения. Материалы Международной научно-практической конференции. Составители Т.В. Мусиенко, В.А. Онов, Н.В. Федорова. – 2020. – С. 107-110.

15. Уилкинсон П. Свобода и терроризм / Терроризм: корни, воздействие, ответные меры, изд. Лэнс Ховард. Нью-Йорк: Прегер, 1992. – С.137-164.

16. Комбс С. Терроризм в 21 веке. Аппер-Седл-Ривер, Нью-Джерси: Прентис-Холл, 1997. – 295 с.

17. Смертельные связи: государства, спонсирующие терроризм. Нью-Йорк: Издательство Кембриджского университета. 2005. – 372 с.

18. Конкар, Д. (2001, 29 сентября), "Сокращение возможностей талибана" Линия жизни, New Scientist, стр. 77

19. Гудвин Дж. Теория категориального терроризма. Социальные силы. – Том 84. – № 4 (июнь 2006 г.). – С. 2027-2046.

20. Д. Терроризм: новейшее лицо войны. Нью-Йорк: Пергамон-Брасси, 2005. – 207 с.

21. Хоффман, Б. 1998, "Внутренний терроризм", Нью-Йорк: Издательство Колумбийского университета. – С. 27.

22. Джеффри Иэн Росс, "Политический терроризм", издательство Питера Лэнга, Inc., Нью-Йорк, 2006, стр. 47

23. Глобальный индекс терроризма 2019. – 101 с. [Электронный ресурс] // Видение человечества URL: <http://visionofhumanity.org/app/uploads/2019/11/GTI2019web.pdf>.

24. Глобализация: социальная теория и глобальная культура. Лондон: SAGE Publications, 1992. – С. 8.

25. Происхождение терроризма: психология, идеология, теология, состояния сознания, Вашингтон: Центр Вудро Вильсона / Нью-Йорк: Издательство Кембриджского университета, 1990. – С. 49-50.

Статья поступила в редакцию 01.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.942:519.876.2

EDN: NEHMSF

МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТГРУЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУФЕРНЫХ ЕМКостей ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ КОМБИНАТА

© Автор(ы) 2023

ORCID:0009-0002-1399-1344

АЛМУНТАФЕКИ Асель Фарис Марзуг, аспирантка

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

(119049, Россия, Москва, Ленинский проспект, д.4, e-mail: gsn@misis.ru)

Аннотация. В работе рассмотрены актуальные вопросы организации мест хранения и погрузки готовой продукции комбината. Предложена методика расчета номинальной скорости погрузки, производительности буферных емкостей хранения готовой продукции и времени загрузки одной транспортной машины. Выявлена регрессионная взаимосвязь времени загрузки одного автомобиля и скорости загрузки, выделены зоны эффективной и неэффективной загрузки. Получено семейство прогнозных кривых для различных вариантов грузоподъемности транспортных средств, выделяемых под погрузку в зонах хранения готовой продукции комбината. Численно оценен риск отгрузки произведенной продукции, включающий риск переполнения склада и остановки производства из-за отсутствия места хранения готовой продукции и риск простоя транспортных средств ввиду отсутствия готовой продукции и невыполнения договорных обязательств по ее доставке конечному потребителю. Предложен подход к определению вероятности наступления рискованного события как некоторого случая безотказной работы буферной емкости хранения готовой продукции. Предложена методика расчета среднего времени безотказной работы буферной емкости для хранения готовой продукции (наработки на отказ) как математического ожидания времени ее работы до одного из критических состояний (переполнение/недостаток). Обоснован подход к разработке и оценке эффективности антирисковых мер, направленных на снижение величины ущерба, либо на уменьшение вероятности возникновения рискованного события в транспортно-логистической системе промышленной площадки комбината.

Ключевые слова: риск, отгрузка, загрузка, цикл разгрузки, производство, договорные обязательства, производительность, вероятность безотказной работы, концентрат, стекольные пески, фракционные пески, буферная емкость хранения, мягкий контейнер.

MODELING OF FINISHED PRODUCTION SHIPMENT RISK BASED ON OPTIMIZING THE PERFORMANCE PARAMETERS OF BUFFER CAPACITIES OF THE PLANT INDUSTRIAL SITE

© The Author(s) 2023

ALMUNTAFEKY Aseel Faris Marzoog, post-graduate student

University of Science and Technology

(119049, Russia Moscow, Leninsky prospect, 4, e-mail: gsn@misis.ru)

Abstract. The paper deals with topical issues of organizing places for storage and loading of the finished products of the plant. A method for calculating the nominal loading speed, the performance of buffer tanks for storing finished products and the loading time of one transport vehicle was proposed. The regression relationship between the loading time of one car and the loading speed was revealed, the zones of effective and inefficient loading were identified. A family of predictive curves for various variants of the carrying capacity of vehicles allocated for loading in the storage areas of the plant's finished products was obtained. The risk of shipment of manufactured products was numerically assessed, including the risk of overflowing the warehouse and stopping production due to the lack of storage space for finished products and the risk of vehicle downtime due to the lack of finished products and failure to fulfill contractual obligations to deliver them to the end consumer. An approach to determine the probability of a risk event occurring as a certain case of non-failure operation of the buffer capacity for storing finished products was proposed. A method was proposed for calculating the mean time of failure-free operation of a buffer capacity for storing finished products (time between failures) as the mathematical expectation of its operation time to one of the critical states (overflow/lack). An approach to the development and evaluation of the effectiveness of anti-risk measures aimed at reducing the amount of damage or reducing the likelihood of a risk event in the transport and logistics system of the industrial site of the plant was substantiated.

Keywords risk, shipping, loading, unloading cycle, production, contractual obligations, productivity, probability of failure-free operation, concentrate, glass sands; fractional sands; buffer storage capacity; soft container.

Для цитирования: Алмунтафеки А.Ф.М.. Моделирование риска отгрузки готовой продукции на основе оптимизации параметров производительности буферных емкостей промышленной площадки комбината // А.Ф.М. Алмунтафеки // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 72-78. – EDN: NEHMSF.

Введение. Необходимость учета множества показателей, критериев и параметров при принятии управленческих решений в транспортно-логистической системе промышленного предприятия [1-4] преопределили идею и основные подходы настоящего исследования. Анализ показателей объема отгрузок готовой продукции с учетом сезонности, ассортимента поставок, протяженности маршрута, вместимости и режима работы склада готовой продукции, а также типа транспортного средства и продолжительности цикла перевозки (загрузка – доставка – разгрузка) [5-7] и т.п., дал возможность моделировать как базовые показатели транспортно-логистической системы промышленного предприятия (стоимость логистики продаж по направлениям перевозок, оптимальный тип и количество транспорта по направлениям перевозок) [8, 9], так и специфических параметров, характеризующих деятельность промышленной площадки [10-12]. Это позволило, в свою очередь, улучшить промышленный клиентский сервис при доставке готовой продукции (доставка необходимого объема точно в срок и в нужное место) [13], а также исключить возможные риски переполнения склада готовой продукции и остановки производства из-за отсутствия места для хранения [14, 15]. Разработанные

модели легли в основу оптимизации логистических затрат на транспортировку, хранение и определения необходимого уровня запасов и транспортно-логистических потерь.

Методология. Комбинат выпускает множество видов готовой продукции $ГП = \{K, ФП, СП\}$, где $K = \overline{1,3}$ – производственные концентраты, $ФП = \overline{1,3}$ – фракционные пески, $СП = \overline{1,3}$ – пески для стекольной промышленности. Отгрузка готовой продукции осуществляется способами $s = \overline{1,2}$ ($s = 1$ – навалом, $s = 2$ – в мягкий контейнер (контейнер из полипропиленовой ткани биг-бег массой 1000 кг) (МКР)). На территории комбината можно выделить некоторое множество зон хранения готовой продукции $ЗХ = \{ЗХ_1, ЗХ_2, ЗХ_3, ЗХ_4, ЗХ_5, ЗХ_6\}$: $ЗХ_1$ – зона хранения производственных концентратов; $ЗХ_2$ – зона хранения фракционированного песка в МКР; $ЗХ_3$ – зона хранения навалом фракционированного песка с помощью силоса; $ЗХ_4$ – зона хранения фракционированного и стекольного песка навалом с помощью силосов; $ЗХ_5$ – зона хранения стекольного песка в МКР; $ЗХ_6$ – зона хранения влажного песка навалом. На предприятии готовую продукцию отгружают в специально оборудованных местах, исходя из технологических свойств и специфики произведенной продукции, а также способа отгрузки (s) (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица сопряжений мест хранения и погрузки готовой продукции комбината

Продукция			Зона хранения	Места погрузки													
Тип	Тара	Фракция		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
К1	МКР	-	$ЗХ_1$	+													
	Навал		$ЗХ_1$													+	
К2	МКР	-	$ЗХ_1$	+													
К3	МКР	-	$ЗХ_1$	+													
Фракционированные пески	МКР	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_2$		+												
		(-1,2+0,8 мм)	$ЗХ_2$		+												
		(-5,0+1,2 мм)	$ЗХ_2$		+												
	Навал (сух.)	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_3$				+										
		(-1,2+0,8 мм)	$ЗХ_3$			+											
		(-5,0+1,2 мм)	$ЗХ_3$			+											
	Навал (влаж.)	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_6$													+	
		(-1,2+0,8 мм)	$ЗХ_6$													+	
		(-5,0+1,2 мм)	$ЗХ_6$													+	
Стекольные пески ВС-050-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_5$									+	+				
	Навал	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_4$					+	+								
Стекольные пески С-070-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_5$									+	+				
	Навал	(-0,2+0,1 мм)	$ЗХ_4$							+							
Стекольные пески ВС-030-В	МКР	(-0,8+0,2 мм)	$ЗХ_5$									+	+				
	Навал	(-0,8+0,2 мм)	$ЗХ_4$								+	+					

Номенклатура отгрузки $ЗХ_i$ представляет собой производственные концентраты K_1, K_2, K_3 . Каждый из концентратов хранится в силосе-бункере емкостью $V_6=15 \text{ м}^3$, имеющем определенную скорость

наполнения (производительность) (Пн) (табл. 2). Отгрузка готовой продукции может производиться в МКР и/или навалом из бункера с концентратами с помощью конвейера. Место погрузки МКР

оборудовано кран-балкой 2,0 т.

Участок отгрузки представляет собой крытый навес, где погрузка в машину осуществляется сверху с помощью кран-балки или конвейера. Одновременно может происходить загрузка одного автомобиля.

Время погрузки 1 МКР в автомобиль рассчитывается исходя из времени работы кран-балки. Время подвоза МКР погрузчиком не превышает время работы кран-балки. Производительность упаковочной машины составляет 30 т/час.

Таблица 2 – Расчет объемов буферов хранения готовой продукции для ЗХ (пример расчета)

Продукция	Производительность (П _ц) (наполнение буфера)*				Емкость буферов хранения**		
	т/час		т/сут	т/мес	м ³	т	МКР
	Макс.	Мин.	Макс.	Макс.			
К1	1,40	1,2	33,5	950,8	15	27,75	27
К2	0,45	0,4	10,8	306,6	15	38,1	38
К3	0,10	0,1	2,3	778,0	15	27,75	27

*На производительность наполнения буфера могут оказывать влияние погодные условия и время года
**При расчете емкости буферов хранения использовался коэффициент насыпной плотности концентратов:
К1 = 1,85 т/м³; К2 = 2,54 т/м³; К3 = 1,85 т/м³.

Для расчета номинальной скорости погрузки v (т/час, МКР/ч) и времени загрузки одной машины T (мин) были использованы следующие соотношения:

$$v = \frac{1}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (1)$$

где t_i – суммарное время i -ой операции, необходимой для погрузки одного МКР. В зависимости от зоны хранения и способа погрузки в это время входят различные операции ($i = \overline{1, N}$) такие как подъем-спуск кран-балки, время одной поездки погрузчика, строповка, наполнение ковша (для влажного песка) и т.п. (табл. 3) время загрузки составит:

$$T = \frac{M}{v} + \sum_{j=1}^K t_j^* \quad (2)$$

где M – грузоподъемность машины, тонны или вместимость МКР; v – номинальная скорость загрузки (т/ч или МКР/ч); t_j^* – время, необходимое на подготовку машины к загрузке, которое не зависит от объема нагружаемой продукции. В зависимости от зоны хранения и способа погрузки в это время входит время различных операций ($j = \overline{1, K}$), такие как парковка под силосом/кран-балкой, тентовка-растентовка, подготовка для загрузки песка навалом и т.д.

Таблица 3 – Расчет номинальной скорости погрузки машины в ЗХ, место загрузки 1 (погрузка МКР кран-балкой) исходные данные (из паспорта кран-балки) (пример расчета)

Параметр	Значение
Высота подъема, м	9
Пролет крана, м	4,2
Общая длина крана, м	5,4
Грузоподъемность, т	2
Скорость, м/мин	20
Длина хода крана, м	15
Средний ход крана, м	7,5
Строповка, мин (1 шт.)	1
Подъем-спуск крана, мин (1 шт.)	0,5

Из общей формулы $v = 1/t$ в параметр t входят время одной поездки, численно равное отношению среднего хода крана к скорости, а также длительность подъем-спуска крана = 0,5 мин и время строповки = 1 мин. Таким образом, время одной поездки = 7,5 м / 20

м/мин = 0,375 мин, а $t = 0,5 + 1 + 0,375 = 1,875$ мин, тогда $v = 1 / (1,875/60)$ (с переводом минут в часы) = 32 МКР / ч.

Для расчета времени загрузки одной машины в ЗХ, при погрузке МКР кран-балкой были использованы следующие показатели $M = 21$ т, $v = 32$ т/ч, t' – определялось набором следующих параметров: парковка-выезд машины – 2 мин, тентовка – 9 мин, растентовка – 9 мин. Тогда, $T = 21 / 32 * 60 + (2 + 9 + 9) = 59,4$ мин (табл. 4).

Таблица 4 – Расчет времени загрузки 1 МКР в автомобиль кран-балкой для ЗХ, место погрузки 1 (пример расчета)

Параметр	Значение
Высота подъема, м	9
Пролет крана, м	4,2
Общая длина крана, м	5,4
Грузоподъемность, т	2
Скорость, м/сек	0,33
Скорость, м/мин	20
Длина хода крана, м	15
Средний ход крана, м	7,5
Средняя длительность одной "поездки", мин	0,375
Строповка, мин (шт.)	1
Подъем-спуск крана, мин (шт.)	0,5
Парковка-выезд машины, мин	2
Тентовка, мин	9
Растентовка, мин	9
Количество МКР в ТС	21
Время загрузки 1 автомобиля (21 МКР), мин	59,4
Скорость загрузки, т/ч	32,0

Результаты. Таким образом, в результате проведенных исследований были смоделированы параметры времени загрузки одного автомобиля T (21 МКР) и скорости загрузки v (табл. 5, рис. 1), построена регрессионная взаимосвязь вида $T = 938,02v^{-0,843}$, $R^2 = 0,96$, а также выделены зоны эффективной и неэффективной загрузки [16, 17]. Аналогичным образом было получено семейство прогнозных кривых для различных вариантов грузоподъемности транспортных средств [18], выделяемых под погрузку в зонах хранения готовой продукции комбината в диапазоне от 10 до 41 т (рис. 2).

Таблица 5 – Сводные показатели времени и скорости загрузки по зонам хранения продукции комбината

Параметры	Зоны хранения					
	3X ₁	3X ₂	3X ₃	3X ₄	3X ₅	3X ₆
Время загрузки одного автомобиля (21 МКР, мин.)	59,4	68,1	41,0	21,2	68,1	9,0
Скорость загрузки, т/ч	32,0	20,0	40,0	100	21,3	225

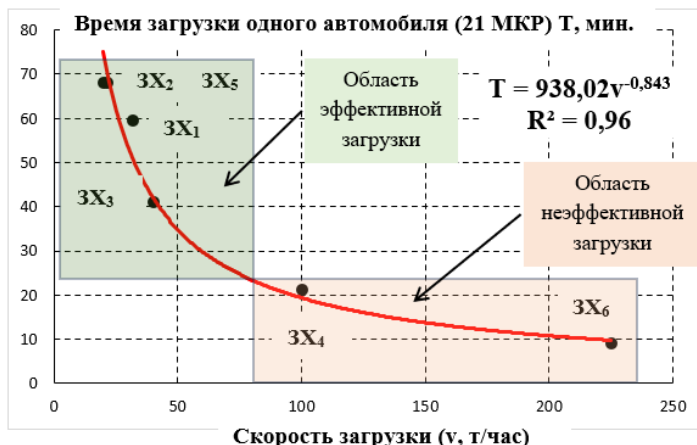


Рисунок 1 – Зависимость времени загрузки одного автомобиля (21 МКР), мин. от скорости загрузки v, т/час для исходного множества зон хранения готовой продукции $3X = \{3X_1, 3X_2, 3X_3, 3X_4, 3X_5, 3X_6\}$

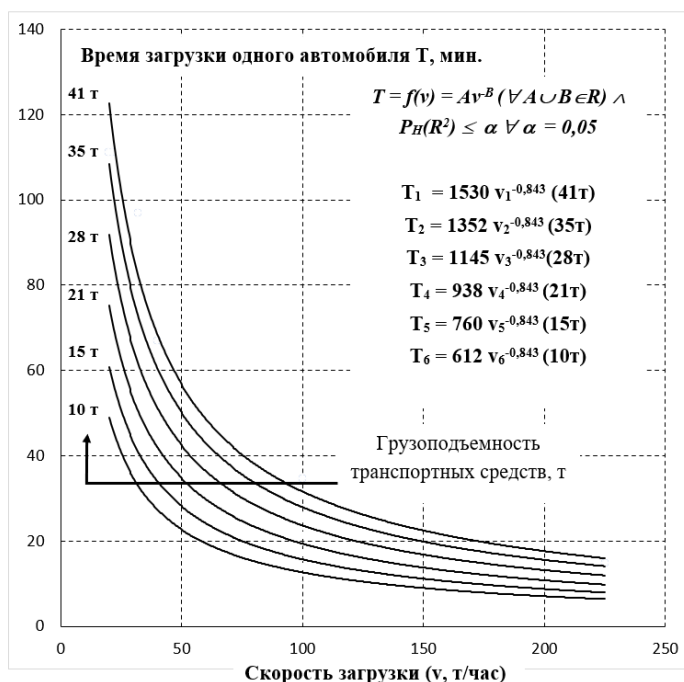


Рисунок 2 – Прогнозные зависимости времени загрузки одного автомобиля T, мин. от скорости загрузки v, т/час для различной грузоподъемности транспортных средств, выделяемых под погрузку в зонах хранения готовой продукции комбината

Обсуждение. При рассмотрении данной производственной задачи был произведен расчет риска отгрузки произведенной продукции (R_{nm}) [19-21]. В данной постановке (R_{nm}) складывается из двух составляющих $R_{nm} = R_{nc} + R_{nm}$: риск переполнения склада и остановки производства из-за отсутствия места хранения готовой продукции (R_{nc}); риск простоя транспортных средств ввиду отсутствия готовой продукции и невыполнения договорных обязательств по ее доставке конечному потребителю (R_{nm}). В традиционной постановке, каждый из этих рисков является функцией ущерба от данного

вида риска и вероятности его возникновения. Рассматривая вероятностную компоненту для условий данной задачи, можно определить, что вероятность возникновения риска будет зависеть от ряда составляющих, среди которых необходимо отметить следующие: производительность наполнения буфера хранения готовой продукции Π_n , т/ед.т.; емкость буфера хранения готовой продукции E_{σ} , м³ или т.; скорость / производительность разгрузки буфера хранения v, т/ед.т. Таким образом, вероятность наступления рискового события есть некоторая функция $P = f(\Pi_n, E_{\sigma}, v)$.

Исходя из специфики производственного процесса (рис. 3 (А, Б)) интенсивность заполнения минимально необходимого уровня буферной емкости хранения готовой продукции (BX_{min}), m^3 характеризуется функцией производительности заполнения буферной емкости хранения готовой продукции, $m^3/ед.т$, $PЗБХ_f = \{(t, PЗБХ(t)) \in T \times PЗБХ \mid t \in T\}$. При этом результирующий вектор прироста/снижения объема готовой продукции в емкости хранения $m^3/ед.т$, будет определяться функцией $РВГП_f = \{(t, РВГП(t)) \in T \times РВГП \mid t \in T\}$, зависящей от векторной суммы двух компонент

$$\overline{РВГП_f} = \overline{PЗБХ_f} + \overline{ПРБХ_f}, \quad (3)$$

где: $РВГП_f$ – функция результирующего вектора прироста/ снижения объема готовой продукции в емкости хранения $m^3/ед.т$, $РВГП_f = \{(t, РВГП(t)) \in T \times РВГП \mid t \in T\}$; $PЗБХ_f$ – функция производительности заполнения буферной емкости хранения готовой продукции, $m^3/ед.т$, $PЗБХ_f = \{(t, PЗБХ(t)) \in T \times PЗБХ \mid t \in T\}$; $ПРБХ_f$ – функция производительности разгрузки буферной емкости хранения готовой продукции, $m^3/ед.т$, $ПРБХ_f = \{(t,$

$ПРБХ(t)) \in T \times ПРБХ \mid t \in T\}$;

В такой постановке риск переполнения склада и остановки производства из-за отсутствия места хранения готовой продукции (переполнение) (R_{nc}) будет описываться выражением $(\forall t_1, t_2 \in M) t_2 > t_1 \Rightarrow РВГП_f(t_2) > РВГП_f(t_1)$ (рис. 3А), а риск простоя транспортных средств ввиду отсутствия готовой продукции и невыполнения договорных обязательств по ее доставке конечному потребителю (недостаток) (R_{nm}) соответственно $(\forall t_1, t_2 \in M) t_2 > t_1 \Rightarrow РВГП_f(t_2) < РВГП_f(t_1)$ (рис. 3Б).

При этом вероятность наступления рисковог о события возможно рассматривать как некоторый случай безотказной работы буферной емкости хранения готовой продукции [22, 23]. В данном случае среднее время безотказной работы буферной емкости хранения готовой продукции (наработка на отказ) ($t_2 < T < t_{риск}$) представляет собой математическое ожидание ее работы до одного из критических состояний (переполнение/недостаток). В такой постановке, используя традиционные подходы [24], его можно определить как:

$$T = (t_{риск} - t_2) = \int_{t_2}^{t_{риск}} t \times f(t) dt = \int_{t_2}^{t_{риск}} P(t) dt \Rightarrow f(t) = -\frac{dP(T)}{dt}, \quad (4)$$

где: $f(t)$ – функция плотности вероятности возникновения критического состояния (безотказной работы) буферной емкости хранения готовой продукции (переполнение (объем готовой продукции $\rightarrow BX_{max}$)/недостаток (объем готовой продукции $\rightarrow 0$)), BX_{max} – максимальный уровень буферной емкости хранения готовой продукции, m^3 ; $P(T)$ – вероятность безотказной работы буферной емкости хранения в интервале времени $t_2 < T < t_{риск}$ (рис. 4).

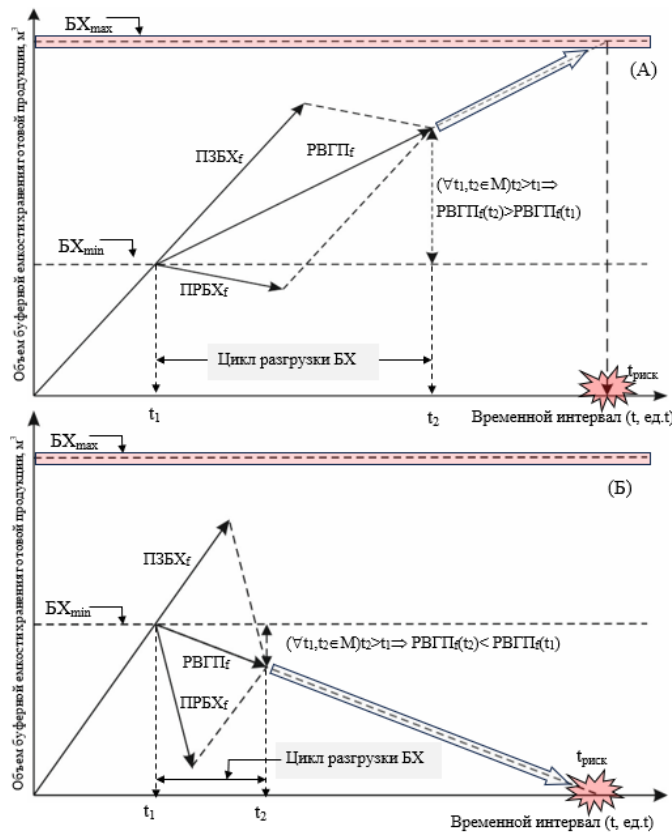


Рисунок 3 – Моделирование временных интервалов и вероятности возникновения риска отгрузки произведенной продукции R_m : (А) – риск переполнения склада и остановки производства из-за отсутствия места хранения готовой продукции (R_{nc}); (Б) – риск простоя транспортных средств ввиду отсутствия готовой продукции и невыполнения договорных обязательств по ее доставке конечному потребителю (R_{nm})

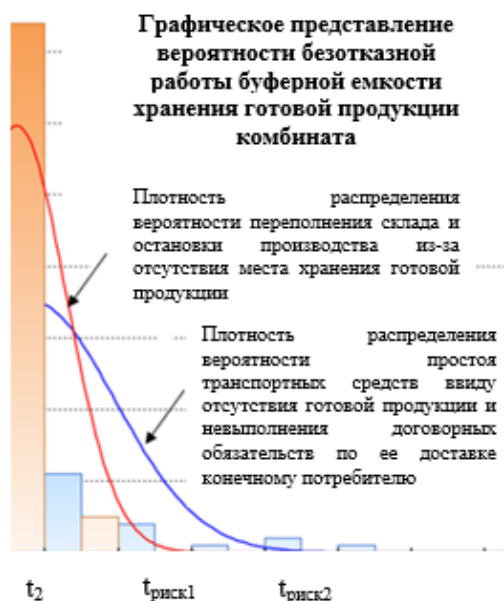


Рисунок 4 – Определение вероятности безотказной работы буферной емкости хранения готовой продукции комбината

Выводы. В результате проведенных исследований предложен подход к определению показателей риска отгрузки готовой продукции на промышленной площадке комбината. Базируясь на традиционных методах теории вероятностей и риск-анализа предложена методика определения основных показателей риска в двух базовых направлениях: риски переполнения склада и остановки производства из-за отсутствия места хранения готовой продукции; риски простоя транспортных средств ввиду отсутствия готовой продукции и невыполнения договорных обязательств по ее доставке конечному потребителю. Показано, что, определив величину ущерба от остановки производства и невыполнения договорных обязательств, можно осуществить разработку антирисковых мер, направленных на снижение величины ущерба, либо на уменьшение вероятности возникновения рисков события, и численно оценить их эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Линёв О.Н. Оценка эффективности функционирования логистических систем // Российское предпринимательство. – 2008. – №112(6-1). – С. 21-23.
2. Волков В.Д., Герами В.Д. Системно-операционные основы логистики и управления цепями поставок. Интегрированная логистика. – 2011. - №2. – С. 6-10.
3. Зубков В.Н., Рязанова Е.В. Методы эффективного взаимодействия участников перевозочного процесса в транспортных узлах. // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – №45(1). – С. 135-143.
4. Verhoeven P., Sinn F., Herden T. T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology. Logistics. – 2018. – №2(3). – P.20. <https://doi.org/10.3390/logistics2030020>.
5. Qian X., Fang S.-C., Yin M., et. al. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction. Information Sciences. – 2021. – №548. P. 357-377. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.011>.
6. Xiaohu Qian; Min Huang; Mingqiang Yin; Qingyu Zhang; Yangyu Yu A Multiattribute Decision Approach for 4PL Supply Base Design// Chinese Control And Decision Conference (CCDC). 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832611>.
7. Qian X., Chan F. T.S., Mingqiang Yin, Qingyu Zhang et. al. A two-stage stochastic winner determination model integrating a hybrid mitigation strategy for transportation service procurement auctions. Computers & Industrial Engineering. .2020;149:106703. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106703>.
8. Баскаков П.В., Матюшин Л.Н. Интеграция России в международную транспортную систему (функциональный аспект). // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2015. – №5. – С. 66-88.
9. Гапанович В.А., Розенберг И.Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта. // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №4. – С. 5-11.
10. Гагарский Э.А. Прогрессивные (логистические) транспортно-технологические системы как фактор снижения страховых рисков. // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №9. – С. 14-16.
11. Гапанович В.А., Розенберг И.Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта. // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №4. – С. 5-11.
12. Gruchmann T., Pratt N., Eiten J., Melkonyan A. 4PL Digital Business Models in Sea Freight Logistics: The Case of FreightHub. Logistics. – 2020. – №4(2). – P.10. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics4020010>.
13. Schramm H.-J., Czaja C.N., Dittrich M., Mentschel M. Current Advancements of and Future Developments for Fourth Party Logistics in a Digital Future. Logistics. – 2019. – № 3(1). – P.7. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics3010007>.
14. Lambrechts W., Son-Turan S., Reis L., Semeijn J. Lean, Green and Clean? Sustainability Reporting in the Logistics Sector. Logistics. – 2019. – №3 (1). – P.3. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics3010003>.
15. Степанов Д.Ю. Интеграция модулей логистики и финансов при внедрении корпоративных информационных систем на примере SAP ERP. // Проблемы экономики. – 2014. – № 62(4). – С. 22-27.
16. Багинова В.В., Кузьмин Д.В. Особенности развития контейнерных перевозок в России. // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – №3(2). – С. 49-52.
17. Ботнарюк М.В. Партнерские взаимоотношения – императив ведения логистического бизнеса. // Общество: политика, экономика, право. – 2011. – № (1). – С. 53-57.
18. Зубков В.Н., Рязанова Е.В. Методы эффективного взаимодействия участников перевозочного процесса в транспортных узлах. // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – №45(1). – С. 135-143.
19. Kolinski A., Horzela A., Cudzilo M., Domanski R. Re-

ference Model of Information Flow in Business Relations with 4PL Operator. In: Kolinski A., Dujak D., Golinska-Dawson P. (eds.) Integration of Information Flow for Greening Supply Chain Management. EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing). Springer, Cham.; 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24355-5_2.

20. Çağlar Kalkan B., Aydın K. The role of 4PL provider as a mediation and supply chain agility. Modern Supply Chain Research and Applications. – 2020. – №2 (2). – P. 99. DOI: <https://doi.org/10.1108/MSRA-09-2019-0019>.

21. Dyczkowska J. 4PL logistics operator in the supply chain. Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej. 2018. – №110(1). – P. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.1461>.

22. Gruchmann T., Melkonyan A., Krumme K. Logistics Business Transformation for Sustainability: Assessing the Role of the Lead Sustainability Service Provider (6PL). Logistics. – 2018. – №2(4). – P. 25. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics2040025>.

23. Ayan O., Ozturk M.G., Kosegol A.M., Colak M. Supply chain resilience in 4PL companies. In: 4th Global Business Research Congress. May 24-25, 2018, Istanbul, Turkey. PressAcademia Procedia (PAP). – 2018. – №7. – P.359-361. DOI: <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2018.916>.

24. Schramm H.-J., Czaja C. N., Dittrich M., Mentschel M. Current Advancements of and Future Developments for Fourth Party Logistics in a Digital Future. Logistics. – 2019. – №3 (1). – P.7. <https://doi.org/10.3390/logistics3010007>.

Статья поступила в редакцию 31.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.942 004.046

EDN: OUTVLU

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ

© Автор(ы) 2023

ORSID 0000-0002-2410-5742

КОСТИН Алексей Владимирович, заместитель Председателя *Правительства Пензенской области*
(440000, Россия, г.Пенза, ул. Московская, 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)

ORSID 0009-0002-6388-8097

ГУЧКИН Илья Игоревич, инженер

Государственное бюджетное учреждение «Безопасный регион»
(440000, Россия, г.Пенза, ул. Окружная, стр.3Б, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)

Аннотация. Задачи обеспечения безопасности жизни людей на водных объектах входят в круг важнейших аспектов государственного управления и, одновременно, являются мало исследованными с точки зрения прогнозирования событий и внедрения комплекса инструментов информатизации и цифровой трансформации. На региональном уровне аналитическая поддержка мероприятий по предотвращению несчастных случаев и повышению уровня безопасности водоемов для всех форм отдыха и деятельности на них, сопряжена с рядом сложностей научно-методологического характера, в том числе таких, решение которых еще далеко от завершающей стадии в прикладных отраслях соответствующих дисциплин, таких как математические методы и модели, многомерный статистический анализ, машинное обучение, наука о данных. Цель публикации – представление разработанной математической модели прогнозирования мест повышенного риска возникновения происшествий в географическом и хронологическом разрезе, использующей данные о зафиксированных происшествиях, собираемые и накапливаемые в базе данных (БД) средствами региональной автоматизированной информационной системы. При этом для каждого события в БД фиксируются значения существенных факторов, влияющих на частоты возникновения событий (погодные условия, геофизические показания, даты и время суток, классифицирующие характеристики водоемов и уровня оснащения на них мест купания и спасательных пунктов и т. д.). Разработанная математическая модель прогнозирования использована для создания модели данных, прикладного программного обеспечения, включая средства визуализации для представления статистических данных и результатов прогнозирования на электронной карте.

Ключевые слова: безопасность на водных объектах, моделирование, признаковое пространство, прогнозирование, автоматизированная информационная система.

MODEL FOR PREDICTION OF ACCIDENTS ON WATER BODIES THROUGH THE CHARACTERISTIC FUNCTION OF STATISTICAL DENSITY

© The Author(s) 2023

KOSTIN Aleksey Vladimirovich, deputy chairman of the *Government of the Penza Region*
(440000, Russia, Penza, Moskovskaya St., 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)

GUCHKIN Ilya Igorevich, engineer

State budgetary Institution «Safe Region»
(440000, Russia, Penza, Okruzhnaya St., bldg. 3B, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)

Abstract. The tasks of ensuring the safety of life of people on water bodies are among the most important aspects of public administration and, at the same time, are little studied in terms of predicting events and introducing a set of tools for informatization and digital transformation. At the regional level, analytical support for measures to prevent accidents and improve the safety of water bodies for all forms of recreation and activities on them, is associated with a number of scientific and methodological difficulties, including those whose solution is still far from the final stage in the applied industries of the relevant disciplines such as mathematical methods and models, multivariate statistical analysis, machine learning, data science. The purpose of the publication is to present the developed mathematical model for predicting places of increased risk of incidents in a geographical and chronological context, using data on recorded incidents, collected and accumulated in a database (DB) by means of a regional automated information system. At the same time, for each event in the database, the values of significant factors affecting the frequency of occurrence of events are recorded (weather conditions, geophysical readings, dates and times of day, classifying the characteristics of water bodies and the level of equipment on them for bathing places and rescue points, etc.). The developed mathematical forecasting model was used to create a data model, applied software, including visualization tools for presenting statistical data and forecasting results on an electronic map.

Keywords: safety at water bodies, modeling, feature space, forecasting, automated information system.

Для цитирования: Костин А.В. Модель прогнозирования происшествий на водных объектах на основе характеристической функции статистической плотности // А.В. Костин, И.И. Гучкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 79-84. – EDN: OUTVLU.

Введение. Потребность составления прогнозных моделей присутствует в самых различных сферах деятельности. В настоящей статье рассматриваются модели в форме функциональной зависимости между прогнозируемой (объясняемой) величиной, поведение числового значения которой интересует исследователя, и объясняющими (факторными) величинами применительно к задаче прогнозирования несчастных случаев на водных объектах региона.

Источниками данных для прогнозирования являются сведения о несчастных случаях, регистрируемые региональными подразделениями Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) и Министерства внутренних дел (МВД). Эти сведения собираются и накапливаются в базе данных (БД) средствами региональной автоматизированной информационной системы. Регистрационные данные о событии включают следующие атрибуты: географические координаты и характеристики места события, дату и время суток, погодные условия, геофизические показания, классифицирующие характеристики водоемов и уровня оснащенности на них мест купания и спасательных пунктов и др.

Задача заключается в том, чтобы оценить с помощью индикативной функции риск указанных несчастных случаев на водных объектах региона в определенные интервалы времени суток на заданную дату при наличии статистических данных и сведений, характеризующих условия возникновения событий: температура воды и воздуха, рабочий, выходной или праздничный день и др.

Особенностью задачи является необходимость оценки риска появления события не только в определенное время, но и в определенных местах географического пространства.

С формальной точки зрения задача сводится к оценке плотности вероятности появления случайного события в каждой заданной точке многомерного пространства (здесь уже подразумевается пространство признаков, - включающее более широкий набор измерений, нежели только физические/географические, но, наряду с ними – количественно измеримые факторы, влияющие на величину риска события).

Проблема заключается в том, что при разработке математической модели следует находить компромисс между количеством объясняющих факторов, включаемых в модель, и объемом выборки, от которой зависит качество прогнозирования. Чем значительнее размерность модели, тем более остро встает проблема разреженности данных (один из главных аспектов так называемого «проклятия размерности»). Следствием являются: плохая обусловленность матриц, низкая точность и неустойчивость оценок вычисляемых параметров моделей [1-3, 15]. Эта проблема актуальна для использования «аналитических» методов (регрессии через аппроксимацию к функции заданного вида, метода главных компонент, факторного анализа) и методов, основанных на обучении искусственных нейросетей, которые требуют использования обуча-

ющей выборки значительного объема, который с ростом размерности пространства факторов должен увеличиваться нелинейно (с ускорением, нарастающим быстрее любой полиномиальной зависимости) для сохранения репрезентативности [1-6].

В качестве альтернативы было опробовано применение моделирующих функций, не содержащих определяемых в рамках модели количественных параметров при каждом аргументе (или, весов при функции активации на каждом нейроне, как в случае нейросетей). Реализовано применение функций принадлежности (или «характеристических функций»), обладающих большим числом аргументов, в роли которых выступает множество значений векторов самих данных. Существует большой опыт использования данной методологии в задачах классификации [5, 6, 10], однако не нашлось практически ни одного примера применения их в задачах прогнозирования.

В современных условиях всё более заметное место начинает играть применение моделей пространственного прогнозирования (в том числе, с осложняющим фактором разреженности, данных используемых в роли обучающих выборок) в задачах управления с геоинформационным аспектом, в том числе, прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) антропогенного и природного происхождения, и их последствий. При подготовке данной публикации были проанализированы многие примеры с точки зрения математического аппарата и удобства в потенциальных областях применения, интересующих авторов с позиций задач регионального управления [7-9, 11, 12, 16].

Методология. Для оценки плотности вероятности появления события (факта) в заданной точке пространства факторных признаков предлагается использовать «характеристическую функцию статистической плотности»:

$$\Phi_i(\{X\}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (R_{ij}^2 + e)^{-1}; x_i \in Y \wedge x_j \in Y;$$

где Y – множество «точек» в признаковом пространстве, в которых зафиксированы происшествия (факты); $|Y|=n$ – количество значений фактов, зафиксированных в объекте наблюдения;

$\{X\}$ – множество дискретно заданных точек признакового пространства, в которых определяется значение Φ .

$$R_{ij} = \sqrt{\sum_{x_j \in Y} (x_i - x_j)^2}; x_i \in X \wedge x_j \in Y;$$

i – идентификатор (номер) «точки», для которой вычисляется значение характеристической функции;

x_j – значение признака x для точки i ;

R_{ij} – расстояние между точками i и j ;

e – управляющий параметр (влияющий на «чувствительность» функции); $e \in (0; R_{max})$.

Для вычисления значения R_{ij} используются нормированные значения признаков, включаемых в модель, которые получаются делением значения признака в точке на величину стандартного отклонения признака, рассчитанного от значений во всех точках пространства признаков. Такая модель обладает тем свойством, что в областях признакового пространства с плотным

сосредоточением точек фактов значения функции будут велики, в областях отсутствия точек и их редкого появления малы. Таким образом, в тех областях, где фиксируется высокая частота фактов в выборке, использованной для вычисления $\Phi(\{X\})$ ожидается высокая вероятность появления новых фактов.

При относительно малых значениях параметра e функция Φ имеет большее количество островежиков экстремумов; при $e \rightarrow R_{max}$ количество экстремумов функции сокращается, и они становятся более сглаженными, то есть чувствительность функции снижается в направлении увеличения параметра e .

Для формирования визуального представления значений функции Φ использованы географические координаты и значения функции, вычисленные в признаковом пространстве заданной размерности, в которое включены географические координаты; в результате получается наглядная иллюстрация через проекцию результата, полученного в многомерной системе на (условно) плоскую поверхность географических координат (рис. 1 и 2).

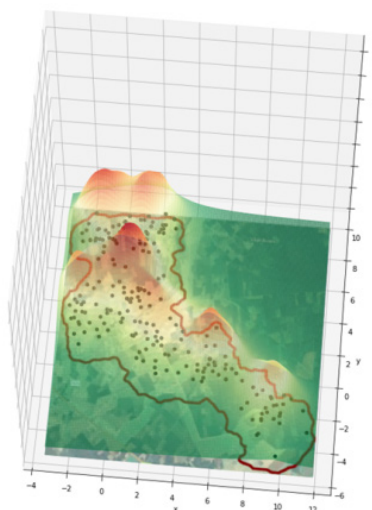


Рисунок 1 – Пример поверхности Φ при значении $e = 0,5$

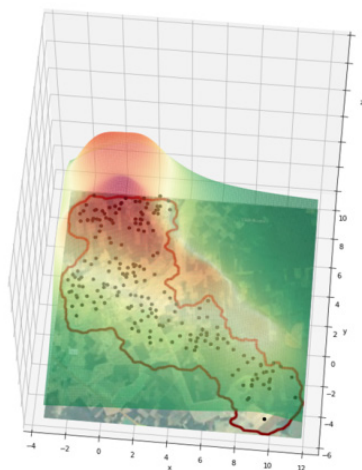


Рисунок 2 – Пример поверхности Φ при значении $e = 2,0$

Для оценки уровня риска гибели людей на водных объектах предлагается использовать «индикативную

функцию относительной статистической плотности» происшествий на водных объектах:

$$I_i(\{X\}) = \Phi_i(\{X\})/F_i(\{X\}),$$

$$\Phi_i(\{X\}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (R_{ij}^2 + e)^{-1}, \quad x_i \in X \wedge x_j \in Y,$$

$$F_i(\{X\}) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_{ij}^2 + e)^{-1}, \quad x_i \in X \wedge x_j \in Z,$$

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{x_j \in X} (x_i - x_j)^2}, \quad x_i \in X \wedge x_j \in X,$$

где Z – общее множество фактически зафиксированных значений признаков, определяющих точки в пространстве наблюдений; $|Z|=m$.

Можно рассматривать разные варианты соответствия Y и Z :

- 1) $Y \subseteq Z$;
- 2) $Y \subset Z$;
- 3) $Y \cap Z \neq \emptyset$;
- 4) $Y \cap Z = \emptyset$.

Таким образом, индикатор относительной статистической плотности, наряду с характеристической функцией плотности вероятности событий (фактов), $\Phi(\{X\})$, содержит в знаменателе характеристическую функцию плотности наблюдений (наблюдавшихся сочетаний значений факторных признаков) $F(\{X\})$, аналогичную функции $\Phi(\{X\})$, определенную в том же пространстве признаков. Область определения $\Phi(\{X\})$ и $F(\{X\})$ одна и та же, однако множества аргументов, заданные в ней, различны (и множества Z (зафиксированных состояний признаков) на практике, как правило, значительно мощнее множества Y , и полностью включает его).

Результаты и обсуждение. Предлагаемая индикативная функция используется для формирования настраиваемого картографического слоя геоинформационного портала (ГИС-портала) ситуационного центра Губернатора Пензенской области, который представляет места повышенного риска возникновения несчастных случаев на водных объектах на территории региона в форме «тепловой карты», формируемой по значениям «индикативной функции относительной статистической плотности» (рис. 3).

Для вычисления значений индикативной функции $I_i(\{X\})$ используются накопленные в БД региональной автоматизированной информационной системы сведения о несчастных случаях (табл. 1).

В регионе задается набор мест наблюдения (множество географических точек), которые характеризуются значениями выбранных для решения задачи факторов (признаков) с нужной дискретизацией во времени.

Реализованное решение в составе прикладного программного обеспечения ГИС-портала предусматривает:

- 1) задание входных параметров для прогноза: погодные условия, день недели, место и характеристики водоема и т. п. (либо дата и интервал времени суток, которым соответствуют прогнозные значения параметров погоды, и другие явления, априори предопределяемые календарем), а также задание значения управ-

ляющей константы «e»;

2) вычисление значений индикативной функции; количество точек для отображения на карте индикаторного показателя I определяется методом, реализованным в программной платформе «GeoServer» (версия 2.17.3) – программном продукте, использованном для формирования картографических слоев ГИС-портала;

3) отображение результатов прогноза в виде окрашенного «теплого слоя», отображающего уровень риска в разрезе географии водных объектов региона; места на карте, где при условиях, близких к задаваемым для прогноза наблюдалось значительное количество происшествий (фактов несчастных случаев), окрашиваются в цвета по направлению к красной части спектра.

Таблица 1 – Статистические данные о гибели людей на водных объектах

№ (идентификатор события)	Идентификатор места				Признаки / факторы					
	район	сельсовет	насел. пункт	водный объект	дата	время	день недели	часть суток	t° воздуха	...

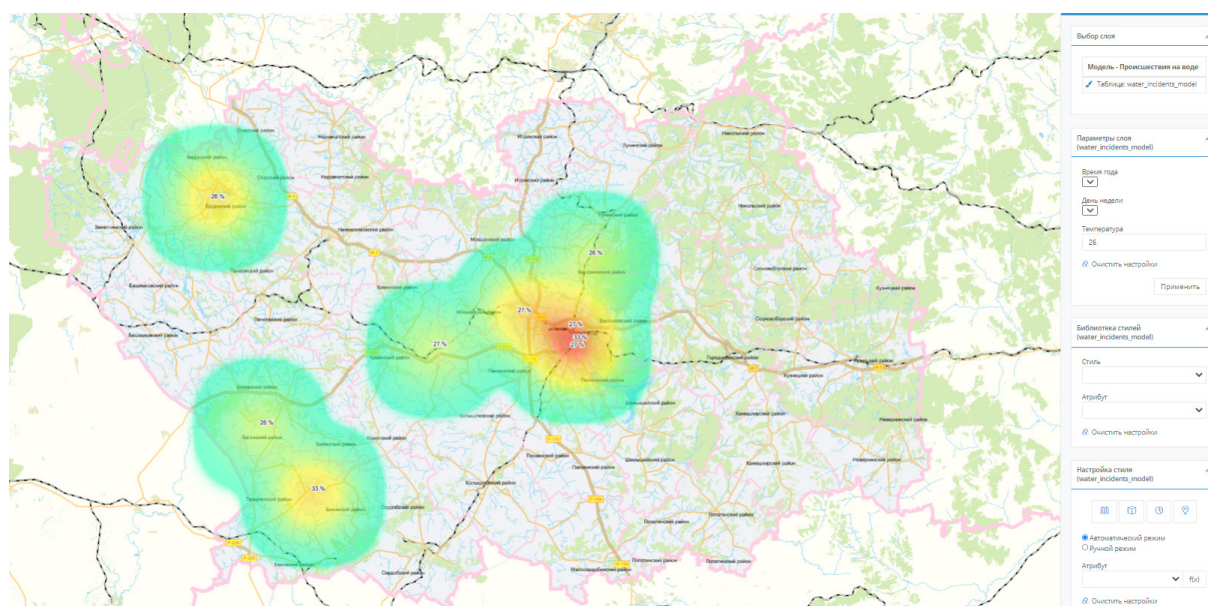


Рисунок 3 – Картографическое представление результата прогноза плотности рисков возникновения несчастных случаев на водоемах, при заданном сочетании управляющих факторов модели (в приведенном примере использовались средняя дневная температура воздуха, время года и день недели)

* Получено на основе данных метео-наблюдений и сводок о происшествиях за 01.01.2015-01.04.2021

В интервале наблюдения, взятом для оценки модели (без «дообучения», т.е. без пополнения новыми данными) с 01 июня по 28 июля 2021 года, результативность прогнозов, даваемых моделью, характеризуется следующими показателями:

1. Установлено, что отношение верных прогнозов за указанный период с 01 июня по 28 июля 2021 г. к ложно отрицательным прогнозам (когда факт события /задокументированного сводками МЧС/ оказался не спрогнозирован) составляет 8 из 20 (т.е. 40% от общего количества), из них: 6 с модельной оценкой риска выше среднего уровня (таким прогнозам присвоен вес =1) и оставшиеся 2 – выше минимально значимого уровня (таким прогнозам присвоен вес=0,5).

2. С учетом указанных поправочных весов, назначенных пропорционально уровню точности локализации прогноза, процентный показатель скорректирован до 35%:

$$[(6*1 + 2*0,5)/20] \times 100\% = 35\%.$$

3. Общее количество прогнозов, сформирован-

ных для заданных параметров и имеющих локальные максимумы риска возникновения происшествия, оказалось равным 38; на основе чего соотношение верных прогнозам к ложно положительным прогнозам (когда спрогнозированное событие оказалось не подтверждено фактом /задокументированным сводками МЧС/) составило: $(8/38) \times 100\% = 21\%$.

По прошествии времени опытного использования модели на первоначальном обучающем наборе фактических данных (охватывающем факты происшествий в Пензенской области за период 01.01.2015 -01.04.2021), проходившего с мая 2021 года по начало 2023 года, в действующую модель была дополнительно загружена, накопленная масса новых фактов о происшествиях на воде в Регионе, зафиксированных уже за опытный период.

С ее учетом была составлена сравнительная картина результатов.

С учетом «дообучения» для иллюстрации

приводится аналогичный участок карты, с аналогичными значениями входных параметров («время года», «день недели», «среднесуточная температура»), а так же, – параметра чувствительности модели (обозначен как «а»).

Кроме того, выше указанный параметр чувствительности в новой версии модели, был вынесен в опции управления пользователя (обозначен «а» в панели настройки картографического слоя, справа от карты в красном контуре, рис. 3.а).

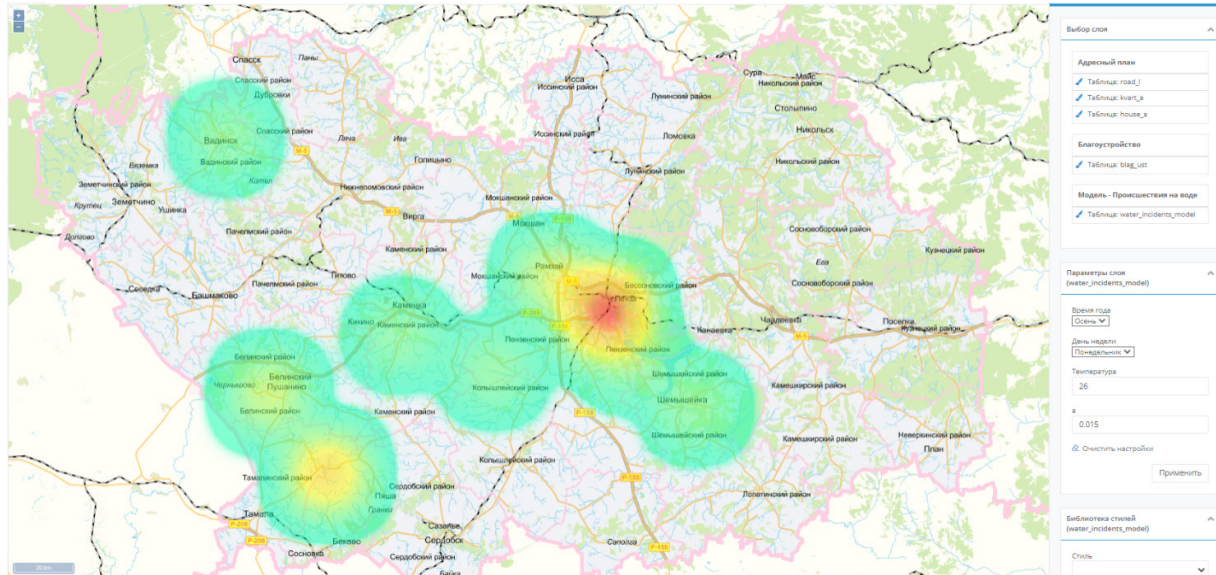


Рисунок 3.а – Картографическое представление результата прогноза плотности рисков возникновения несчастных случаев на водоемах, при заданном сочетании управляющих факторов модели (в приведенном примере использовались средняя дневная температура воздуха, время года и день недели)

*Получено на данных наблюдений и сводках о происшествиях за 01.01.2015-01.12.2022

На рисунке «3.а» видно появление двух новых очагов повышенного риска (хотя, и незначительного) возникновения случаев к юго-западу, и к юго-востоку от областного центра (соответствующего, одновременно, «эпицентру» риска), и исчезновение незначительного очага риска к северо-северо-востоку от него. [величина риска, здесь отождествляется со значением упомянутой характеристической функции статистической плотности возникновения события (факта)]

Выводы. На основании полученного опыта и приведенных оценок был сделан вывод, что модель демонстрирует практически значимые результаты прогнозирования несчастных случаев на водоемах, учет которых при планировании профилактических и спасательных мероприятий (в т. ч. за счет более рациональной концентрации ресурсов на наиболее важных участках возможного возникновения ЧП), может сократить количество трагических исходов.

Для повышения качества прогнозирования необходимо формировать значения функции оценки риска не в точках, привязанных к ранее зафиксированным несчастным случаям, а по всей наблюдаемой территории (территории области).

Для этого рекомендуется:

- формировать на картографическом слое регулярную сетку с настраиваемыми размерами ячейки; в узлах сетки должен производиться расчет значений характеристической функции риска;
- разрядить исходно сформированную регуляр-

ную сетку, оставив лишь узлы, соответствующие лишь поверхности водоемов и их побережьям, из соображений сокращения вычислений;

- включить в модель дополнительные характеристики внешней среды, кроме учитываемых в текущем варианте модели «температуры воздуха», «дня недели» и «времени года»;

– обеспечить возможность пользователю выполнять дополнительные настройки параметров модели – значения норм при каждом отдельном измерении (характеристике), влияющие на значимость характеристики в общей системе, а так же – разработать алгоритм автоматизированного подбора значений норм.

К проблемным сторонам предлагаемой модели можно отнести достаточно высокую вычислительную сложность, особенно в случаях, когда идет речь о привлечении в модель большого количества факторных признаков, а также высокой плотности точек вычисления характеристики.

К преимуществам предлагаемой модели следует отнести универсальность для самых разнообразных областей применения, индифферентность к объему и плотности обучающей выборки [13-15]. Разумеется, – мощность выборки в любом случае играет роль с точки зрения достоверности выдаваемого моделью результата, однако здесь подразумевается аспект принципиальной разрешимости, так как описываемая модель обеспечивает получение решения даже в тех случаях сильной разреженности входных данных,

– то есть, когда, например, количество точек фактов в обучающей выборке даже меньше количества признаковых координат в используемой системе и, в большинстве случаев, дает очень быструю стабилизацию оценок даже при минимальном наращивании обучающей выборки.

На основе поставленной задачи разработаны: математическая модель оценки вероятности возникновения несчастных случаев на заданной территории в форме характеристической функции статистической плотности, программное обеспечение для вычисления значений индикативной функции на основе накапливаемых сведений о несчастных случаях на водных объектах региона, шаблоны картографических слоев для представления результатов прогнозирования на электронной карте и в табличной форме. Получаемые результаты по сети Интернет доступны администрациям ОМСУ, а также соответствующим подразделениям МЧС и МВД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Powell Warren B. Approximate Dynamic Programming: Solving the Curses of Dimensionality. – Wiley, 2007. [Электронный ресурс] – URL: <https://castlelab.princeton.edu/sda> (дата обращения: 17.05.2021).
2. Radovanović Miloš, Nanopoulos Alexandros, Ivanović Mirjana. Hubs in space: Popular nearest neighbors in high-dimensional data (англ.) // Journal of Machine Learning Research: journal. – 2010. – Vol. 11. – P. 2487-2531.
3. Kainen Paul C. Utilizing Geometric Anomalies of High Dimension: When Complexity Makes Computation Easier, in Kárný, M.; Warwick, K. (eds.). – Computer Intensive Methods in Control and Signal Processing, 1997. – P. 283-294.
4. Donoho David L. High-Dimensional Data Analysis: The Curses and Blessings of Dimensionality. Invited lecture at Mathematical Challenges of the 21st Century, AMS National Meeting, Los Angeles, CA, USA, August 6-12, 2000. [Электронный ресурс] – URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.329.3392> (дата обращения: 17.05.2021).
5. Gorban Alexander N., Makarov Valery A., Tyukin Ivan Y. High-Dimensional Brain in a High-Dimensional World: Blessing of Dimensionality. // Entropy. – №22 (1). – 2020. [Электронный ресурс] – URL: <https://arxiv.org/pdf/2001.04959.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).
6. Gorban Alexander N.; Tyukin Ivan Y. Blessing of dimensionality: mathematical foundations of the statistical physics of data. Phil. Trans. №376 2118. [Электронный ресурс] – URL: <https://arxiv.org/pdf/1801.03421.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).
7. Cova Thomas J. GIS in emergency management. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW (eds). Geographical information systems: principles, techniques, applications and management. - Wiley, New York, 1999. – P. 845-858. [Электронный ресурс] – URL: https://www.researchgate.net/publication/305347817_GIS_in_Emergency_Management (дата обращения: 17.05.2021).
8. Gaussian Mixture Models Clustering Algorithm Explained. – Cory Maklin, Jul. 16, 2019. [Электронный ресурс] – URL: <https://towardsdatascience.com/gaussian-mixture-models-d13a5e915c8e> (дата обращения: 17.05.2021).
9. N. Dahri, M. Ellouze, A. Atoui, H. Abida. Mapping flood risk areas IN GABES BASIN (SOUTH-EASTERN TUNISIA) // International Conference on Applied Geology & Environment “ICAGE 2016” 19 – 21 May 2016, Royal El Mansour Mahdia – Tunisia [T2-OS1]. – P. 177: [Электронный ресурс] – URL: https://www.researchgate.net/publication/304025037_Mapping_flood_risk_areas_IN_GABES_BASIN_SOUTH-EASTERN_TUNISIA (дата обращения: 17.05.2021).
10. Основные понятия теории нечетких множеств. 5. Колоколообразная функция принадлежности. [Электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/3875583/page:3/> (дата обращения: 17.05.2021).
11. Jean Homian Danumah, Samuel Nii Odai, Bachir Mahaman Saley, Joerg Szarzynski, Michael Thiel, Adjei Kwaku, Fernand Koffi Kouame, Lucette You Akpa. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (Cote d’Ivoire). 2016. [Электронный ресурс] – URL: <https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-016-0044-y> (дата обращения: 17.05.2021).
12. Noura Dahri, Habib Abida. Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). – 2016. [Электронный ресурс] – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6619-4> (дата обращения: 17.05.2021).
13. Cherkassky Vladimir, Feng Cai, Lichen Liang. Predictive Learning with Sparse Heterogeneous Data (was supported, in part, by NSF grant ECCS-0802056, by the A. Richard Newton Breakthrough Research Award from Microsoft Research, and by the BICB grant from the University of Minnesota, Rochester.), 2009. [Электронный ресурс] – URL: http://people.ece.umn.edu/users/cherkass/predictive_learning/resources/IJCNN2009a.pdf (дата обращения: 17.05.2021).
14. Irina Rish (IBM Yorktown Heights, New York, USA), Genady Ya. Grabarnik (St. John’s University Queens, New York, USA). SPARSE MODELING: Theory, Algorithms, and Applications, 2014. [Электронный ресурс] – URL: https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/2_Algorithms/Sparse%20Modeling_%20Theory%2C_%20Algorithms%2C%20and%20Applications%20%5BRish%20%26%20Grabarnik%202014-12-05%5D.pdf (дата обращения: 17.05.2021).
15. David Gregory Purdy. Sparse Models for Sparse Data: Methods, Limitations, Visualizations and Ensembles. – Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Statistics and the Designated Emphasis in Communication, Computation, and Statistics in the Graduate Division of the University of California, Berkeley Committee in charge: Professor Bin Yu, Chair. 2012. [Электронный ресурс] – URL: <https://escholarship.org/uc/item/9qb472v2> (дата обращения: 17.05.2021).
16. Y. Chenab, J. Yuacq, S. Khanae. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. – 2010. [Электронный ресурс] – URL: https://www.academia.edu/34145832/Spatial_sensitivity_analysis_of_multi_criteria_weights_in_GIS_based_land_suitability_evaluation (дата обращения: 17.05.2021).

Статья поступила в редакцию 07.06.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.8
EDN: XLWZX

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© Автор(ы) 2023
SPIN: 6732-6995
ORCID: 0009-0003-8173-8233

ЯКИМОВ Егор Петрович, магистрант

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
(450062, Россия, Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: ryanreymorris@gmail.com)*

Аннотация. Основная часть нефтегазовых месторождений на территории РФ в настоящее время находится на завершающей стадии разработки, которая характеризуется падением уровня добычи, повышением обводнённости добываемой продукции, снижением пластового давления и коэффициента извлечения нефти. В таких случаях вместо добычи продукции с обводнёностью до 98 - 99%, обработки призабойной зоны скважины или же вовсе ликвидации высокообводнённых скважин более целесообразно и эффективно переформировать уже существующую систему разработки. Структура взаимодействия между нагнетательными и добывающими скважинами играет важную роль в данном процессе. Оптимизация системы заводнения в значительной степени зависит от правильного определения взаимодействующих скважин. Однако на сегодняшний день не существует единой методики группировки скважин. Более того, данный процесс сопровождается большим количеством исходной информации, графических построений, вычислений и не соответствует современным требованиям в точности получаемой информации. Для решения данной проблемы предлагается создание искусственного интеллекта на основе нейронной сети, позволяющей с высокой точностью определить наличие взаимодействия между скважинами в зависимости от их взаимного расположения на плоскости. На основании проведённого исследования были сделаны выводы о возможности применения методов машинного обучения для определения наличия притока жидкости от нагнетательных скважин в добывающие. Обученная нейронная сеть позволит ускорить процесс создания программы мероприятий по довыработке остаточных запасов углеводородов на поздней стадии разработки, а также станет подспорьем в решении вопросов контроля и регулирования разработки нефтяных месторождений.

Ключевые слова: нагнетательная скважина, добывающая скважина, область Вороного, искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETERMINE THE INTERACTING WELLS OF AN OIL FIELD

© The Author(s) 2023

YAKIMOV Egor Petrovich, undergraduate
Ufa State Petroleum Technological University

(450062, Russia, Ufa, street Kosmonavtov 1, e-mail: ryanreymorris@gmail.com)

Abstract. To date, most of the oil fields in the territory of the Russian Federation are at a late stage of development, characterized by a drowned well stock, a decrease in reservoir pressure, a drop in the level of oil production and a decrease in the oil recovery factor. In such cases, instead of extracting oil with a water content up to 98-99%, processing the well bottom zone, or even eliminating drowned wells, it is more expedient and efficient to reform the existing development system. The structure of interaction between wells plays an important role in this process. Competent optimization of the flooding system largely depends on the qualitative determination of the interacting injection and production wells. However, to date, there is no single methodology for grouping wells. Moreover, this process is accompanied by a large amount of initial information, graphical constructions, calculations and does not meet modern requirements for the accuracy of the information received. To solve this problem, it is proposed to create an artificial intelligence based on a neural network that allows to determine with high accuracy the presence of interaction between wells depending on their mutual location on the plane. Based on the conducted research, conclusions were drawn about the possibility of using machine learning methods to determine the presence of fluid inflow from injection wells to production wells. The trained neural network will speed up the process of creating a program of measures for the production of residual oil reserves at a late stage of development, and will also help in solving issues of control and regulation of oil field development.

Keywords: injection well, producing well, Voronoi area, artificial intelligence, artificial neural network.

Для цитирования: Якимов Е.П. Применение искусственного интеллекта для определения взаимодействующих скважин нефтяного месторождения // Е.П. Якимов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 85-92. – EDN: TXLWZX.

Введение. На сегодняшний день в нефтедобывающей промышленности Российской Федерации особую актуальность приобретает проблема обводнённости добываемой нефти. Активное внедрение процесса заводнения на нефтяных месторождениях бывшего Советского Союза предопределило текущую ситуацию в отрасли. Большинство нефтяных месторождений находится на поздней стадии разработки, при которой средняя обводнённость составляет более 85%, зачастую доходя до 99%. Несмотря на широкий спектр исследований, проводимых в данной области, значительных результатов в снижении или стабилизации роста обводнённости достигнуто не было [1]. Внедрение существующих методов повышения нефтеотдачи на поздней стадии разработки не способствуют значительному увеличению уровня добычи и коэффициента извлечения нефти [2]. Недропользователю необходимо продолжать искать новые подходы и инновационные технологии для эффективной добычи нефти на месторождениях с высокой обводнённостью. В противном случае, риск увеличения финансового бремени и проблем с разработкой месторождений будет только возрастать.

Хотя применение системы заводнения хорошо исследовано, оно всё же имеет некоторые недостатки, которые в основном связаны с отсутствием комплексного учёта факторов, влияющих на эффективность замещения нефти водой, и несвоевременным определением проблемных участков системы поддержания пластового давления [3]. В результате этого, первоначальное увеличение показателей добычи сменяется последующим резким ростом обводнённости добываемого фонда скважин, появлением районов недокомпенсации и перекомпенсации отборов закачки.

В таких случаях вместо добычи продукции с обводнённостью до 98-99%, обработки призабойной зоны пласта или же вовсе ликвидации высокообводнённых скважин более целесообразно и эффективно реформировать уже существующую систему разработки.

В этом процессе важную роль играет структура взаимодействия между скважинами [4]. От её анализа зависит рациональное размещение сетки скважин, проведение контроля движения контура краевых вод, определение остаточных запасов нефти и оптимизация системы заводнения.

Наличие взаимодействия между скважинами определяется притоком жидкости от нагнетательной скважины к добывающей [5]: при наличии притока скважины считаются взаимодействующими, иначе – взаимодействие отсутствует. Структура взаимодействия скважин описывается путём формирования групп скважин в виде «воздействующая нагнетательная – реагирующие добывающие» [6]. Формирование групп взаимодействующих скважин на данном этапе производится геометрическим путем.

Существует множество различных подходов по

формированию групп взаимодействующих добывающих и нагнетательных скважин [7-9]. Однако, полученные с использованием данных методов результаты не всегда соответствуют действительности, расчёты сопровождаются значительными погрешностями [10], сами методы при этом имеют строгие границы применимости. Единой документированной методики формирования групп скважин не существует.

Метод группировки, разработанный А.А. Анкудиновым [11, 12], в сравнении с другими методами [7,8], позволяет с высокой точностью определить наличие притока жидкости от нагнетательной скважины к добывающей, другими словами, снизить риски получения нелогичных связей при проведении геометрических построений [10]. Основным недостатком данного метода заключается в том, что процесс построения диаграмм Вороного с их последующим наложением и анализом крайне трудоёмкий и затратный по времени [13]. Наряду с этим, геометрические построения усложняются спецификой нефтегазовой области, а именно большим объёмом исходной информации. Ручное построение диаграмм Вороного сопряжено с возникновением графических неточностей, которые в конечном счёте приводят к вычислительным погрешностям. Группировка скважин проводится отдельно по каждому пласту. Количество пластов может превышать 10 для одной залежи, а количество скважин в среднем варьируется от 100 до 150 по каждому из фондов. К примеру, количество скважин на крупнейшем в России нефтяном месторождении «Самотлорское» составляет 9370 добывающих и 4328 нагнетательных. Очевидно, что ручное построение карт диаграмм Вороного требует огромных затрат времени и усилий.

Также помимо непосредственного построения карт, требуется их последующее наложение и анализ с заданным коэффициентом тесноты связи областей, что, в свою очередь, при большом эксплуатационном фонде, может также вызывать затруднения и неправильную интерпретацию графических построений.

В качестве примера на рисунке 1 представлена малая часть от всей площади залежи, очевидно, что анализ такой карты может занять продолжительное время.

С целью нивелирования недостатков описанной методики А.А. Анкудинова, предлагается создание искусственного интеллекта на основе нейронной сети, позволяющей с высокой точностью определить наличие взаимодействия между добывающими и нагнетательными скважинами, оперируя их расположением на плоскости.

Актуальность работы обусловлена необходимостью унификации и автоматизации процесса группировки взаимодействующих скважин для получения полной картины их гидродинамической связи.

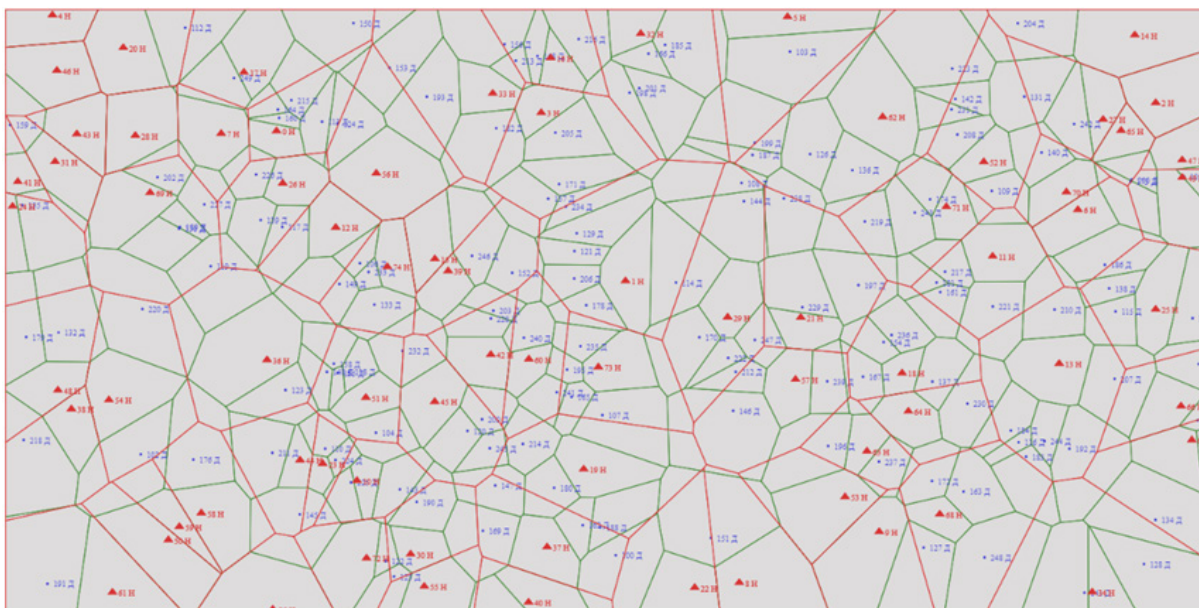


Рисунок 1 – Пример наложения двух карт областей Вороного

Методология. Цель работы – разработка программного обеспечения по определению взаимодействующих скважин в зависимости от их взаимного расположения, которое должно отвечать требованиям экономичности и при этом выполнять заместительную функцию человеческого аналитического ресурса программными механизмами машинного обучения.

Обученная нейронная сеть станет подспорьем в решении вопросов контроля и регулирования разработки нефтяных месторождений. Позволит ускорить процесс создания программы мероприятий по довыработке остаточных запасов углеводородов на заключительной стадии разработки месторождения.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- изучить существующие методы группировки скважин;
- разработать архитектуру нейронной сети;
- обучить выбранную нейронную сеть;
- сделать выводы о применимости искусственной нейронной сети для определения взаимодействующих

скважин.

Существует множество методик группировки скважин, рассмотрим основные из них.

Один из наиболее распространённых методов основан на расчёте межскважинного расстояния [7]. Для каждой нагнетательной скважины формируется окружность с определённым радиусом. Радиус, как правило, превышает шаг эксплуатационной сетки на 20% для площадных систем расположения скважин и на 120% для рядных систем. Добывающие скважины, находящиеся внутри окружности нагнетательной скважины, относятся к одной группе.

В рядных и неупорядоченных сетках скважин присутствует вероятность распространения области нагнетательной скважины на находящиеся в большом удалении от неё добывающие скважины, гидродинамическая связь между такими скважинами маловероятна, в связи с чем применение метода ограничено. В площадных системах с регулярной эксплуатационной сеткой этот метод наиболее эффективен (рис. 2).

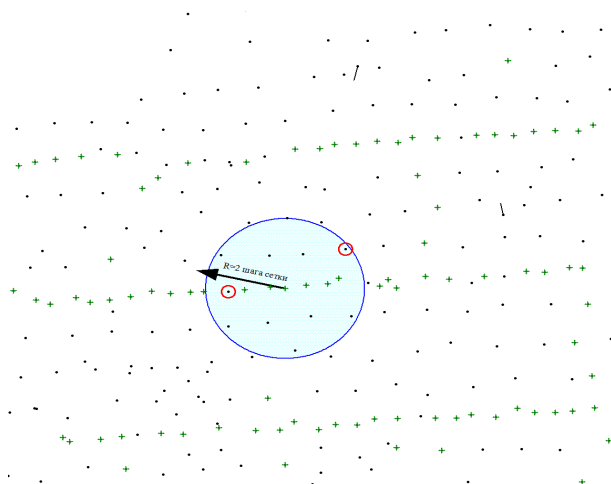


Рисунок 2 – Метод группировки скважин по расстоянию. Недостаток метода

Второй метод группировки основан на построении диаграммы Вороного [8] по всему фонду скважин. Алгоритм построения диаграммы рассмотрен в работах [13-15].

После построения областей Вороного определяется уровень тесноты связи, который указывает, сколько соседних областей добывающих скважин относятся к области нагнетательной скважины. Однако, при использовании данного подхода с нерегулярной сеткой эксплуатационных скважин имеются серьезные недостатки. При высокой плотности сетки, некоторое количество добывающих скважин может быть исключено из области нагнетательной, даже если они находятся близко друг к другу (рис. 3). Аналогично, некоторые добывающие скважины могут быть отнесены к нагнетательной, даже если они находятся на большом расстоянии от неё.

Третий метод [11] заключается в построении двух карт диаграмм Вороного по всем скважинам, по нагнетательным скважинам и последующем наложении этих карт. Если при совмещении карт область дренирования добывающей нефтяной скважины пересекается с областью закачки водяной нагнетательной скважины в соответствии с заданным коэффициентом тесноты связи, то данные скважины взаимодействуют между собой и объединяются в группу (рис. 4). Коэффициент тесноты связи – экспертно заданная доля перекрытия двух областей, при которой считается, что приток жидкости от нагнетательной скважины к добывающей возможен. К примеру, при перекрытии областей более чем на 10%, что показано на рисунке 4, считается, что взаимодействие между скважинами существует, в противном случае – отсутствует.

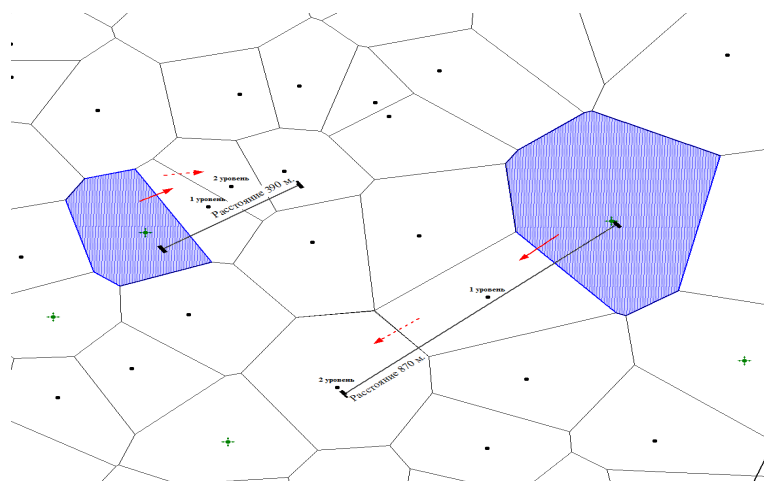


Рисунок 3 – Метод группировки скважин по областям Вороного. Недостаток метода

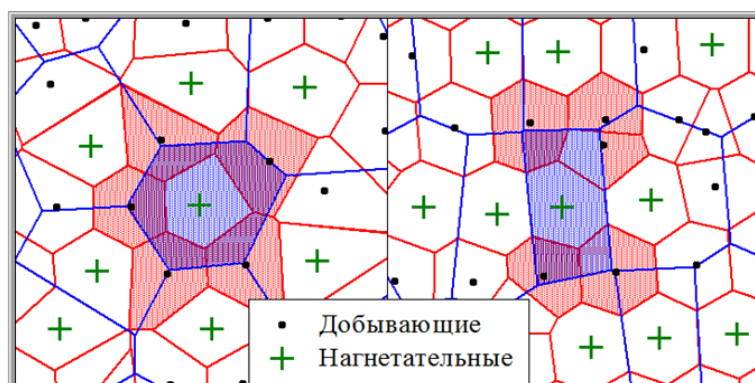


Рисунок 4 – Группировка скважин при площадной сетке скважин и при рядной

Задача проектируемой нейронной сети сводится к определению наличия взаимодействия между нагнетательными и добывающими скважинами в зависимости от их взаимного расположения. На вход нейронной сети поступают координаты добывающей и нагнетательной скважины, согласно которым нейронная сеть должна определить наличие или отсутствие притока жидкости. Поскольку третий метод отличается высокой точностью результатов на выходе, а также минимизирует риски получения

нелогичных связей, он был выбран в качестве основы при формировании исходного датасета для последующего обучения и теста нейронной сети.

Исходными данными для формирования обучающего датасета являются декартовы координаты добывающих и нагнетательных скважин. Информация о местоположении объектов добывающего и нагнетательного фондов в Российской Федерации является государственной тайной, в связи с этим данные по скважинам были предоставлены от

нефтегазодобывающих компаний в зашифрованном виде: стандартизированы под произвольную площадь залежи. С целью унификации исходных данных координаты скважин были нормализованы в диапазоне от 0 до 1 [16].

Обучающий датасет состоит из 7 столбцов:

- номер нагнетательной скважины: тип данных – *string*;
- условная координата *X* нагнетательной скважины: тип данных – *float*;
- условная координата *Y* нагнетательной скважины: тип данных – *float*;
- номер добывающей скважины: тип данных – *string*;
- условная координата *X* добывающей скважины: тип данных – *float*;
- условная координата *Y* добывающей скважины: тип данных – *float*;
- наличие взаимодействия: тип данных – *boolean*.

По каждой нагнетательной скважине рассматривается список всех добывающих скважин.

При наличии взаимодействия последний столбец заполняется единицей 1, иначе – нулем 0.

Далее была проведена балансировка датасета. Чаще всего в сбалансированных датасетах присутствует приблизительно равное количество примеров для каждого из классов, что уменьшает вероятность того, что модель обучится ошибочно определять классы [17]. В данном случае классификация бинарная – наличие или отсутствие взаимодействия. Порядок балансировки датасета следующий.

На рисунке 5 представлен фрагмент размеченного датасета. Для нагнетательной скважины 123 Н расписан список добывающих скважин с указанием взаимодействия.

Нагнетательная скважина 123 Н взаимодействует с добывающими скважинами 213 и 215. Следовательно, в итоговом датасете (рис. 6) останутся строки с добывающими скважинами 213, 215, а также двумя другими, не взаимодействующими со скважиной 123 Н, случайными добывающими скважинами, например 121 и 196.

№ НС	X НС	Y НС	№ ДС	X ДС	Y ДС	Взаимодействие
123 Н	0,392070715	0,217343695	121	0,404867079	0,226046128	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	196	0,386354597	0,203612969	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	202	0,395370586	0,208619209	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	203	0,376214078	0,202830942	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	208	0,398409031	0,204411133	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	209	0,380466047	0,24421003	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	211	0,397417029	0,241374336	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	213	0,060871199	0,475579054	1
123 Н	0,392070715	0,217343695	215	0,939322884	0,023312826	1
123 Н	0,392070715	0,217343695	216	0,500440788	0,387042271	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	220	0,984230182	0,08273087	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	221	0,879096006	0,964781958	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	223	0,765461251	0,722774879	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	225	0,862002371	0,625911396	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	244	0,008732333	0,166709966	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	245	0,006713442	0,126150615	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	262	0,013152844	0,144157546	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	264	0,438304039	0,100316541	0

Рисунок 5 – Подготовка обучающей выборки

№ НС	X НС	Y НС	№ ДС	X ДС	Y ДС	Взаимодействие
123 Н	0,392070715	0,217343695	121	0,404867079	0,226046128	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	196	0,386354597	0,203612969	0
123 Н	0,392070715	0,217343695	213	0,060871199	0,475579054	1
123 Н	0,392070715	0,217343695	215	0,939322884	0,023312826	1

Рисунок 6 – Пример обучающей выборки

Данный процесс повторяется по всем нагнетательным скважинам, в конечном итоге создается сбалансированный обучающий датасет. Размерность итого датасета составила 17809 строк.

Результаты. Разработка нейронной сети – сложный процесс, который включает в себя множество этапов, начиная от выбора архитектуры нейронной сети до обучения и тестирования модели.

Одним из ключевых этапов является выбор архитектуры нейронной сети, а именно:

- тип слоя нейронной сети: свёрточный, полносвязный, рекуррентный;
- количество слоёв нейронной сети;
- количество нейронов в каждом слое;
- функция активации нейрона;
- тип оптимизатора при обучении нейронной сети;
- количество эпох обучения;
- мера ошибки;
- мера качества обучения нейронной сети.

Создание эффективной архитектуры нейронной

сети и подбор гиперпараметров является критически важным для достижения высоких результатов в машинном обучении. Однако, этот процесс может занимать значительное количество времени и требовать много усилий от исследователей. Одна из причин заключается в том, что параметры модели нейронной сети взаимодействуют между собой, и изменения одного параметра могут оказывать влияние на другие параметры. Например, увеличение количества слоёв может привести к переобучению, если не будет правильно настроен дропаут, который является одним из гиперпараметров модели. Поэтому, эффективно подбирать вручную значения для всех параметров модели может быть крайне затруднительно. Построение и работа с сетью велась на языке программирования *Python*, для которого существует множество готовых решений по подбору параметров нейросетевых моделей.

Keras Tuner – библиотека, которая предназначена для автоматизации этих процессов. Она позволяет автоматически создавать архитектуру модели, используя различные методы оптимизации и эксперименты [18]. *Keras Tuner* использует алгоритмы оптимизации, такие как случайный поиск, поиск по сетке и байесовский поиск, чтобы исследовать пространство гиперпараметров и выбрать оптимальные параметры для модели. После подключения всех необходимых библиотек и предобработки входного датасета производится создание функции проектирования. Модель нейронной сети – *Sequential*, слои в ней идут последовательно. Количество нейронов во входном слое варьируется в пределах от 1 до 50, количество входов в каждый нейрон – 4, в соответствии с двумя парами координат нагнетательной и добывающей скважины. Функцию активации *Tuner* подбирает самостоятельно, возможные значения: нелинейная функция активации, сигмоидная функция активации, гиперболический тангенс, масштабированная экспоненциальная линейная функция. Количество промежуточных полносвязных слоёв нейронной сети варьируется от 0 до 20, количество нейронов в каждом слое от 1 до 50, подбор также осуществляет *Tuner*. Выходной слой нейронной сети состоит из одного нейрона, т.к. решается задача бинарной классификации. Функция потерь при подборе гиперпараметров – двоичная перекрёстная энтропия. Мера оценки качества обучения нейронной сети – точность. Количество эпох обучения – 130.

Тюнер осуществляет подбор гиперпараметров в соответствии с описанной функцией проектирования. По результатам работы отбирается наилучшая модель нейросети, которую в последующем можно сохранить и загружать при необходимости. Точность модели, подобранной тюнером, составляет 99,02%, потери при обучении составили 3,03%. Нейронная сеть имеет следующие гиперпараметры:

- функция активации: гиперболический тангенс;
- количество промежуточных слоёв нейронной

сети: 10;

- количество нейронов в промежуточном слое: в среднем составляет 26-36 нейронов;
- количество нейронов входного слоя: 36;
- оптимизатор: *rmsprop* – среднеквадратичное отклонение корня.

Следующим этапом является тестирование обученной нейронной сети. Размерность тестовой выборки составила 5342 строки. Тестовая выборка не являлась сбалансированной и представляла собой произвольный набор значений взаимодействующих и не взаимодействующих скважин, созданный при помощи инструмента *train_test_split* библиотеки *sklearn*. Точность работы нейронной сети по результатам проведения теста составила 99,14%. На основании этого можно сделать вывод о том, что созданная и обученная нейронная сеть справляется с поставленной задачей.

Обсуждение. В публикациях [7-9, 11, 12], затрагивающих определение наличия притока между добывающими и нагнетательными скважинами, как правило, рассматривается только теоретическая методология по формированию групп скважин с последующим применением полученных результатов для проведения расчётов объёмных величин притоков жидкости, коэффициента вытеснения нефти и других технических показателей фильтрации и выработки запасов. Другие работы [19-24] содержат примеры применения искусственного интеллекта, в том числе нейронных сетей, для анализа эффективности системы разработки, моделирования объектов разработки, прогнозирования добычи и других эксплуатационных показателей, анализа применения различных геолого-технических мероприятий. В данной работе, в дополнение к существующим областям применения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли, приведён пример использования нейронной сети для определения наличия притока жидкости от нагнетательной скважины к добывающей на основе их взаимного расположения.

Рассмотрены существующие методы группировки скважин, основанные на геометрических построениях, обозначены их границы применимости и недостатки. Описана методика формирования групп скважин, позволяющая минимизировать риски получения нелогичных связей [11] путём последовательного построения двух карт диаграмм Вороного, их наложения и анализа притока жидкости с учетом заданного коэффициента тесноты связи. Описан процесс создания обучающего датасета, его нормализации и балансировки.

Архитектура перцептрона для выполнения задачи двоичной классификации представляет собой модель последовательной нейронной сети, состоящей из входного слоя с четырьмя нейронами, промежуточных полносвязных слоёв и выходного слоя с одним нейроном. Подбор количества промежуточных слоёв и нейронов в них,

гиперпараметров нейронной сети, а также её обучение проводилось с использованием инструмента *Tuner* библиотеки *Keras*. По окончании 130 эпох обучения была создана нейронная сеть с наибольшей величиной точности полученных результатов. Тестирование нейронной сети проводилось на несбалансированной тестовой выборке размером 5342 строки, точность работы нейронной сети составила 99,14%. Результаты исследования позволяют сделать вывод о применимости нейронной сети для решения задачи группировки взаимодействующих скважин, а также о высокой точности получаемой на выходе информации.

Применение созданной нейронной сети позволит получить исчерпывающую информацию о структуре взаимодействия между скважинами, сократить затрачиваемое на анализ время, увеличить качество получаемой информации, что в дальнейшем позволит осуществлять своевременный контроль и регулирование разработки нефтяного месторождения.

Выводы. В данной статье была рассмотрена проблема довыработки остаточных запасов на поздних стадиях разработки нефтяных месторождений РФ. Описаны проблемы, связанные с отсутствием комплексного учёта факторов, влияющих на эффективность вытеснения нефти водой при применении системы заводнения пластов, а также несвоевременным определением проблемных участков системы ППД. Было отмечено, что для решения данной проблемы необходима грамотная оптимизация системы заводнения, важное место в которой занимает структура взаимодействия между скважинами. Однако на сегодняшний день не существует единой методики её определения, современные подходы по группировке скважин требуют большого количества графических построений, связаны с риском получения нелогичных связей, а также с вычислительными погрешностями при проведении расчётов.

В качестве решения был разработан алгоритм распознавания взаимодействующих скважин на основе нейронных сетей, позволяющий определить наличие притока жидкости от воздействующей нагнетательной к реагирующей добывающей скважине. Были рассмотрены существующие методы группировки скважин, обоснованы их недостатки, реализована нейронная сеть с последующим её обучением.

В рамках дальнейшего исследования планируется провести анализ эффективности альтернативных методов решения задачи группировки скважин наряду с обученной нейронной сетью. Необходимо рассмотреть возможность применения существующих методов машинного обучения, к примеру *CatBoost*, *Logistic Regression*, *Naive Bayes*, а также возможность создания функционального алгоритма по построению карт областей Вороного, их последующему наложению и определению групп

взаимодействующих скважин в соответствии с указанным коэффициентом тесноты связи полигонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рафиков Р.Б., Чиркунов А.П., Вафин Р.В., Егоров А.Ф., Дьячук И.А. Подходы и технологии снижения обводненности добываемой продукции на поздней стадии разработки нефтяного месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2021. – № 3. – С. 20-35.
2. Вокорач С., Дьячук И.А., Винсент Д.К. Современные технологии и техника методов повышения нефтеотдачи // Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции «Трудноизвлекаемые запасы нефти и газа 2019», Уфа, 2019. – С. 119-120.
3. Полякова Н.И., Максимова Ю.А., Зятиков П.Н. Комплексный подход к применению методов анализа эффективности системы заводнения нефтяных пластов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – № 10. – С. 91-98.
4. Микулик В.В., Дьячук И.А. Совершенствование методики анализа эффективности системы заводнения // Сборник статей международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле – 2019», Уфа, 2019. – С. 154-158.
5. Поташев К.А., Ахунов Р.Р., Мазо А.Б. Вычисление перетоков флюида между скважинами в фильтрационной модели разработки нефтяного пласта с помощью линий тока // Георесурсы. – 2022. – №1. – С. 27-35.
6. Пономарева И.Н., Мартюшев Д.А., Черный К.А. Исследование взаимодействия между нагнетательными скважинами на основе построения многоуровневых моделей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – № 2. – С. 116-126.
7. Анкудинов А.А. Совершенствование методов анализа системы заводнения и повышения эффективности закачки воды в нефтяной пласт: дис. канд. техн. наук: 25.00.17. – Тюмень, 2017. – 114 с.
8. Анкудинов А.А., Ваганов Л.А. Анализ эффективности системы заводнения с применением метода материального баланса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – №12. – С. 63-66.
9. Анкудинов А.А., Ваганов Л.А. Комплексный анализ системы заводнения нефтяных залежей // Вестник «КогалымНИПИнефть». – 2016. – С. 1-3.
10. Якимов Е.П. Альтернативный подход определения взаимодействующих скважин нефтяного месторождения с применением алгоритмов на основе искусственного интеллекта // Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых, Том 1, Сургут, 2023. – С. 201-204.
11. Ваганов Л.А., Анкудинов А.А., Полякова Н.С. Алгоритм группировки нагнетательных и добывающих скважин для оценки системы заводнения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 9. – С. 90-94.
12. Анкудинов А.А., Ваганов Л.А., Сохошко С.К. Комплексный подход к анализу реализуемой системы заводнения и ее совершенствованию // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 8. – С. 48-51.
13. Якимов Е.П. Обзор алгоритма графического построения областей Вороного для определения групп скважин по принципу «Нагнетательная – реагирующие добывающие» // Сборник статей международной научной конференции, Минск, 2022. – С. 103-104.
14. Bae, S.W. An almost optimal algorithm for Voronoi diagrams of non-disjoint line segments. // Computational Geometry, Volume 52. – 2016. – P.34- 43.
15. Reem, D. The projector algorithm: A simple parallel algorithm for computing Voronoi diagrams and Delaunay graphs. // Theoretical Computer Science, Volume 970, – 2023.
16. Singh D., Singh B. Investigating the impact of data normalization on classification performance // Applied Soft Computing, Volume 97, Part B, – 2020.
17. Mooijman P. The effects of data balancing approaches: A case study // Applied Soft Computing, Volume 132, – 2023.
18. Asim M. Scour modeling using deep neural networks based on hyperparameter optimization // ICT Express, Volume 97.

– № 3. – 2020. – P.357-362.

19. Di S., Cheng S., Cao N., Gao C., Miao L. AI-based geo-engineering integration in unconventional oil and gas // J King Saud Univ – 2021. – P.501-542.

20. Qing W. Global Practice of AI and Big Data in Oil and Gas Industry // Machine Learning and Data Science in the Oil and Gas Industry. – 2021. – P. 181-210.

21. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry // Petroleum Research, Volume 6, № 4, – 2021, – P.379-391.

22. Hanga K.M. Machine learning and multi-agent systems in oil and gas industry applications: A survey // Computer Science Review. Volume 34. – 2019.

23. Bikmukhametov T. Oil Production Monitoring using Gradient Boosting Machine Learning Algorithm // IFAC-PapersOnLine, Volume 52. № 1. – 2019. – P.514-519.

24. Abad A.R.B., Tehrani P.S., Naveshki M., Ghorbani H. Predicting oil flow rate through orifice plate with robust machine learning algorithms // Flow Measurement and Instrumentation, Volume 81. – 2021.

Статья поступила в редакцию 27.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.932.4

EDN: UICDXK

МЕТОД УСТРАНЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

© Авторы 2023

ORCID: 0000-0002-2984-4480

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

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
(390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1, email: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru)*

ORCID: 0000-0002-0087-5988

ВЬЮГИНА Ангелина Алексеевна, аспирант, старший преподаватель кафедры ЭВМ

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
(390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1, email: vyugina.an.a@gmail.com)*

ORCID: 0009-0005-6557-5192

БАРАНОВА Светлана Николаевна, аспирант, ассистент кафедры ЭВМ

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
(390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1, email: baranova.sv.n@gmail.com)*

Аннотация. В статье рассматривается процесс передачи изображений по каналу связи. Особое внимание уделяется восстановлению искаженных пикселей при воздействии на изображение групповых помех: инверсной ошибки, выбитых бит и комбинированной ошибки. Метод формирования вектора передачи в исследовании основан на разбиении исходной матрицы на битовые плоскости и группировки значений в векторе в соответствии с их разрядом. Целью статьи является реализация метода восстановления искаженных бит вектора передачи путем анализа окрестности битов в битовой плоскости и определение вхождения восстанавливаемого значения в исследуемую окрестность для матрицы пространственного и пространственно-спектрального представления. Битовые плоскости пространственного и пространственно-спектрального представления дискретной матрицы изображения имеют характерные признаки, по которым возможно определить вероятность ошибки в исследуемом значении. В пространственном представлении характерной особенностью является видимость контуров объектов на плоскости. В пространственно-спектральном представлении характерной особенностью является уменьшение значения спектральных составляющих от начала к концу спектра. Результат выполненных экспериментов демонстрирует эффективность предложенного метода как по среднеквадратичному отклонению, так и по сложности программной реализации.

Ключевые слова: обработка изображений, фильтрация помех, групповые помехи, битовые плоскости, двоичная система счисления, вектор передачи, преобразование Уолша, пространственное представление, пространственно-спектральное представление, *Matlab*.

THE METHOD FOR ELIMINATING DISTORTIONS IN IMAGES PRESENTED AS BIT PLANES

© The Authors 2023

KOSTROV Boris Vasilyevich, doctor of technical sciences, professor,
head of department of Electronic Computers

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
(390005, Ryazan, Gagarina str., 59/1, email: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru)*

VYUGINA Angelina Alekseevna, graduate student, senior lecturer of the department of Electronic Computers

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
(390005, Ryazan, Gagarina str., 59/1, email: vyugina.an.a@gmail.com)*

BARANOVA Svetlana Nikolaevna, graduate student, assistant of the department of Electronic Computers

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
(390005, Ryazan, Gagarina str., 59/1, email: baranova.sv.n@gmail.com)*

Abstract. The article discusses the process of image transmission over a communication channel. Particular attention is paid to the restoration of distorted pixels when the image is exposed to group interference: inverse error, knocked out bits and combined error. The method of forming the transmission vector in the study is based on splitting the original matrix into bit planes and grouping the values in the vector according to their bit. The purpose of the article is to implement a method for restoring distorted bits of the transmission vector by analyzing the neighborhood of bits in the bit plane and determining the occurrence of the restored value in the neighborhood under study for the spatial and spatial-spectral representation matrix. The bit planes of the spatial and spatio-spectral representation of the discrete image matrix have characteristic features by which it is possible to determine the probability of error in the studied value. In spatial representation, a characteristic feature is the visibility of the contours of objects on the plane. In the spatial-spectral representation, a characteristic feature is a decrease in the value of the spectral components from the beginning to the end of the spectrum. The result of the performed experiments demonstrates the effectiveness of the proposed method

both in the standard deviation and in the complexity of the software implementation.

Keywords: image processing, interference filtering, group interference, bit planes, binary number system, transmission vector, Walsh transform, spatial representation, spatial spectral representation, *Matlab*.

Для цитирования: Костров Б.В. Метод устранения искажений на изображениях, представленных в виде битовых плоскостей // Б.В. Костров, А.А. Вьюгина, С.Н. Баранова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 93-99. – EDN: UICDXK.

Введение. В современном мире данные растрового формата занимают значительную часть в различных сферах деятельности. Они несут большое количество информации, которую нужно принимать и обрабатывать. Стремительное развитие технических средств дистанционного мониторинга на базе спутников и беспилотных летательных аппаратов приводят к эффекту конверсии технологии и проникновения результатов их деятельности в различные отрасли: предупреждение чрезвычайных ситуаций, сельское и лесное хозяйство, сфера военной и разведывательной деятельности [1]. Однако всегда имеется вероятность появления помех при передаче данных по каналу связи, что особенно может повлиять на информативность растрового формата [2] – это происходит во многом из-за того, что искаженная визуальная составляющая может сильно повлиять на восприятие информации, содержащейся внутри изображения. Поэтому проблема передачи изображений с минимальной потерей информативности является одной из значимых в современных реалиях.

Сохранение информативности растрового формата данных в процессе передачи информации средствами связи, обладающих невысокой степенью надежности, является одной из актуальных задач [3]. Более узконаправленным решением задачи сохранения информативности является исправление искаженных значений на принимающей стороне.

Процесс передачи данных может сопровождаться помехами, которые вносят различные типы искажений. Все виды искажений на изображении можно разделить на одиночные и групповые. Одиночные помехи воспринимаются как отдельные яркие или темные точки на изображении [4, 5]. Групповые помехи характеризуются абсолютным разрушением группы последовательно следующих элементов [6]. В связи с искажением длительной последовательности данных методы помехоустойчивого кодирования могут быть неэффективны [7], что приводит к необходимости исследовать другие подходы, в том числе устранение вносимых помехами искажений, основанное на анализе содержательной части изображения.

Групповые помехи, возникающие при передаче данных, можно разделить на несколько типов в зависимости от вносимых ими искажений:

1. Инверсные ошибки (ИО), представляющие собой искажение битов на противоположное значение (1).

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P \\ \bar{b}_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases} \quad (1)$$

где \hat{V} – вектор передачи с искажениями, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

2. Потерянные биты (ПБ), представляющие собой изменение последовательности значений бит к постоянному значению «0» (2) [6].

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P \\ 0 & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases} \quad (2)$$

где \hat{V} – вектор передачи с искажениями, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

3. Комбинированная ошибка (КО), представляющая собой последовательность искаженных значений, которые принимают постоянное значение «0» и «1» с периодичностью в n символов (3).

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P \\ e & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases} \quad (3)$$

где \hat{V} – вектор передачи с искажениями, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, e – бинарное значение (0, 1), которое периодически изменяется, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

Методология. Метод устранения искажений, вносимых групповыми ошибками, в векторе передачи, сформированном по принципу битовых плоскостей, можно разделить на 3 этапа:

1. Разбиение принятого вектора передачи на матрицы, соответствующие битовым плоскостям.

2. Анализ отдельной битовой плоскости на наличие типовых искажений и их исправление на основе наличия в окрестности схожих бит.

3. Переход к матрице изображения в пространственном представлении.

Восстановление значений разрядов яркостей изображения при использовании описываемого ниже метода позволяет увеличить эффективность обработки за счет анализа только части принятого вектора по сравнению с алгоритмами, основой которых является работа с десятичным представлением матрицы яркостей.

Формирование вектора передачи производится на стороне-источнике и представляет собой последовательность двоичного представления значений исходной матрицы изображения. В машинном формате изображение представляет собой матрицу яркостей, значения которых изменяются в диапазоне от 0 до 255 и хранятся в формате байта (4).

$$G_{N \times N} = \begin{pmatrix} g_{1,1} & \dots & g_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N,1} & \dots & g_{N,N} \end{pmatrix} \quad (4)$$

где G – матрица яркостей изображения, g – значение яркости одного пикселя, $N \times N$ – размер изображения.

Формирование вектора передачи в виде последовательного следования битов каждого значения приводит к полной потере значения яркости пикселя при появлении групповых помех, что вносит сильную потерю информативности [4].

В целях устранения искажений, вносимых групповыми помехами, предложен метод формирования вектора передачи на основе двоично-взвешенных битовых плоскостей для восстановления исходных данных [8-10].

Десятичные значения яркости преобразуются к двоичному представлению и выделяются матрицы определенного разряда (5). Количество битовых плоскостей определяется размером памяти для хранения одного пикселя и равно 8 [11].

$$B_{N \times N}^k = \begin{pmatrix} b_{1,1}^k & \dots & b_{1,N}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N,1}^k & \dots & b_{N,N}^k \end{pmatrix} \quad (5)$$

где B – матрица битовой плоскости, $N \times N$ – размер матрицы яркостей, $b_{i,j}^k$ – значение разряда k двоичного числа элемента (i,j) , k – разряд двоичного числа, $k = \overline{0,7}$, (i,j) – индексы положения пикселя в матрице изображения, $i = \overline{1,N}$; $j = \overline{1,N}$.

Формирование вектора передачи изображения начинается со значений старшей битовой плоскости и заканчивается младшей битовой плоскостью (6) [12]. Вектор передачи содержит последовательность от первого элемента строки до последнего и далее также для каждой последующей строки. Более подробно формирование вектора передачи рассмотрено в статье [9].

$$V_{1 \times (N \cdot N \cdot 8)} = (b_{1,1}^7, b_{1,2}^7, \dots, b_{N,N}^7, b_{1,1}^6, \dots, b_{N,N}^6, \dots, b_{1,1}^0, \dots, b_{N,N}^0) \quad (6)$$

где V – вектор передачи, $N \cdot N \cdot 8$ – количество элементов в векторе передачи, $b_{i,j}^k$ – значение разряда k двоичного числа элемента (i,j) , k – разряд двоичного числа, $k = \overline{0,7}$, (i,j) – индексы положения пикселя в матрице изображения, $i = \overline{1,N}$; $j = \overline{1,N}$.

При передаче данных по каналу связи, которая происходит на физическом уровне, отдельные элементы информации удобнее представлять в спектральном виде, который формируется на основе нетригонометрических ортогональных базисных функций (7), определяющих взаимосвязи между значениями элементов матрицы в отличие от пикселей в исходном изображении. В проведенном исследовании в качестве нетригонометрических ортогональных базисных функций использовались функции Уолша, применение тригонометрических функций имеет затратную вычислительную сложность и вносит искажения при обратном переходе из частотной области [13-15].

$$F(G)_{N \times N} = G * H = \begin{pmatrix} f_{1,1} & \dots & f_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{N,1} & \dots & f_{N,N} \end{pmatrix} \quad (7)$$

где F – матрица значений функции от G , G – матрица элементов изображения, H – матрица базисных функций, f – значение спектра [9], $N \times N$ – размер матрицы спектра.

Формирование вектора передачи при пространственно-спектральном представлении производится так же, как и для пространственного представления. Перед шагом перехода к двоичному представлению матрица яркостей подвергается переводу к спектральному виду, и на битовые плоскости разделяются значения спектральных составляющих [16-18].

На рисунке 1 представлено одно из набора тестовых изображений и битовые плоскости старшего значащего разряда для пространственного и пространственно-спектрального представления. Визуально можно сделать вывод, что битовая плоскость пространственного представления позволяет определить объекты, содержащиеся на исходном изображении. Старшая плоскость пространственно-спектрального представления указывает, что значение спектра уменьшается слева направо.

Рисунки 2 и 3 отображают битовую плоскость пространственного и пространственно-спектрального представления при попадании на нее групповых помех, вносящих различные типы искажений. Наличие групповых помех на пространственном представлении особенно заметно при любом типе искажений. В случае пространственно-спектрального представления искажения типа «Потерянные биты» не вносят большого количества ошибочных бит, что сказывается на информативности изображений при их восстановлении на принимающей стороне. Битовые плоскости, соответствующие старшим разрядам, имеют больший вес при преобразовании к десятичному формату чисел в отличие от младших разрядов. В соответствии с этим искажение бит старших разрядов значительно влияют на результирующее значение яркости пикселя и исследование направлено на работу с битовыми плоскостями старших разрядов.

Целью статьи является реализация метода восстановления искаженных бит вектора передачи путем анализа окрестности битов в битовой плоскости и определение вхождения восстанавливаемого значения в исследуемую окрестность для матрицы пространственного и пространственно-спектрального представления, а также оценка эффективности данного подхода.

Визуальный анализ старшей плоскости в пространственном представлении показывает, что скопление черных участков, соответствующих битам «0», и белых участков, соответствующих битам «1», образует объекты изображения и имеют замкнутую область. Единичных бит, содержащих рядом биты противоположного значения, нет. Ровная линия последовательности бит одного значения выглядит инородно для пространственной формы изображения.

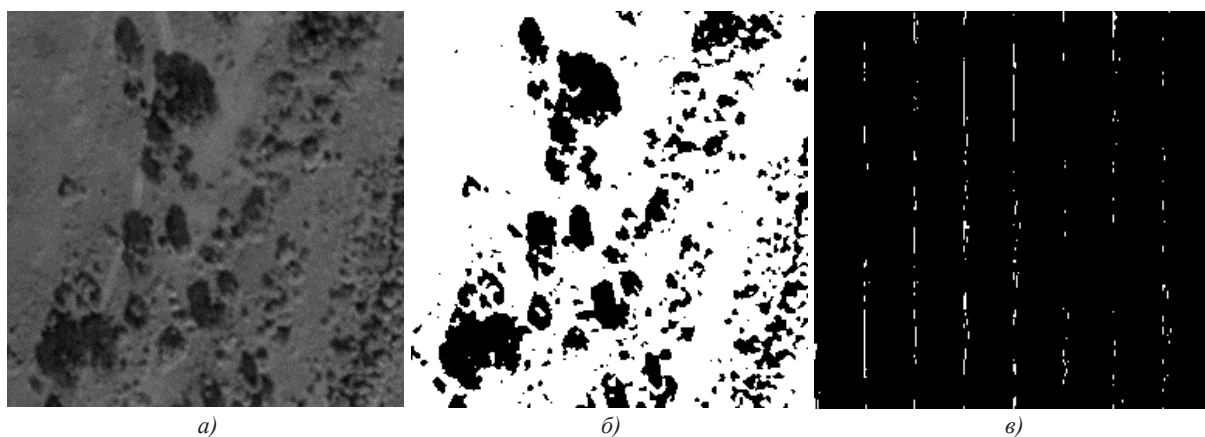


Рисунок 1 – Пример тестового изображения №1:
а) исходное изображение, б) старшая битовая плоскость пространственного представления,
в) старшая битовая плоскость пространственно-спектрального представления

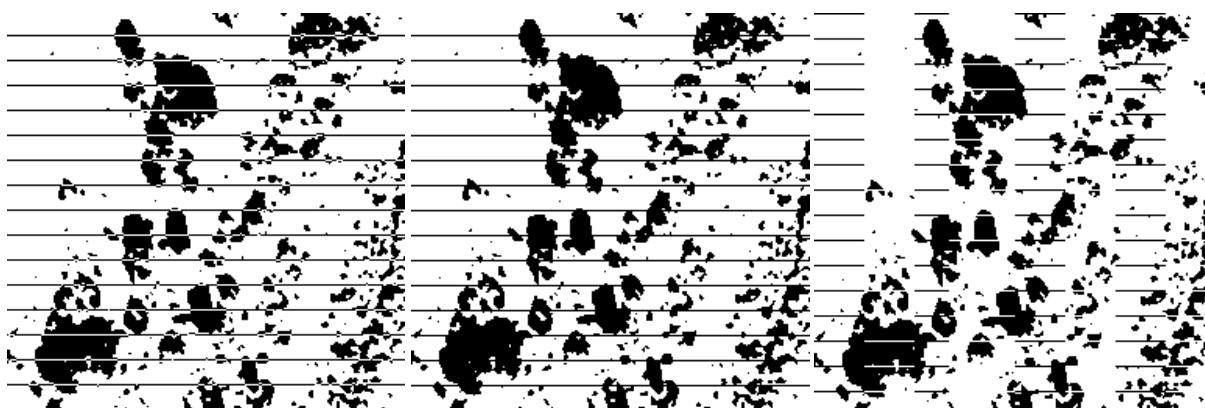


Рисунок 2 – Примеры искажений для пространственного представления:
а) инверсная ошибка (ИО), б) потерянные биты (ПБ), в) комбинированная ошибка (КО)

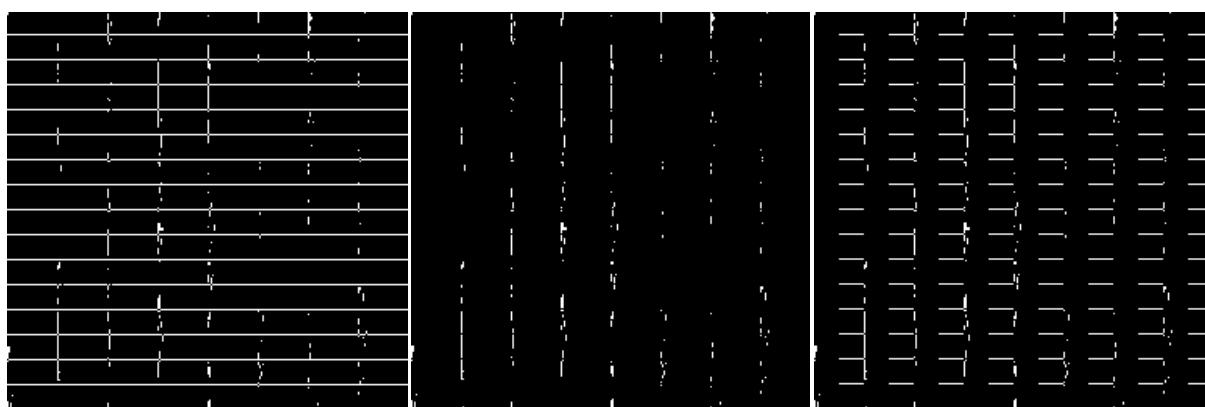


Рисунок 3 – Примеры искажений для пространственно-спектрального представления:
а) инверсная ошибка (ИО), б) потерянные биты (ПБ), в) комбинированная ошибка (КО)

Старшая битовая плоскость изображения в пространственно-спектральном представлении имеет заметные скопления бит «1», которые для старших разрядов имеют тенденцию к расположению в начале спектра, так как значения спектральных составляющих уменьшаются в ходе его распространения. Таким образом, для пространственно-спектрального представления характерны вертикальные линии, состоящие из бит «1», а горизонтальные линии

последовательностей «1» являются аномальными, как и появление значений «1» разрядности 2^7 или 2^6 в конце последовательности спектра.

Рисунок 4 графически отображает описанные особенности окрестности бит для старших плоскостей.

Суть метода анализа окрестности битовой плоскости заключается в исследовании соседних значений на наличие характерных признаков для значений либо «1», либо «0».

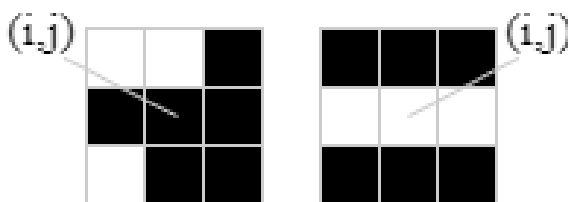


Рисунок 4 – Пример окрестности анализа бит

Для пространственного представления были сформулированы признаки исправления бита:

1. Если бит и его соседи по строке «0» и в окрестности битов «1» больше 3-х, то значение бита устанавливается «1».

2. Если бит и его соседи по строке «1» и в окрестности нет битов со значением «1», то значение бита устанавливается «0».

Для пространственно-спектрального представления также справедливы данные признаки, но к рассмотрению берется окрестность 3×2 , так как значения спектральных составляющих имеют тенденцию к уменьшению к концу последовательности, а значит появление справа битов «1» с большей вероятностью будет искажением вектора.

Для реализации предложенного подхода были разработаны соответствующие функции в среде *Matlab* [19-21]. Преобразование в пространственно-

спектральное представление производилось с помощью встроенных библиотек.

Результаты. Рисунки 5-8 представляют примеры принятых изображений из тестового набора данных с комбинированным типом искажений. При пространственном представлении без восстановления особенно заметны искажения светлых участков, характеризующиеся темными полосами (рис. 5а), и темных участков, характеризующиеся светлыми полосами (рис. 7а). Искажения на пространственно-спектральном представлении отражаются как зернистость на столбцах. Скопление искажений в столбцах изображения объясняется функциями при переходе к спектральным значениям, которые формируются по каждому столбцу. Восстановление методом анализа окрестности восстанавливает визуальную составляющую при обоих представлениях изображений.

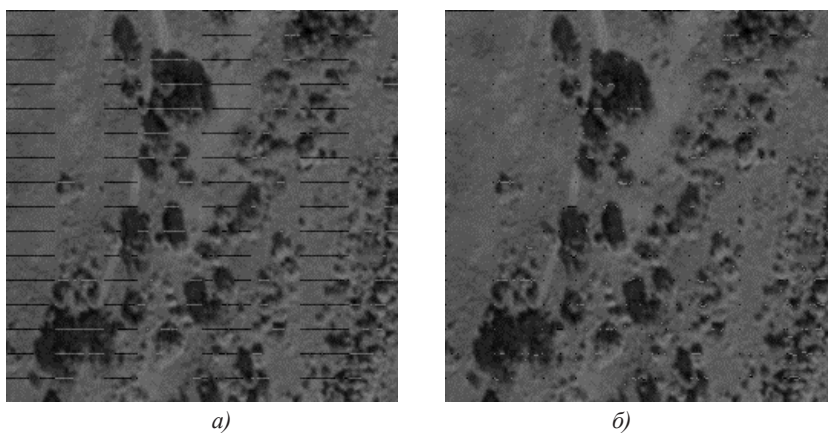


Рисунок 5 – Пример принятого тестового изображения 1 в пространственном представлении: а) без восстановления, б) с восстановлением

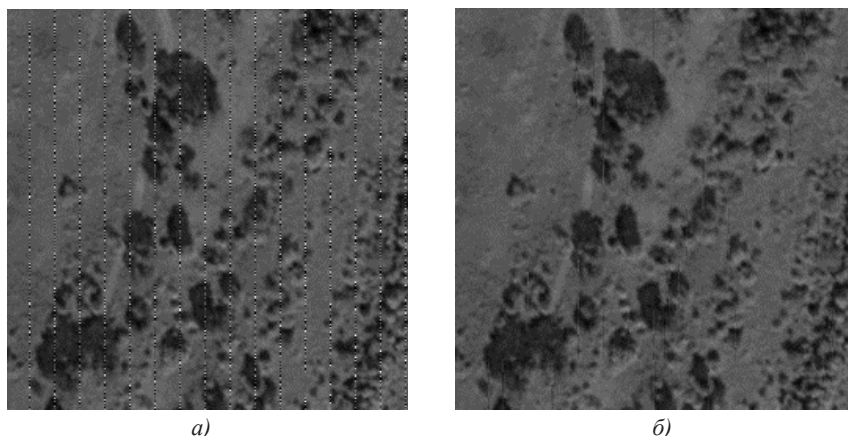
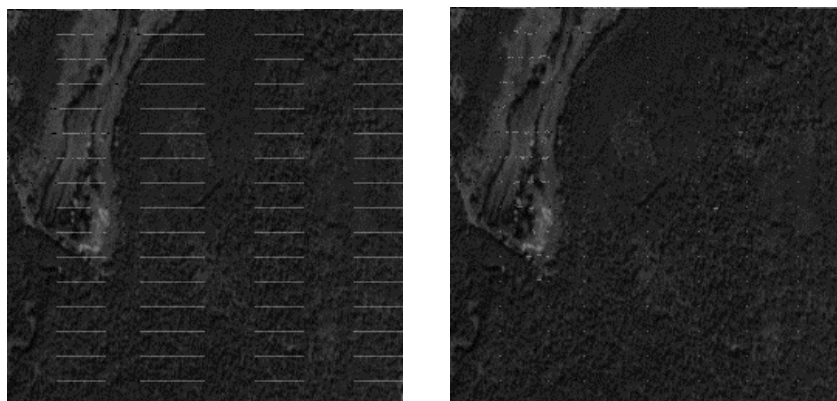
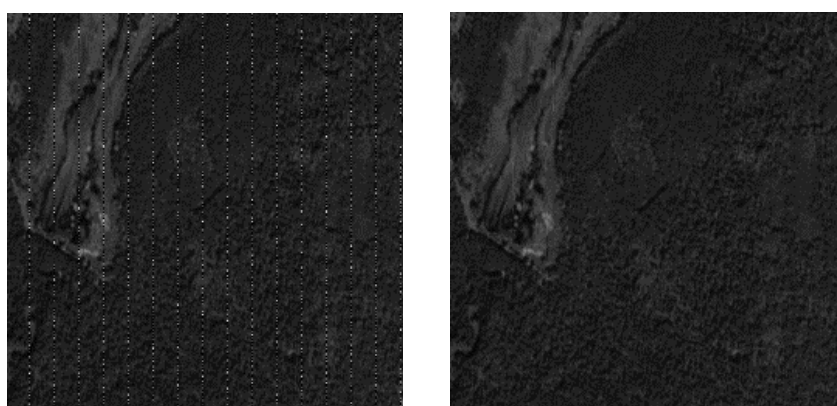


Рисунок 6 – Пример принятого тестового изображения 1 в пространственно-спектральном представлении: а) без восстановления, б) с восстановлением



а) б)

Рисунок 7 – Пример принятого тестового изображения 2 в пространственном представлении:
 а) без восстановления, б) с восстановлением



а) б)

Рисунок 8 – Пример принятого тестового изображения 2 в пространственно-спектральном представлении:
 а) без восстановления, б) с восстановлением

Обсуждение. Количественной характеристикой оценки метода принято среднеквадратичное отклонение (СКО) [22], представленное для двух тестовых изображений из общего набора в таблице 1.

После исправления искажений методом анализа матрица яркостей близка к исходной. Пространственно-спектральное представление имеет большую предсказуемость распределения бит, за счет чего эффективность при его исправлении выше, чем при восстановлении изображения в пространственном представлении.

Таблица 1 – СКО восстановления изображения

Изображение	Тип искажений	Пространственное представление		Пространственно-спектральное представление	
		Без восстановления	С восстановлением	Без восстановления	С восстановлением
Тестовое изображение 1	Инверсная ошибка (ИО)	14,1512	3,5452	3,4236	3,1401
	Потерянные биты (ПБ)	16	7,6244	17,8687	5,2867
	Комбинированная ошибка (КО)	11,3361	2,9058	14,6338	3,14
Тестовое изображение 2	Инверсная ошибка (ИО)	16	4,4374	15,1697	4,2564
	Потерянные биты (ПБ)	2,7163	1,9694	1,4424	1,1754
	Комбинированная ошибка (ИО)	11,5922	4,8545	12,3521	1,1754

Выводы. Передача данных по каналам связи с невысокой степенью надежности может привести к искажениям передаваемой информации. Одним из таких типов искажений являются групповые помехи, минимизация которых возможна на этапе принятия данных. Для устранения внесенных ошибок предложен метод анализа окрестностей битовой плоскости, на которых основан вектор передачи.

Метод показал достаточную высокую эффективность восстановления исходной информативности изображений. За счет работы метода только с одной из плоскостей вычислительная нагрузка ниже, чем при обработке матрицы с десятичными значениями яркостей. Дальнейшее развитие метода может быть направлено на исследование зависимостей между значениями бит в битовых плоскостях других

разрядов числа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Леоненко А.В., Колобанов К.А. Возможности использования дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в решении геоэкологических задач. // Интенсификация использования и воспроизводства лесов сибиря и дальнего востока. Материалы Всероссийской научной конференции. – Хабаровск, 2021. – С. 220-225
2. Копенков В.Н. Конструирование процедуры локальной обработки изображений, основанной на иерархической регрессии, предназначенной для решения задач обработки космических снимков. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2013. – С. 284-294.
3. Антонов С.А. Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования земли // Интеркарто. Интергис Учредители: Международная картографическая ассоциация (МКА), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Международная академия наук Евразии, Всероссийская общественная организация "Русское географическое общество", Центр мировой системы данных по географии ICSU-WDS – 2020. – С. 408-420.
4. Вьюгина А.А., Баранова С.Н. Сравнительный анализ влияния групповых и одиночных помех на вектор передачи, сформированный по принципу битовых плоскостей // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. Рязань, 2023. – С. 122-126.
5. Самойлин Е.А., Шипко В.В. Метод различения случайных сигналов многокомпонентных изображений и импульсных помех на основе свойства межканальной избыточности // Цифровая обработка сигналов – 2014. – С. 2-8.
6. Громилиан Г.И., Косых В.П., Яковенко Н.С. Согласованная фильтрация малоразмерных объектов в изображениях, содержащих постоянную пространственную помеху // Автометрия. Учредители: Сибирское отделение РАН, Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет – Новосибирск, 2020. – С. 145-153.
7. Овечкин Г.В. Метод декодирования каскадных помехоустойчивых кодов с применением многопороговых алгоритмов // Труды научно-исследовательского института радио – 2011. – С. 55-61.
8. Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Баранова С.Н. Исследование битового трафика при передаче ландшафтных изображений // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022. Сборник трудов V Международного научно-технического форума. Рязань, 2022. – С. 111-115.
9. Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Лобачев М.А., Вьюгина А.А. Математическая модель процесса передачи изображений на основе битовых плоскостей. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2023;(1):82-89. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2023-1-82-89>
10. Ратан Р., Арвинд Меры, специфичные для битовой плоскости, и их применение в анализе шифров изображений. – В: Тампи С., Маркес О., Кришнан С., Ли К.К., Чуонзо Д., Колекар М. (ред.) Достижения в области обработки сигналов и интеллектуальных систем распознавания. SIRS 2018. Коммуникации в компьютерных и информационных науках, том 968. – Спрингер, Сингапур. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5758-9_24
11. Костров Б.В., Бастрычкин А.С., Костров Б.А., Степанов Д.С. Протокол передачи изображений по каналу связи // Интеллектуальные и информационные системы: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Тульский государственный университет. Тула, 2016. – С. 220-225.
12. Костров Б.В., Лукина Н.В. Протокол передачи с квантованием бинарных изображений // Известия тульского государственного университета. Технические науки – Тула, 2019. – С. 142-148.
13. Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Хизриева Н.И., Фокина Н.С. Разработка математической модели процесса передачи ландшафтных изображений через зашумленный канал связи. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020;(4):101-107. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2020-4-101-107>
14. Костров Б.В., Свирина А.Г., Злобин В.К. Спектральный анализ изображений в конечных базисах [Монография] – Издательство «Курск» (Москва). – 2016. – 172 с.
15. Залмазон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1989. – 496 с. – ISBN 5-02-014094-5
16. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / под ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. – 248 с.
17. Светлов Г.В., Суменков Н.А., Костров Б.В., Фокина Н.С. Применение теории дискретных сигналов, определенных на конечных интервалах, для обработки аэрокосмических изображений. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2017;(3):94-102. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2017-3-94-102>.
18. Светлов Г.В., Суменков Н.А., Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Трушина Е.А. Построение ортогонального базиса на основе псевдослучайных последовательностей. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2020;(4):95-100. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2020-4-95-100>.
19. Гонсалес Р., Вудс Р., Эдлинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
20. Сизиков, В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab: учебное пособие / В. С. Сизиков. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-1238-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/209624> (дата обращения: 17.07.2023).
21. Алибеков, И.Ю. Теория вероятностей и математическая статистика в среде MATLAB: учебное пособие для вузов / И.Ю. Алибеков. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 184 с. – ISBN 978-5-8114-6865-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/152661> (дата обращения: 17.07.2023).
22. Селянкин, В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений: учебное пособие / В.В. Селянкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 152 с. – ISBN 978-5-8114-3368-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/113938> (дата обращения: 17.07.2023).

Статья поступила в редакцию 28.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 004.932

EDN: UTGTNB

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ЗАДАЧЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СВЯЗЫВАНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК

© Автор(ы) 2023

SPIN: 1201-5071

AuthorID: 681509

ORCID: 0000-0002-4796-0776

ScopusID: 55980530400

НИКИФОРОВ Михаил Борисович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Электронные вычислительные машины», директор НОЦ «Специализированные ЭВМ»

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина

(390005, Россия, Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: nikiforov.m.b@mail.ru)

SPIN: 3779-6480

AuthorID: 919294

ORCID: 0000-0002-2812-3489

ScopusID: 57191850738

ТАРАСОВ Андрей Сергеевич, аспирант,

старший преподаватель кафедры «Электронные вычислительные машины»

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина

(390005, Россия, Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: vb2005@yandex.ru)

Аннотация. В данной статье рассмотрен комбинированный метод сопровождения подвижных объектов. Задача сопровождения объектов строится вокруг определения численной меры перемещения заданного объекта между двумя соседними кадрами. Предложен подход, основанный на использовании метода связывания особых точек и оптического потока. Первый позволяет определить перемещение определенных точек объекта с высокой точностью, однако предполагает серьезные вычислительные затраты, второй строит более общее предсказание, однако также имеет высокие вычислительные затраты при анализе целого кадра. Рассмотрен способ повышения скорости сопоставления точек, за счет сокращения области поиска пары, основанного на глобальном анализе перемещения точек с использованием оптического потока у уменьшенной копии изображения кадра. Получены результаты, свидетельствующие о том, что время затраченное на обработку кадра уменьшилось в 100-150 раз, в зависимости от размеров изображения, а вероятность случайного (ложного) связывания точек в разных частях изображения снизилась до 0%, за счет ограничения зоны связывания.

Ключевые слова: сопровождение объектов, особые точки, оптический поток.

STUDY OF HEURISTIC APPROACHES IN THE PROBLEM OF OBJECT TRACKING BASED ON SINGULAR POINT RELATION

© The Author(s) 2023

NIKIFOROV Mikhail Borisovich, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Electronic Computers, director of the REC "Specialized Computers"

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin

(390005, Russia, Ryazan, Gagarina street, 59/1, e-mail: nikiforov.m.b@mail.ru)

TARASOV Andrey Sergeevich, postgraduate student, senior lecturer of the Department of Electronic Computers

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin

(390005, Russia, Ryazan, Gagarina street, 59/1, e-mail: vb2005@yandex.ru)

Abstract. This article discusses the combined method of tracking moving objects. The task of tracking objects is built around the definition of a numerical measure of the movement of a given object between two adjacent frames. An approach based on the method of coupling singular points and optical flow is proposed. The first one allows to determine the movement of certain points of the object with high accuracy, however, it involves serious computational costs, the second one makes a more general prediction, but also has high computational costs when analyzing the whole frame. A method for increasing the speed of matching points is considered, by reducing the search area for a pair, based on a global analysis of the movement of points using the optical flow of a reduced copy of the frame image. The results obtained indicate that the time spent on processing the frame has decreased by 100-150 times, depending on the size of the image, and the probability of random (false) linking of points in different parts of the image has decreased to 0%, due to the limitation of the linking zone.

Keywords: object tracking, feature points, optical flow.

Для цитирования: Никифоров М.Б. Исследование эвристических подходов в задаче сопровождения объектов на основе связывания особых точек // М.Б. Никифоров, А.С. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 100-105. – EDN: UTGTNB.

Введение. Одной из ключевых задач технического зрения является задача сопровождения подвижных объектов. Для решения данной задачи необходимо определить направление перемещения объекта и установить зоны, в которые объект был перемещён. Осложняется данная задача такими факторами, как: изменение геометрии отслеживаемого объекта, изменение условий съёмки, освещения, перекрытие объекта, наличие в кадре нескольких однотипных объектов и т.д. [1-3].

Существуют различные подходы к сопровождению объектов, однако все они обладают рядом недостатков, наиболее часто, это проблема низкой производительности [4, 5].

В данной работе предлагается адаптация алгоритма сопровождения, основанного на взаимной работе двух ресурсозатратных алгоритмов в паре, таким образом, что достигается высокая точность работы, при значительно более низком времени выполнения.

Ключевая точка – это особая точка на изображении (обычно угловая, где резко меняется яркость), обладающая определенными характеристиками, которые позволяют однозначно обнаружить и сопоставить данную точку с другим изображением. Существует большое количество различных детекторов подобных точек [6].

Детектор – это метод извлечения особых точек из изображения. Детектор обеспечивает инвариантность нахождения одних и тех же особых точек относительно преобразований изображений. Все они отличаются скоростью работы, устойчивостью к шуму, инвариантности определения точки в зависимости от поворота изображения и его масштабирования. Кроме этого, детектор также может обладать возможностью определения описания точки (дескриптора) [7].

Дескриптор – идентификатор особой точки, выделяющий ее из остального множества особых точек. В свою очередь, дескрипторы должны обеспечивать инвариантность нахождения соответствия

между особыми точками относительно преобразований изображений.

Методология. Несмотря на высокие скорости определения особых точек и получение их описания, связывание точек имеет крайне низкую скорость работы. Это вызвано тем, что для поиска «подходящей» пары, для каждой точки необходимо вычислить величину разницы между дескрипторами [8]. При этом время, затрачиваемое на данную операцию нелинейно, и зависит от количества особых точек на изображении.

Алгоритм определения пары выглядит следующим образом:

```

; Массив пар точек
Pair = []

; Здесь и далее K1 и K2 – дескрипторы точек
Для I = 0 до len(K1)
    Val = Inf
    Idx = -1
    Для J = 0 до len(K2)
        Diff = 0
        Для K = 0 до 128
            Diff = Diff + abs(K1[I][K] - K2[J][K])
        Если Diff < Val, то
            Val = Diff
            Idx = J
    ; Найденная пара добавляется в массив
    Pair += (I, Idx)
    
```

Исходя из алгоритма видно, что для его сложность $O(N^2)$. Аналогичную сложность демонстрирует и экспериментальное исследование.

На рисунке 1 представлено время, которое требуется для связывания точек, в зависимости от их количества. Ось Ox – количество точек, ось Oy – время вычисления (с.)

Примечание: здесь и далее для исследования будут рассматриваться изображения размерностью 1920x1080 в градациях серого (8 бит/пикс.). Все вычисления выполнялись на ПК *Asus (CPU: Ryzen 7 3750 4 ГГц, 8 ядер, 16 GbRAM)*.

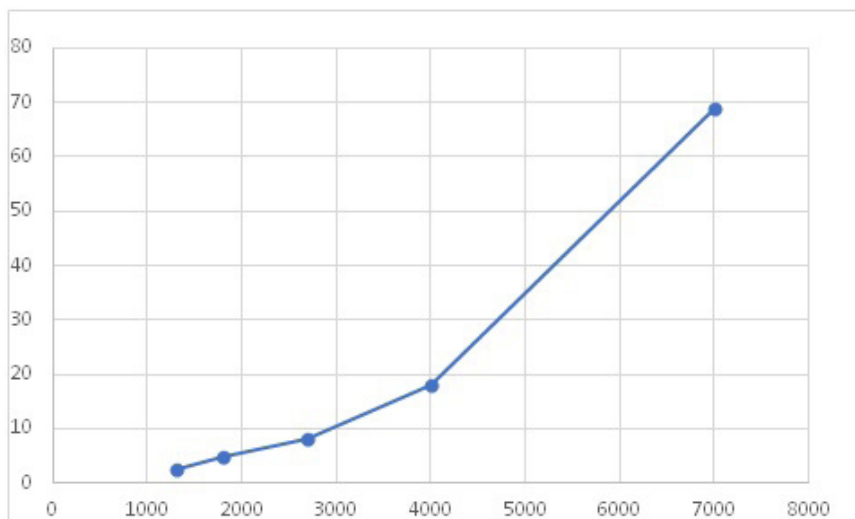


Рисунок 1 – Исследование зависимости времени выполнения алгоритма от количества точек

Таким образом, для повышения скорости работы алгоритма необходимо сокращать количество точек, которое будет использовано для анализа. В некоторых работах [1, 2] предлагается использовать цветовую классификацию изображений. Однако, данный подход может быть уместен только в тех случаях, когда на видеопоследовательности ни фон, ни объект интереса не изменяют своего цвета. В то же время появление тени, бликов или частичного перекрытия объекта приведет к срыву при работе данного метода.

Результаты. Для увеличения скорости обработки изображений, а также уменьшения количества выборов предлагается использовать разделение особых точек на квадраты (рис. 2) [9].

Изображение текущего и предшествующего кадров разделяются на блоки размером $N \times N$ пикселей. В каждом блоке выполняется определение и описание особых точек (рис. 3).

Далее осуществляется сопоставление особых точек в указанных квадратах.

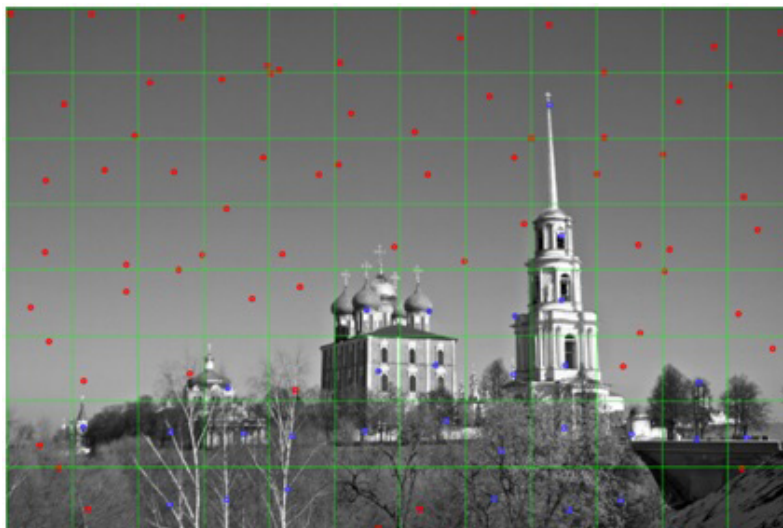


Рисунок 2 – Пример разделения точек на квадраты

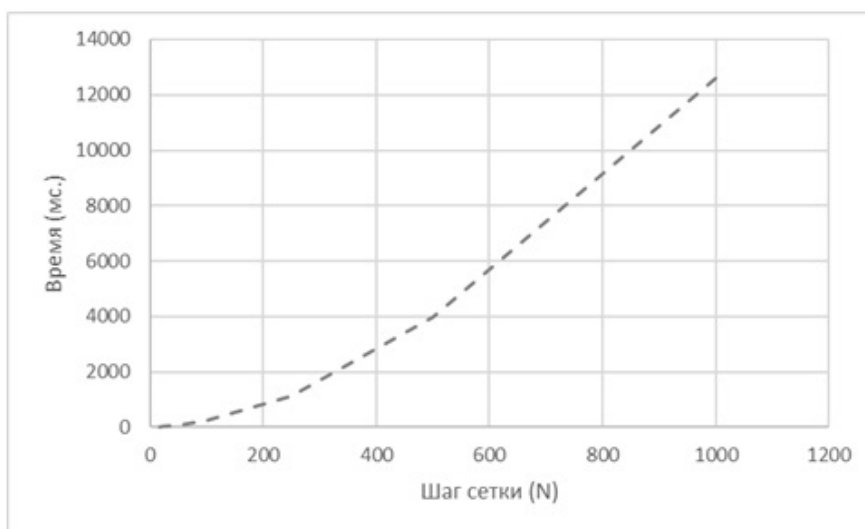


Рисунок 3 – Скорость связывания точек в зависимости от значения N

Как видно из результатов, скорость определения точек значительно повысилась. Однако, подобный подход приводит к проблемам в связывании точек в том случае, если некоторые области изображения (или все изображение целиком) подвержено сильному движению, сильнее, чем размер квадрата.

Для решения данной проблемы предлагается дополнительно проанализировать оптический поток в укрупненном виде.

Принцип работы оптического потока, следующ-

ий: делается предположение, что группа соседних пикселей смещается за время кадра на незначительное расстояние без изменения цвета. Тогда данное предположение можно записать в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} I_x(x_1, y_1) & I_y(x_1, y_1) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(x_n, y_n) & I_y(x_n, y_n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_t(x_1, y_1) \\ \vdots \\ -I_t(x_n, y_n) \end{pmatrix}.$$

Здесь, $I(x, y)$ – интенсивность цвета в соответствующей точке; u и v – искомый вектор перемещения.

Однако следует учитывать то, что расстояние между соседними пикселями меняется. Это приводит и к тому, что меняется и их цвет в окрестностях данной точки. В итоге система решений не может иметь единственного решения. Используется лишь некоторое приближение [10-12].

В целом, оптический поток позволяет также выполнить связывание точек, однако, для изображения целиком он является очень ресурсозатратным. В данном случае, оптический поток вычисляется лишь для небольшого фрагмента [13, 14].

Исходя из таблицы 1 можно сделать вывод, что применение оптического потока целесообразно для небольших размеров изображения, в то время как для изображения размером 10^6 пикс. Время вычисления значительно превышает частоту получения кадров (40 мс.).

При этом оптический поток может быть дополнен методами текстурного анализа изображения. Однако такой подход может требовать значительных вычислительных ресурсов, что продемонстрировано в работах [15-17].

Таблица 1 – Оценка скорости работы оптического потока

	Размер изображения			
	10 ⁴ пикс.	10 ⁵ пикс.	10 ⁶ пикс.	10 ⁷ пикс.
Время вычисления (мс.)	3 мс.	20 мс.	220 мс.	2600 мс.

Обновленный алгоритм выглядит следующим образом:

```

; Массив пар точек
Pair = []

; Размер квадрата
N = 10
Wk = width(I) / N
Hk = height(I) / N

; Изображение, уменьшенное в N раз
Iscaled = resize(I, Wk, Hk)

; Карта плотного оптического потока
F = OpticalFlowFarneback(Iscaled)

; Разделение точек на квадраты
Для I = 0 до len(K1)
  LocX = K1[I].X / N
  LocY = K1[I].Y / N
  B1[LocX, LocY] += K1[I]

Для I = 0 до len(K2)
  LocX = K2[I].X / N
  LocY = K2[I].Y / N
  B2[LocX, LocY] += K2[I]

; Выполняется проход по всем квадратам
Для X = 0 до Wk
  Для Y = 0 до Hk
    K1 = B1[X, Y]
    ; Определяется смещение, для квадрата на 2-ом изображении
    Offset = F[X, Y]
    K2 = B2[X - Offset.X, Y - Offset.Y]
    Для I = 0 до len(B1[X, Y])
      Val = Inf
      Idx = -1
      Для J = 0 до len(K2)
        Diff = 0
        Для K = 0 до 128
          Diff = Diff + abs(K1[I][K] - K2[J][K])
        Если Diff < Val, то
          Val = Diff
          Idx = J
      Pair += (K1[I], K2[Idx])
  
```

Обсуждение. Таким образом, при использовании оптического потока только для определения основного квадрата, при сопоставлении особых точек, формируется следующая кривая (рис. 4).

Исходя из рисунка 4 можно увидеть, что время работы суммы двух алгоритмов от размера квадрата нелинейно и визуально напоминает параболу с минимальным значением функции времени в точке

11. Таким образом, значение размера квадрата в 11 пикселей является наиболее оптимальным для данного алгоритма.

Также был произведен анализ быстродействия

алгоритма при различных размерах изображения. На рисунке 5 продемонстрирована экспериментально полученная зависимость времени выполнения алгоритма в зависимости от размера изображения.

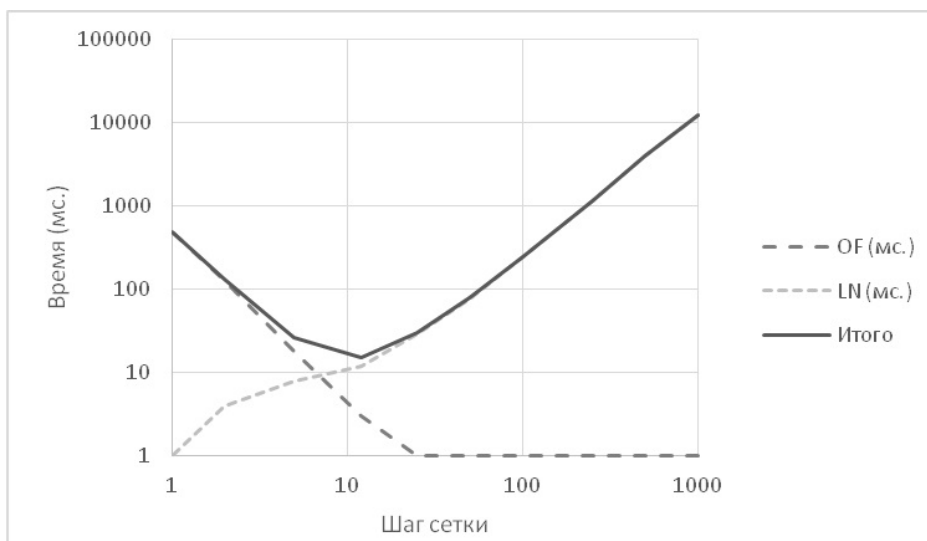


Рисунок 4 – Оценка скорости работы оптического потока и связывания точек при различных размерах квадрата, а также график суммы по времени

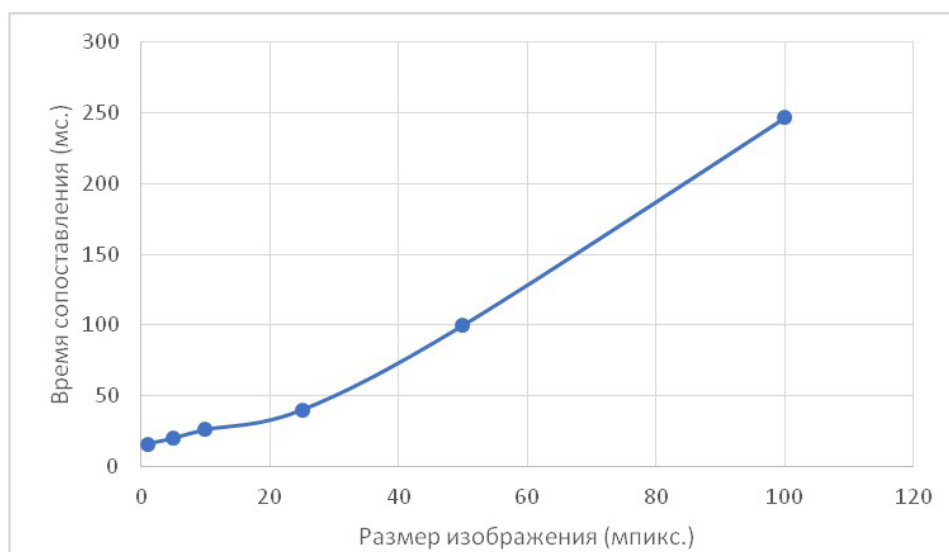


Рисунок 5 – Время выполнения алгоритма в зависимости от размера изображения

Согласно графику, предложенный подход позволяет выполнять вычисление координат перемещения особых точек с небольшими временными затратами даже при больших размерах исходных изображений. Функция времени при этом растет линейно, в отличие от временных затрат на вычисление оптического потока.

Выводы. Исходя из эксперимента можно сделать вывод, что метод разделения на квадраты действительно дает выигрыш, но только при размере квадрата 10. Меньший размер квадрата приводит к повышению времени, затрачиваемому на вычисление оптического потока, больший размер квадрата увеличивает время связывания.

Полученные результаты демонстрируют высо-

кую скорость работы даже при больших размерах изображений. Несмотря на то, что сами по себе методы сопровождения на основе оптического потока и связывании особых точек являются ресурсозатратными, использование их адаптаций в тандеме дает значительный прирост в скорости обработки видеoinформации. Кроме того, представленный алгоритм, также как и вычисление оптического потока и поиск особых точек могут быть выполнены с использованием параллельных вычислений, например, с использованием технологий *NvidiaCUDA*, где за счёт значительного количества ядер процесс анализа может быть сокращен еще в 10-50 раз, либо же реализован на системах на кристалле, аналогично работам [18-20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / М.: Радиотехника. – 2008. – С. 176.
2. Ворошилина Е.П., Ворошилин Е.П., Тисленко В.И. Алгоритмы сопровождения подвижных объектов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 2 (20). – С. 53-58.
3. Bolme D.S., Beveridge R.J., Draper B.A., Lui Y.M. Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2010. – P. 2544-2550.
4. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов // М.: Радиотехника. – 2008. – С. 175.
5. Пастушков А.В., Калайда В.Т. Программная система слежения за объектом в видеопотоке // Южно-Сибирский научный вестник. – 2013. – № 1 (3). – С. 90-91.
6. Филатов, В.И., Потапов А.С. Система обучения визуальным понятиям на основе соотнесения лексем и ключевых точек // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 4. – С. 689-696.
7. D. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision, 2004
8. Tarasov A., Potapova V., Belyakov P., Melnik O. The Developing of Targets Tracking Complex // Proceedings of EWDTS-2018, Казань, 2018.
9. Тарасов А.С., Никифоров М.Б., Беляков П.В. Системы обнаружения и сопровождения подвижных объектов: методические указания к лабораторным работам // Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Рязань. – 2021. – 48 с.
10. Lucas, B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proceedings of Imaging Understanding Workshop. – 1981. – С. 121-130.
11. Horn, B.K.P. Determining optical flow [Электронный ресурс] / B.K.P. Horn, B.G. Schunk // AI Memo 572. – MIT. – 1981.
12. Barron, J.L. Performance of optical flow techniques [Text] / J.L. Barron, D.J. Fleet, S. Beauchemin // IJCV. – 1994. – № 12 (1).
13. Visual Object Classes Challenge 2012 (VOC2012) // URL: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012>
14. Беляков П.В., Никифоров М.Б. Вариационный метод вычисления оптического потока в системе-на-кристалле // Цифровая обработка сигналов. – 2018. – №3. – С. 76-82.
15. V. Potapova, A. Tarasov, N. Grinchenko Image search by content system development // в сборнике: Proceedings of IEEE East-West Design&Test Symposium (EWDTS2018). – 2018. – С. 625-629.
16. Мицель А.А., Колодников Н.В., Протасов К.Т. Непараметрический алгоритм текстурного анализа аэрокосмических снимков // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 65-70.
17. Медведева Е.В., Каралушин К.А., Курбагова Е.Е. Метод выделения движущихся объектов в видеопотоке на основе оценке их границ // Машинное обучение и анализ данных. – 2015. – Т. 1. – № 12. – С. 1696-1705.
18. Система наведения "Охотник" // URL: <https://aviation21.ru/izdelie-охотник-innovacionnaya-sistema-nashlemnogo-celeukazaniya>.
19. Фисенко В.Т., Можейко В.И., Фисенко Т.Ю., Вилесов Л.Д., Фёдоров Д.А. Метод автоматического обнаружения и прослеживания многих малоразмерных объектов в условиях априорной неопределенности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 10. – С. 17-22.
20. Соколов, С.М., Богуславский А.А., Фёдоров Н.Г., Виноградов П.В. Система технического зрения для информационного обеспечения автоматической посадки и движения по ВПП летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 1(162). – С. 96-109.

Статья поступила в редакцию 22.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 681.5.042; 621.374.5

EDN: YOQNUK

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 1222-5399

AuthorID: 517750

ORCID: 0000-0003-0933-1212

ЧУЛКОВ Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия»

Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. В процессе приема и обработки цифровых сигналов, для синхронизации информационных процессов, а также выравнивания временных перекосов типа «clock skew» часто необходима прецизионная и регулируемая цифровым способом задержка сигналов. Точность традиционного метода пересчета опорных импульсов стабильной частоты ограничена быстродействием элементной базы. По этой причине получили распространение методы интерполяции опорного периода, естественным образом осуществляемые кольцевыми генераторами импульсов. В настоящей работе рассматриваются технические принципы программируемой задержки сигналов, и предлагаются схемные решения устройств задержки на основе кольцевого генератора. Показано, что применение кольцевого генератора в качестве опорного генератора устройства задержки способно обеспечить разрешение по времени много меньшее задержки логического вентиля, упростить конфигурацию устройств и снизить рабочую частоту.

Ключевые слова: кольцевой генератор, опорный период, мультиплексор, интегральная технология, точность, разрешение по времени.

PROGRAMMABLE DELAY DEVICES BASED ON RING OSCILLATOR

© The Authors 2023

CHULKOV Valery Alexandrovich, doctor of technical sciences, associate professor,
head of the Department of Biomedical Engineering

Penza State Technological University

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

Abstract. In the process of receiving and processing digital signals, in order to synchronize information processes, as well as equalize time imbalances such as «clock skew», a precise and digitally adjustable signal delay is often necessary. The accuracy of the traditional method of recalculating reference pulses of a stable frequency is limited by the speed of the element base. For this reason, reference period interpolation methods, naturally carried out by ring pulse generators, have become widespread. This paper examines the technical principles of programmable signal delay and proposes circuit solutions for delay devices based on a ring oscillator. It is shown that the use of a ring oscillator as a reference oscillator for a delay device can provide time resolution of the subgate range, simplify the device configuration and reduce the operating frequency.

Key words: ring oscillator, reference period, multiplexer, integrated technology, accuracy, time resolution.

Для цитирования: Чулков В.А. Программируемые устройства задержки на основе кольцевого генератора / В.А. Чулков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 106-111. – EDN: YOQNUK.

Введение. Решение многих задач в технике автоматических измерений и системах телекоммуникаций требует прецизионной задержки сигналов с возможностью управления временем задержки цифровым кодом. В случае периодически следующих сигналов задержку можно измерить или установить практически с любой точностью, для чего допустимо использование продолжительной подстройкой интервала времени к некоторому эталонному интервалу (компенсационный, стробоскопический методы, нониусный отсчет [1, 2]). Существенно сложнее измерить или сформировать одиночный интервал времени в виде задержки или длительности импульса, поскольку в этом случае интервал должен контролироваться непосредственно в процессе его

появления или формирования после запускающего сигнала. Решению этой задачи способствует замена однофазного опорного генератора его мультифазным аналогом – кольцевым генератором импульсов.

Целью настоящей работы является обоснование структуры и уточнение технических характеристик устройства задержки сигнала с повышенной точностью выдержки времени на основе кольцевого генератора импульсов.

Методология. Обычный подход к программированию однократного временного интервала состоит в пересчете опорных импульсов, схема подобного устройства задержки показана на рисунке 1. Рабочую частоту устройства задает стабилизированный однофазный опорный генератор ОГ,

импульсы которого тактируют счетчик импульсов CT и формирующий выходной сигнал D -триггер T_2 . Запускающий сигнал X взводит входной триггер T_1 , который в свою очередь разблокирует до того сброшенный счетчик импульсов, поэтому он начинает заполняться опорными импульсами, первый из которых взводит триггер T_2 . Когда нарастающее двоичное содержимое счетчика достигает заданного значения M , срабатывает компаратор и сбрасывает оба триггера, в результате на выходе Y образуется импульс нужной протяженности.

Точность сформированного в виде длительности импульса интервала времени определяется точностью опорного периода T_0 , интервал составляет $T_Y = (M - 1) T_0$. Однако ввиду неопределенности момента запуска относительно опорного периода начало этого импульса задержано на время $0 \dots T_0$, что не всегда допустимо. Начало формирования импульса на выходе триггера T_1 совпадает с моментом запуска, но его длительность отличается от заданной на $\Delta T = 1/2(1 \pm 1)T_0$, т.е. имеет существенную погрешность.

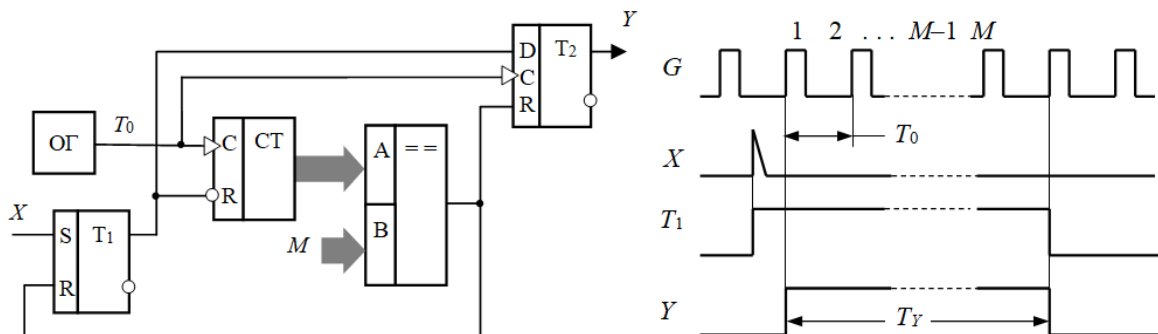


Рисунок 1 – Формирование интервала времени методом прямого счета

Чтобы снизить указанную погрешность предусматривают режим останова и последующего синхронного запуска опорного генератора с сохранением значения его периода. Для этого применяют различные способы. Так с этой целью в работах [3, 4] опорный генератор с управляемой частотой колебаний охватывают петлей автоматической подстройки частоты или фазы, поддерживающими частоту ОГ равной эталонной частоте с кварцевой стабилизацией. В аналоговом варианте подобного устройства [5] опорный генератор вырабатывает квадратурные пилообразные импульсы стабильной частоты, мгновенное значение пилы при поступлении стартового сигнала запоминается блоком выборки и хранения, это напряжение используется как порог сравнения в следующем периоде пилы. Участки обратного хода пилы устраняются из процесса, используются только линейный участок одного из квадратурных колебаний в двух блоках выборки и хранения. Длительность сформированного таким образом сигнала равна периоду пилы и может быть кратно расширена путем пересчета сигналов. Подобный метод формирования интервала времени находит применение в преобразователях код-время, например в интегральном преобразователе *AD9500* фирмы *Analog Devices* с инкрементом задержки 10 пс [6]. В этом аналоге для формирования линейно изменяющегося напряжения запоминания его мгновенного значения использованы счетчик импульсов с выходным цифроаналоговым преобразователем.

В известных устройствах задержки с пересчетом опорных импульсов длительность формируемого интервала всегда кратна их периоду. Очевидно, что относительная погрешность снижается с

уменьшением опорного периода, который, однако, нельзя установить произвольно малым ввиду ограниченного быстродействия цифровой элементной базы. Это ограничение смягчается, если опорный генератор выполнить в виде мультифазного кольцевого генератора (КГ), дающего возможность кратно сократить квант времени без повышения рабочей частоты. Методология исследования базируется на сборе и анализе информации о достигнутом уровне разработок в данной предметной области и поиске обоснованных технических решений с использованием имеющегося научного задела.

Результаты. Техника кольцевых генераторов получила развитие по мере совершенствования интегральных технологий, когда появилась возможность управления временем задержки логического вентиля [7-12]. Кольцевой генератор импульсов представляет собой соединенное в кольцо множество идентичных элементов задержки с общей положительной обратной связью и общим управлением, которое позволяет стабилизировать частоту колебаний [13].

Применение КГ позволяет сократить квант времени до задержки единственного вентиля t_D , образовать субшкалу отсчета времени, и осуществить таким образом естественную интерполяцию опорного периода. Идентичность каскадов КГ гарантируется технологическим процессом изготовления кристалла, при котором равноразмерные интегральные компоненты приобретают одинаковые свойства. В процессе генерирования импульсов по каскадам КГ поочередно распространяются «волны» нулей и единиц, а период импульсов определяется как $f = 1/T_0 = 1/2Nt_D$, где N – число каскадов генератора.

Для удобства цифрового управления количество каскадов КГ обычно выбирается кратным степени двойки $N=2^k$. Импульсы на множестве выходов КГ покрывают по фазе диапазон полупериода ($0 \dots \pi$), оставшийся диапазон полупериода от π до 2π образуют инверсии основных выходов.

Использование полного множества фаз КГ равноценно умножению в N раз опорной частоты. Поскольку квант времени сокращается до задержки каскада t_D , то отчасти снимается проблема синхронного запуска опорного генератора, поскольку моменты старта и завершения формируемого ин-

тервала внутри опорного периода определяются по текущему состоянию выходов КГ без его останова. На рисунке 2 [14] представлена функциональная схема устройства программируемой задержки, какой считается протяженность импульса на выходе Y . Программирование задержки осуществляется цифровым кодом D , старшие t разрядов кода (D_m) по запускающему сигналу X записываются в счетчик импульсов, задавая его начальное состояние, а младшие (D_n) передаются на один из входов сумматора, который добавляет их к зафиксированному в момент старта цифровому отсчету фазы КГ.

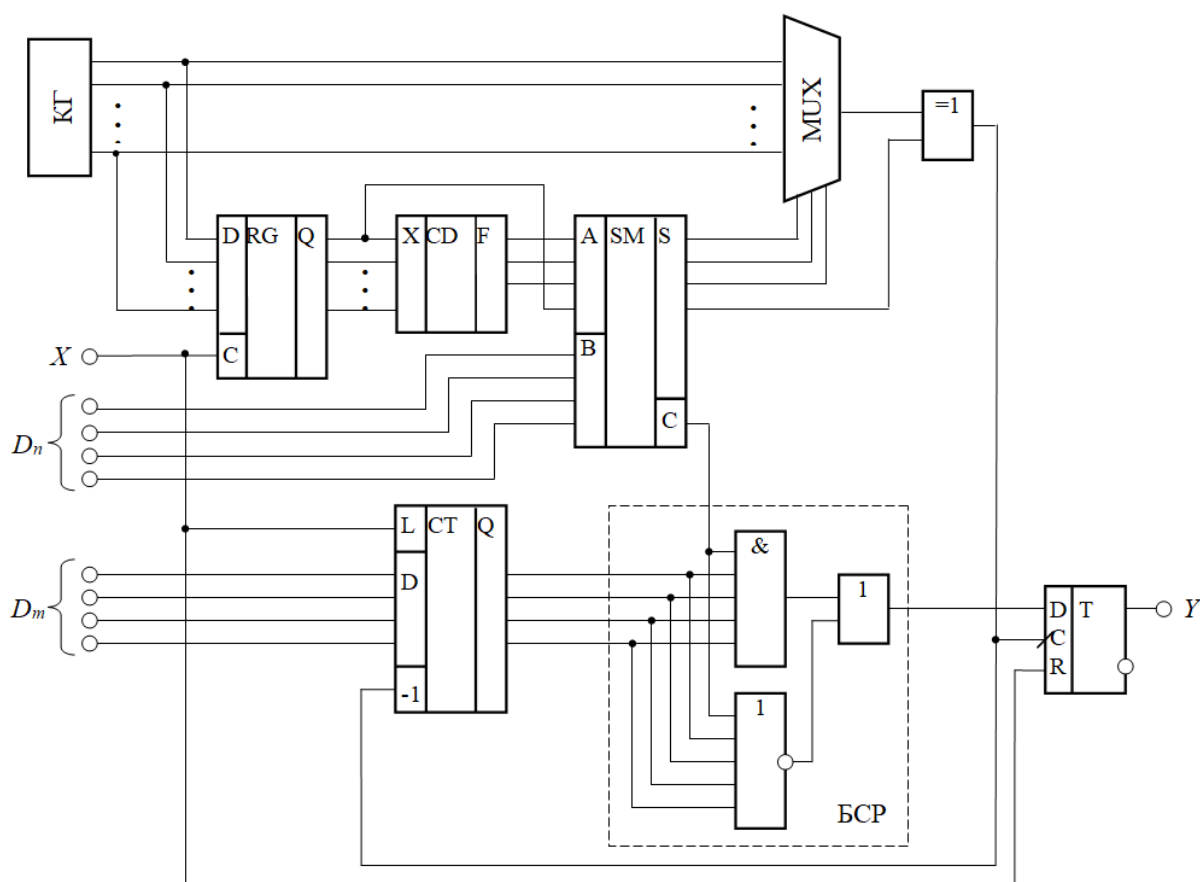


Рисунок 2 – Устройство задержки на основе кольцевого генератора

Поступивший стартовый сигнал X сбрасывает выходной D -триггер, иницируя процесс задержки. Одновременно в регистре RG фиксируются логические состояния выходов КГ в виде термометрического кода, соответствующего номеру каскада, до которого успел дойти фронт бегущей по КГ волны единиц или нулей (вид волны отражается младшим разрядом). Позиция фронта далее преобразуется в двоичное слово, поступающее на другой вход сумматора для сложения с числом D_n . Получившаяся сумма служит адресом мультиплексора MUX , который выбирает фазу КГ, импульсы с которой послужат тактовыми сигналами вычитающего счетчика CT . Подключенный к выходу мультиплексора вентиль **ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ** пропускает его импульсы либо непосредственно,

либо инвертируя их в зависимости от вида логической волны в КГ. Благодаря этому вентилю достигается упрощение структуры – сокращается в два раза разрядность цифровых узлов B соответствия с адресом мультиплексора первый импульс проходит на счетчик с задержкой $D_n t_D$.

Если в процессе сложения чисел в сумматоре образуется сигнал переноса, его наличие свидетельствует о необходимости увеличения продолжительности процедуры вычитания на один опорный период T_o . С этой целью в устройстве предусмотрен блок сравнения БСП в составе нескольких логических вентилей, который определяет конечное состояние счетчика импульсов, до которого должно проводиться вычитание. Этим конечным состоянием будет либо $00\dots00$ (сработает

вентиль ИЛИ-НЕ), либо 11...11 и сработает вентиль И, что произойдет на один период позже. Появившаяся на входе D выходного триггера после этого обуславливает его возвращение в исходное взведенное состояние. Этим заканчивается процесс формирования задержки, время которой оказывается равным

$$t_3 = \frac{D_m D_n}{2^n} T_0.$$

Суммарная задержка в мультиплексоре и вентиле ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ может превышать квант времени t_D , тогда может потребоваться корректировка младших разрядов цифрового кода задержки в сторону уменьшения в порядке настройки устройства.

Дополнительные возможности управления временем задержки предоставляет вариант исполнения КГ в виде системы автоподстройки задержки, получившей в литературе наименование DLL (*Delay Lock Loop*). Система DLL строится на основе цифровой линии задержки, состоящей из последовательной цепи управляемых неинвертирующих буферных вентилях, охваченной обратной связью по задержке через фазовый компаратор и блок накачки заряда [15-18].

Обратная связь обеспечивает точную подстройку времени задержки линии к стабильному периоду входных опорных колебаний, при этом количество звеньев линии задержки может быть выбрано произвольным.

Один из подходов к организации задержки сигнала на основе системы DLL , опирающимся на идентичность интегральных компонентов и

использованным в разработках [19, 20], состоит в построении на кристалле нескольких цифровых линий задержки (ЦЛЗ), одна из которых включена в кольцо DLL , обеспечивающее равенство ее полной задержки опорному периоду T_0 . Фазовый компаратор ФК в системе DLL сравнивает позиции фронтов задержанного ее ЦЛЗ сигнала и опорного сигнала, поступающего в следующем за текущим периоде через время T_0 . В соответствии с выявленным рассогласованием ФК посредством блока накачки заряда БНЗ корректирует управляющее напряжение U_y на интегрирующем конденсаторе C в направлении компенсации рассогласования, которое в установившемся режиме сводится к нулю. Звенья рабочих линий задержки управляются тем же напряжением U_y , которое в процессе регулирования вырабатывается в эталонной линии DLL , и, следовательно, имеют такое же время задержки, что и звенья линии в системе DLL . В схеме, иллюстрирующей данный подход (рис. 3), рабочий канал для задержки сигнала X снабжен мультиплексором MUX , с помощью которого в соответствии с управляющим кодом D на выход Y направляется задержанный импульс с одного из отводов ЦЛЗ. В результате время задержки сигнала Y относительно сигнала X регулируется в пределах от $T_0/2^n$ до T_0 , где n – разрядность управляющего двоичного слова, 2^n – число звеньев ЦЛЗ. Диапазон перестройки времени задержки в этом устройстве несложно расширить, дополнив его счетчиком импульсов на выходе с программируемым модулем счета. Количество каналов задержки по данному методу практически не ограничено.

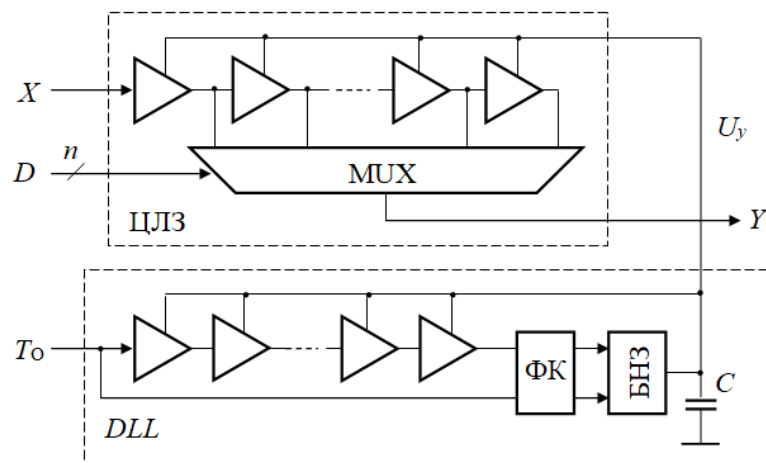


Рисунок 3 – Принцип задержки с подстройкой по образцовой системе DLL

В описанных устройствах точность выдержки времени ограничена задержкой распространения каскада КГ или звена ЦЛЗ. Обойти это ограничение и достигнуть разрешения менее задержки вентиля призвана фазовая интерполяция, позволяющая по двум опорным колебаниям образовать третье колебание со средней по отношению к опорным фазой (ось интерполяции) [21] путем взвешенного сложе-

ния опорных колебаний.

Условием интерполяции при суммировании колебаний является перекрытие во времени фронтов опорных колебаний. Опорными сигналами могут служить гармонические, треугольные и трапецеидальные колебания.

Принцип фазовой интерполяции при опорных сигналах характерной для цифровой техники

трапецидальной формы поясняется рисунком 4а. Роль элемента интерполяции в схемотехнике КМОП могут выполнять два буферных вентиля с объединенными выходами (такое объединение благодаря сопротивлению каналов транзисторов, ограничивающему сквозной ток). Фронт выходного сигнала Z располагается по центру между фронтами опорных сигналов X и Y . Таким способом можно разделить на две равные части время задержки единственного вентиля, а с каждым новым каскадом интерполятора вдвое уменьшать квант времени. В показанной на рисунке 4б схеме двухкаскадного блока фазовой интерполяции опорный интервал времени между сигналами X и Y делится на четыре субкванта, дальнейшее дробление интервала выполняется наращиванием числа каскадов в блоке, которое ограничивается лишь шумовыми факторами. Поскольку каждый из элементов интерполяции вносит собственную задержку при формировании выходного сигнала, то исходные опорные сигналы в каждом каскаде также должны быть задержаны, для чего в схеме введены буферные элементы интерполяции, а также дополнительные буферные вентили для выравнивания нагрузок (основные элементы затемнены).

Непосредственное подключение подобных блоков к входу и выходу каждого каскада КГ дает возможность размножить количество его фаз и сократить квант времени, однако конструкция КГ при этом существенно усложняется. Поскольку в качестве рабочей при формировании интервала времени выбирается единственная фаза КГ, то имеется возможность совместить КГ с мультиплексором, как показано на рисунке 4в. В этой схеме КГ выполнен на основе системы DLL , а выбор пары опорных сигналов для блока фазовой интерполяции со смежных отводов 2^m -каскадной DLL осуществляет пара мультиплексоров MUX_1 и MUX_2 с объединенными соответствующими адресными входами, на которые поступает m -разрядный код D_m . Пара опорных сигналов всякий раз берется с входа и выхода соответствующего каскада КГ, блок интерполяции разделяет время задержки каскада на 2^n равных частей и имеет, следовательно, 2^n выходов. С одного из выходов с помощью мультиплексора MUX_3 , на выход φ_Z выводится сигнал, соответствующий числовому значению кода D_n . Таким образом, основной опорный период устройства оказывается разделенным на $2^m 2^n$ субквантов, значение субкванта сокращено до $T_0/2^{m+n}$.

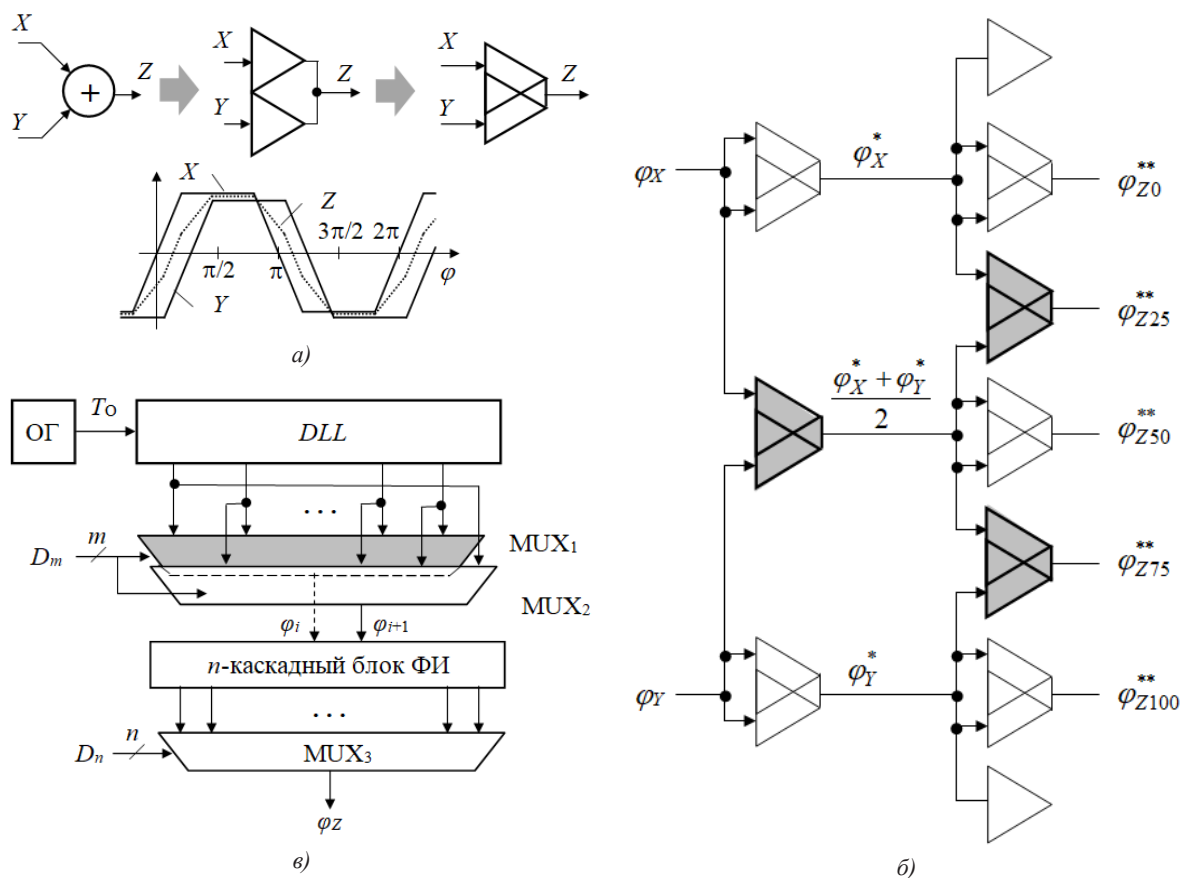


Рисунок 4 – Принцип фазовой интерполяции и построение КГ с блоком интерполяции

Обсуждение. Применение кольцевого генератора импульсов для построения времязадающих устройств дает возможность повысить разрешающую способность по времени без повышения рабочей

частоты за счет организации дополнительной шкалы отсчета времени в пределах опорного периода. Замена однофазного опорного генератора мультифазным аналогом по сути равносильно кратному повыше-

нию опорной частоты, тем большему, чем больше каскадов содержит КГ. Квант времени, который достигается в КГ, равен задержке одиночного вентиля, он может быть доведен до субвентильных значений путем размножения числа фаз КГ с использованием техники фазовой интерполяции. Пределы повышения разрешающей способности устройств задержки при этом ограничиваются двумя факторами – неравномерностью задержек каскадов КГ и фазовыми шумами, которые становятся соизмеримыми с квантом времени. Данные ограничения носят технологический характер и требуют дополнительной проработки при проектировании устройства задержки на кристалле. Если реализация КГ на программируемой вентиляционной матрице не вызывает затруднений, то фазовую интерполяцию ввиду нестандартных соединений компонентов можно осуществить лишь в заказных БИС.

Выводы. Рассмотрен метод повышения точности формирования интервала времени в процессе задержки сигналов с возможностью цифрового управления временем задержки. Предложены технические решения устройств программируемой задержки на основе кольцевого генератора импульсов, позволяющие сократить квант времени без повышения рабочей частоты опорного генератора. Для дальнейшего уменьшения кванта времени до субвентильных значений показана перспективность размножения фаз кольцевого генератора путем фазовой интерполяции, предложены схемные конфигурации каскадных интерполяторов, указаны технологические ограничения метода при интегральном исполнении устройств задержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ратхор, Т.С. Цифровые измерения. ЦАП и АЦП. – М.: Техносфера. 2006. – 392 с.
2. Porat, D.I. Review of sub-nanosecond time interval measurements / D.I. Porat // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 1973. – Vol. NS-20. – No.5. – P. 36-51.
3. Чу, Фергюсон. Генераторы импульсов с разрешением 20 пс. – Электроника. – 1977. – № 23. – С. 25-34.
4. Устройство задержки. Авторское свидетельство СССР №1221722, МПК H03K 5/13, опубли. 30.03.1986 / Чулков В.А.
5. Способ формирования импульса заданной длительности. – Авт. свид. СССР № 1287274, МПК H03K 5/135, 5/04, опубли. 30.01.1987 / Чулков В.А.
6. Hilton, C. Programmable-delay ICs control system timing / C. Hilton, J. Barrow // EDN. – 1988. – February 18 (см. также Analog Devices, Application Note AN-261).
7. Бутаев, М.М. Управляемые КМОП элементы задержки для интерполирующих преобразователей информации / М.М. Бутаев, В.А. Чулков // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 2010. – Вып.5. – С. 130-140.
8. Maymandi-Nejad, M. Digitally Programmable Delay Element: Design and Analysis / M. Maymandi-Nejad, M. Sachdev A. // IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems. – October 2003. – Vol. 11. – N. 5. – P. 871-878.
9. Hadi, D.A. CMOS ring oscillator delay cell performance: a comparative study / D.A. Hadi, A.Z. Jidin, N.Ab Wahab, Madiha Z., Nurliyana Abd Mutalib, Siti Halma Johari, Suziana Ahmad, M. Nuzaimah // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – June 2019. – Vol. 9. – N. 3. – P. 1757-1764.
10. Demartinos A.C. Delay Elements Suitable for CMOS Ring Oscillators / A.C. Demartinos, A. Tsimpos, S. Vlassis, G. Suliotis // Journal of Engineering Science and Technology Review. – 2016. – N. 9 (4). – P. 98-101.
11. Jovanović, G.S. Linear Current Starved Delay Element / Goran S. Jovanović and Mile K. Stojčević // XL International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies/ Serbia and Montenegro, Niš, June 29-July 1, 2005. – Proceedings of Papers. – P. 59-62.
12. Maymandi-Nejad, M. Digitally Programmable Delay Element: Design and Analysis / M. Maymandi-Nejad, M. Sachdev A. // IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems. – October 2003. – V. 11. – N. 5. – P. 871-878.
13. Чулков, В.А. Кольцевые генераторы импульсов в технике передачи и обработки сигналов: монография / В.А. Чулков. – Старый Оскол: ТИТ, 2023. – 240 с.
14. Устройство для формирования интервала времени. – Патент РФ №2173934, Устройство для формирования интервала времени. – Патент РФ №2173934, опубли. 2.09.2001 / Чулков В.А.
15. Garlepp, B.W. A Portable Digital DLL for High-Speed CMOS Interface Circuits / B.W. Garlepp, K.S. Donnelly, J. Kim // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – May 1999. – V. 34. – N. 5. – P. 632-644.
16. Бутаев, М.М. Анализ точности интерполяции опорного периода системой автоподстройки задержки / М.М. Бутаев, В.А. Чулков // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 2010. – вып. 5. – С. 140-148.
17. Maroofee, P. Review of low power digital delay locked loop (DLL) / P. Maroofee, K.N. Minhad, M.B.I. Reaz, N. Kamal, F.H. Hashim // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 20th July 2015. – V. 77. – N. 2. – P. 259-264.
18. Vinayak, U.G. Design and Implementation of Low Power Delay Locked Loop using Multiplexer Based Phase Frequency Detector / U.G. Vinayak, M.B. Veena // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, March 2020. – V. 9. – I. 5. – P. 951-955.
19. Furtado H., Schrader J., Marchioro A., Moreira P. Delay 25 an ASIC for timing adjustment in LHC. – 11th Workshop on Electronics for LHC and future Experiments, 12-16 September 2005, Heidelberg, Germany [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: http://proj-delay25.web.cern.ch/proj-delay25/talks/presentation_heidelberg.pdf (дата обращения 7.09.2023).
20. Toifl T., Vari R. A 4-channel rad-hard delay generator ASIC with 1 ns minimum time step for LHC experiments. – Fourth Workshop on Electronics for LHC Experiments. CERN 1998. Rome, Italy. – 21-25 Sep 1998. – P. 307-310. [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://www.researchgate.net/publication/3136438_4-channel_rad-hard_delay_generation_ASIC_with_ins_timing_resolution_for_LHC (дата обращения 7.09.2023).
21. Чулков, В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации / В.А. Чулков. – М.: Физматлит, 2010. – 324 с.

Статья поступила в редакцию 23.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.45:613.6

EDN: IOBMST

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПО
МЕТОДИКЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 5350-3579

AuthorID: 689956

ORCID: 0000-0002-8325-1598

ScopusID: 57204675457

БОГДАНОВ Андрей Владимирович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
(454080, Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: avbogdanov@susu.ru)*

SPIN: 9982-1802

AuthorID: 1159356

ScopusID: 57223200484

ФИЛИППОВ Александр Николаевич, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
(454080, Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: filalekunik@mail.ru)*

Аннотация. Для оценки условий труда всё чаще используются показатели профессионального риска. Работодатель вправе использовать любые способы и методы для определения профессионального риска работников, и проводить оценку профессиональных рисков самостоятельно или с привлечением сторонних организаций, что требует определённых затрат. На кафедре Безопасности жизнедеятельности (БЖД) Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) была предложена оценка профессионального риска на основе анализа производственно обусловленной заболеваемости, в которой используется норматив потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности. По сравнению с широко используемыми методиками, данная методика менее трудоёмка и, как следствие, имеет более низкую стоимость. В статье приводится сравнительная оценка стоимости проведения работ по определению профессионального риска по методике интегральной оценки условий труда с традиционными методами на примере метода Файна-Кинни. Сравнение проводится с помощью методики расчета стоимости проектных, научных, нормативно-методических, и других видов работ (услуг). Приведены результаты расчётов. Сделан вывод о том, что стоимость проведения оценки профессионального риска в несколько раз ниже, по сравнению с методом Файна-Кинни.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, оценка стоимости услуг, интегральная оценка условий труда.

**ECONOMIC EVALUATION OF OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT VIA THE METHOD
OF INTEGRAL ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS**

© The Author(s) 2023

BOGDANOV Andrey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the Department of Life Safety
South Ural State University (National Research University)

(454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin prospekt, 76, e-mail: avbogdanov@susu.ru)

FILIPPOV Alexander Nikolaevich, post-graduate student department of Life Safety

South Ural State University (National Research University)

(454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin prospekt, 76, e-mail: filalekunik@mail.ru)

Abstract. To assess the working conditions of employees of organizations, occupational risk indicators are used. Employers have the right to use any methods to assess the occupational risk of employees. They can do it on their own or with the involvement of third parties, which requires certain costs. The Department of Life Safety of the South Ural State University has developed a methodology for assessing occupational risk, which uses an integral assessment of working conditions based on the standard for lost working time from morbidity with temporary disability. Compared to traditional methods, this method is less labor intensive and, as a result, has a lower cost. The article provides a comparative assessment of the cost of carrying out work to determine occupational risk using the method of integral assessment of working conditions with the Fine-Kinney method. The comparison is carried out using the methodology for calculating the cost of design, scientific, regulatory and methodological, and other types of work (services). The results of calculations are presented. It is concluded that the cost of professional risk assessment is several times lower compared to the Fine-Kinney method.

Keywords: occupational risk assessment, assessment of the cost of services, integral assessment of working conditions.

Для цитирования: Богданов А.В. Экономическая оценка определения профессионального риска по методике интегральной оценки условий труда // А.В. Богданов, А.Н. Филиппов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 112-115. – EDN: IOBMST.

Введение. Для оценки условий труда всё чаще используются показатели профессионального риска [1-6]. Это предусмотрено как Трудовым кодексом РФ [7], так и Рекомендациями по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков [8]. В соответствии с данными Рекомендациями организации для определения профессионального риска работников вправе использовать любые способы и методы, и даже собственные методы оценки, исходя из специфики своей деятельности [8]. Причем оценку профессиональных рисков можно проводить самостоятельно или с привлечением сторонних организаций. Проведение оценки требует определённых затрат, что также следует учитывать при выполнении данных работ.

В настоящее время наиболее распространены матричный метод, метод Файна-Кинни, а также их модификации. По трудовым затратам эти методы примерно одинаковы, и стоимость предлагаемых услуг с применением данных методов, как правило, одна и та же.

На кафедре Безопасности жизнедеятельности (БЖД) Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) была предложена оценка профессионального риска на основе анализа производственно обусловленной заболеваемости, в которой используется норматив потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности. Данная методика позволяет учесть совокупное воздействие на организм людей опасных и вредных производственных факторов, которое вызывает производственно обусловленную заболеваемость [9]. Производственно обусловленная заболеваемость вычисляется помощью специально разработанного программного обеспечения и, в конечном итоге, переводится в категории профессионального риска. Помимо определения оценки профессионального риска индивидуально для каждого работника, методика позволяет определять категории риска для всей организации в целом, структурного подразделения, и, вообще, для любой группы работников, выделенной по какому-либо признаку.

Данная методика по сравнению с традиционными методами оценки профессионального риска менее трудоёмка и, как следствие, имеет более низкую стоимость.

Целью данной статьи является сравнительная оценка стоимости проведения работ по определению профессионального риска по методике интегральной оценки условий труда с традиционными методами оценки.

Методология. Методика на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности объективно оценивает профессиональный риск работников организации [9, 10, 11]. Кроме того, она позволяет снизить стоимость проведения работ по сравнению с другими методами.

Для подтверждения этого необходимо провести сравнительный расчёт стоимости проведения работ по данной методике с наиболее применяемым традиционным методом. Проведённый нами анализ предложенных организаций, предоставляющих услуги по проведению оценки профессионального риска, показал, что в настоящее время широкое распространение получил метод Файна-Кинни и его модификации [12, 13]. Также часто используется матричный метод [14, 15], сопоставимый по стоимости с методом Файна-Кинни. Поэтому для сравнительной оценки в качестве традиционного метода был выбран метод Файна-Кинни.

Оценить стоимость проведения работ можно, взяв за основу методику расчета стоимости проектных, научных, нормативно-методических, и других видов работ (услуг) [16], внося необходимые изменения с учётом специфики оценки профессионального риска.

На основе трудозатрат можно рассчитать цену проведения работ по следующей формуле:

$$C = V_{\text{ср.дн.}} \cdot T_{\text{общ}} \cdot \chi_{\text{общ}} \cdot K_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где C – цена проведения работы по оценке профессионального риска, руб.;

$V_{\text{ср.дн.}}$ – среднеедневная единичная выработка одного непосредственного исполнителя, руб.;

$T_{\text{общ}}$ – общая продолжительность выполнения работы, дней;

$\chi_{\text{общ}}$ – общая численность непосредственных исполнителей, чел.;

$K_{\text{кв}}$ – коэффициент, учитывающий степень участия исполнителей различной квалификации при оценке профессионального риска.

В выражении (1) используется показатель $V_{\text{ср.дн.}}$, который можно определить по выражению (2):

$$V_{\text{ср.дн.}} = \frac{3\Pi_{\text{ср.}}(1+P)}{K_3}, \quad (2)$$

где $3\Pi_{\text{ср.}}$ – среднеедневная заработная плата, руб.;

P – уровень рентабельности (принимается $P = 10\%$ [10]);

K_3 – коэффициент, учитывающий долю зарплаты в себестоимости (принимается $K_3 = 0,4$ [16]).

Среднеедневная заработная плата принимается исходя из месячной заработной платы. Месячную заработную плату примем на уровне двух минимальных размеров оплаты труда (МРОТ). Например, в 2023 году в Челябинской области МРОТ с учетом уральского районного коэффициента (15%) составлял 18 678,3 рублей. В среднем количество рабочих дней в месяце примем равным 22. Тогда среднеедневная заработная плата составит 1698,03 руб./дн. Подставив данное значение и значения показателей P и K_3 в формулу (2), получим, что среднеедневная единичная выработка составит 4669,6 руб. ($V_{\text{ср.дн.}} = 4669,6$ руб.).

При расчёте по формуле (1) нужно знать значение коэффициента $K_{\text{кв}}$. Этот коэффициент характеризует уровень вклада специалистов различной квалифика-

ции в процесс оценки. Значение данного коэффициента можно определить по следующему выражению:

$$K_{\text{кв}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\text{фи}}^i}{T_{\text{общ}}} \cdot \text{Ч}_i \cdot I_i \right)}{\text{Ч}_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где I_i – индекс квалификации исполнителей;

Ч_i – численность исполнителей одинаковой квалификации, чел.;

$T_{\text{фи}}$ – фактическое время работы исполнителей одинаковой квалификации, дней.

Индекс квалификации исполнителей задаётся согласно таблице, приведённой в [16]. Тогда, например, при проведении оценки профессионального риска можно принять: для руководителя группы $I_i = 1,3$; для ведущего специалиста $I_i = 1,0$; для специалиста $I_i = 0,9$.

Перед сравнением стоимости проведения работ необходимо отметить ряд особенностей. Во-первых, вне зависимости от выбранного традиционного метода, процесс оценки профессионального риска можно условно разделить на два этапа: идентификацию опасностей и оценку вероятности причинения вреда работникам вследствие возникновения этих опасностей. При этом, разработанная на кафедре БЖД ЮУрГУ методика позволяет оценить вероятности причинения вреда напрямую без предварительной идентификации опасностей. Данная идентификация производится при дальнейшей работе с предприятием.

Во-вторых, стоимость оценки профессионального риска на одном рабочем месте традиционными методами может зависеть от множества факторов: сфера деятельности предприятия, количество рабочих мест и их удалённость друг от друга и пр. Причём окончательная стоимость оценки профессионального риска, как правило, устанавливается в индивидуальном порядке. Трудоёмкость методики, предлагаемой кафедрой БЖД ЮУрГУ, и, как следствие, стоимость оценки не зависит ни от сферы деятельности, ни от количества рабочих мест. На трудоёмкость может влиять количество работников в организации. Более того, особенностью данной методики является то, что она позволяет непосредственно при расчётах выявить структурные подразделения с повышенным риском, что может значительно сократить объём дальнейшей работы по установлению причин повышенного риска.

Несмотря на существенные отличия в проведении оценки профессионального риска разными методами сравнение стоимости проведения работ можно провести с некоторыми допущениями.

Рассмотрим процесс проведения оценки с помощью методики на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости. Будем считать, что для выполнения работ в организации с количеством работников 1000 человек достаточно 2 исполнителей: руководитель группы и ведущий специалист.

На ввод информации, полученной от предприятия, её обработку, исправление ошибок и несоответствий формату, в том числе при составлении отчёта по оценке профессионального риска, у ведущего специалиста

уходит около 10 дней.

На заключение договора о проведении оценки профессионального риска, уточнение информации в случае обнаружения противоречий или ошибок в исходных данных, составление отчёта с рекомендациями по улучшению условий труда и передачу отчёта заказчику у руководителя группы уходит также 10 дней.

Поэтому, если руководитель группы и ведущий специалист выполняют работу параллельно, то общая продолжительность оценки профессионального риска по методике на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости составит 10 дней. Тогда величину коэффициента $K_{\text{кв}}$, учитывающего степень участия исполнителей различной квалификации, можно рассчитать по формуле (3) при общей продолжительности процесса 10 дней, количестве исполнителей 2 человека, фактическом времени работы каждого исполнителя 10 дней и индексах квалификации (для руководителя группы $I_i = 1,3$; для ведущего специалиста $I_i = 1,0$).

Что касается традиционной оценки профессионального риска, то в общем случае процесс оценки по методу Файна-Кинни состоит из следующих этапов:

- 1) идентификация опасностей;
- 2) оценка вероятностей возникновения опасностей;
- 3) оценка степени подверженности каждой опасности на работников;
- 4) определение категорий профессиональных рисков с помощью коэффициентов;
- 5) разработка рекомендаций предприятию и составление отчёта.

Пункты 1-3 могут выполняться одновременно по каждому рабочему месту. Предположим, что в процессе оценки используется специальное программное обеспечение, в таком случае пункт 4 автоматизирован.

Допустим, что оценку проводят 3 специалиста (руководитель группы, ведущий специалист и специалист). В течение одного дня они могут провести проверку на 40-45 рабочих местах. Предположим, что в организации с количеством работников 1000 человек идентифицировано 850 рабочих мест. Тогда для предприятия с 850 рабочими местами проверка займёт около 20 дней. Ввод информации, определение категорий профессиональных рисков, составление отчёта и разработка рекомендаций предприятию займёт примерно 10 дней. То есть общая продолжительность оценки составит 30 дней. Тогда величину коэффициента $K_{\text{кв}}$ можно рассчитать по формуле (3) при общей продолжительности процесса 30 дней, количестве исполнителей 3 человека, фактическом времени работы каждого исполнителя 30 дней и индексах квалификации (для руководителя группы $I_i = 1,3$; для ведущего специалиста $I_i = 1,0$; для специалиста $I_i = 0,9$).

Результаты. Результаты расчётов по формулам (1-3) для методики на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости и метода Файна-Кинни приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методик

Показатели	Оценка по методике на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости	Оценка по методу Файна-Кинни
Среднедневная единичная выработка, руб.	4669,6	4669,6
Продолжительность работ, дней	10	30
Число исполнителей, чел.	2	3
Коэффициент, учитывающий степень участия исполнителей	1,15	1,06
Цена проведения работы, руб.	107400	445480

Обсуждение. Из таблицы 1 видно, что стоимость работ по методике на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости ниже почти в 4 раза.

Проведённый анализ предложений на рынке показал, что минимальная стоимость оценки одного рабочего места по методу Файна-Кинни в среднем составляет 500 руб. Тогда для 850 рабочих мест общая стоимость проведения оценки составит 425000 руб., что сравнимо с результатом, приведенным в таблице 1.

Выводы. С помощью методики [16] была рассчитана стоимость проведения оценки профессионального риска с применением интегральной оценки условий труда на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности, а также стоимость оценки профессионального риска традиционными методами (на примере методики Файна-Кинни).

Сравнение результатов расчёта показало, что стоимость проведения оценки профессионального риска по методике, предлагаемой кафедрой БЖД ЮУрГУ, в 4 раза ниже по сравнению с традиционными методами, в частности, с методом Файна-Кинни. Таким образом, стоимость проведения оценки профессионального риска по методике на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности в несколько раз ниже, по сравнению с традиционными методами, что также подтверждает целесообразность её применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Бахонина, Е.И. Обзор изменений в законодательстве, устанавливающем требования к оценке профессиональных рисков на предприятии / Е.И. Бахонина, В.А. Насибуллина // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 2. – С. 31-35. – DOI 10.23947/2541-9129-2022-2-31-35.
- Тарасов, А.Д. Методы оценки профессиональных рисков / А.Д. Тарасов, З.Н. Монахова // Вестник науки. – 2023. – Т. 4. – № 1(58). – С. 75-80.
- Исмагилова, Р.С. Анализ методов оценки профессиональных рисков, применяемых в отраслях с высоким воздействием вредных и (или) опасных производственных факторов / Р.С. Исмагилова, И.В. Вдовина // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2023. – № 1(27). – С. 109-115.
- Методы оценки условий и безопасности труда в организациях / И.Н. Кравченко, Е.В. Кулакова, И.В. Алибекова [и др.] // Технический сервис машин. – 2023. – № 1(150). – С. 48-56. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-48-56.
- Сакова, Н.В. Анализ профессиональных рисков как инструмент повышения безопасности труда на малых предприятиях / Н.В. Сакова // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Сборник докладов Четвертой Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 214-218.
- Филиппов, А.Н. Методы оценки профессионального риска / А.Н. Филиппов // Безопасность жизнедеятельности

глазами молодежи: Сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т., Челябинск, 22-23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); Управление по научной и инновационной деятельности; Кафедра безопасности жизнедеятельности. Том 1. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – С. 129-131.

7. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 дек. 2001 г. № 197-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 15.06.2023).

8. Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: приказ Минтруда России от 28 дек. 2021 г. № 926. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=411523> (дата обращения: 15.06.2023).

9. Сидоров А.И., Богданов А.В., Медведева Ю.В., Филиппов А.Н., Млоток А.В. Определение профессионального риска работников на предприятии электроэнергетики // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 8. – С. 76-81.

10. Определение профессионального риска с помощью методики интегральной оценки условий труда / А.И. Сидоров, А.В. Богданов, Ю.В. Медведева, А.Н. Филиппов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 88-93. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-3-88-93

11. Богданов, А.В. Определение производственно обусловленной заболеваемости работников / А.В. Богданов, А.Н. Филиппов, Ю.В. Медведева // Техносферная безопасность: сборник научных трудов кафедры безопасности жизнедеятельности / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Кафедра безопасности жизнедеятельности. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 20-22.

12. Каракеян, В.И. Оценка профессиональных рисков в технологических помещениях на предприятии микроэлектроники / В.И. Каракеян, Н.Р. Харламов, А.С. Рябышенков // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2021. – Т. 26. – № 3-4. – С. 265-272. – DOI 10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-265-272.

13. Рябышенков, А.С. Мониторинг профессиональных рисков на промышленном предприятии / А.С. Рябышенков, Н.Р. Харламов, В.И. Каракеян // Приборы. – 2021. – № 8(254). – С. 29-33.

14. Будаев, А.А. Матричный метод оценки уровней профессиональных рисков на ПТОЛ / А.А. Будаев, Д.В. Наумов // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Оренбург, 21-22 апреля 2022 года / Самарский государственный университет путей сообщения, Оренбургский институт путей сообщения. – Оренбург: Оренбургский институт путей сообщения – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения", 2022.

15. Полунина, А.А. Применение матричного метода оценки профессиональных рисков работников нефтегазовой отрасли / А.А. Полунина, А.Т. Волохина // Вестник науки. – 2023. – Т. 3. – № 5(62). – С. 685-691.

16. Методика расчета стоимости проектных, научных, нормативно-методических и других видов работ (услуг) на основании нормируемых трудозатрат. МРР-9.1.02-18 URL: <https://docs.cntd.ru/document/554579324> (дата обращения: 15.06.2023).

Статья поступила в редакцию 04.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 614.8

EDN: IYOVNP

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7092-6913

AuthorID: 967939

ORCID: 0000-0003-0141-1998

ScopusID: 57208213064

ФРОЛОВА Нина Анатольевна, доктор технических наук,

доцент, профессор кафедры «Инжиниринга технологического оборудования»

Калининградский государственный технический университет

(236022, Российская Федерация, г. Калининград, пр-т. Советский 1, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Аннотация. Повышение пожарной безопасности зданий является перспективным современным направлением, требующим системного подхода. Тенденция в проектировании пожарной безопасности при строительстве изменилась в течение последнего десятилетия благодаря разработке принципов проектирования зданий, основанных на прогнозировании роста пожара с учетом высоты пламени, передачи тепла от источника огня, поведении материалов при пожаре и т. д. [1, 2]. Пенополиуретаны в основном используются при производстве мягкой мебели, для изоляции резервуаров и труб, утеплителя для сэндвич-панелей, звукоизоляции и др. Известно, что пенополиуретан более безопасен, чем другие виды утеплителей [3]. В статье рассмотрены механизмы горения образцов пенополиуретана после теплового воздействия до 500°C в атмосфере азота и воздуха. Настоящее исследование посвящено химии процесса разложения: изменения твердой фазы анализируются вместе с выделением газовых частиц. Результаты сканирующей электронной микроскопии свидетельствуют о различных структурах одного и того же образца в различных условиях. По механизму разложения и измерениям выделения газа можно утверждать, что кислород запускает реакцию обоих компонентов молекулы пенополиуретана одновременно (полиола и изоцианата). Однако, изоцианат менее термически стабилен, он выделяется при более низкой температуре.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пенополиуретан, изображения, разложение.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF BEHAVIOR THERMAL INSULATION MATERIALS WHEN EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

©The Author(s) 2023

FROLOVA Nina Anatolyevna, doctor of technical sciences, associate professor,

professor of the department of «Engineering of Technological Equipment»

Kaliningrad State Technical University

(236022, Russian Federation, Kaliningrad, Sovetsky Ave. 1, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Abstract. Improving the fire safety of buildings is a promising modern direction that requires a systematic approach. The trend in fire safety design in construction has changed over the past decade due to the development of building design principles based on predicting the growth of a fire, taking into account the height of the flame, heat transfer from the fire source, the behavior of materials in a fire, etc. [1, 2]. Polyurethane foams are mainly used in the production of upholstered furniture, for insulating tanks and pipes, insulation for sandwich panels, sound insulation, etc. It is known that polyurethane foam is safer than other types of insulation [3]. The article discusses the mechanisms of combustion of polyurethane foam samples after thermal exposure to 500°C in an atmosphere of nitrogen and air. The present study is devoted to the chemistry of the decomposition process: changes in the solid phase are analyzed together with the release of gas particles. The results of scanning electron microscopy indicate different structures of the same sample under different conditions. According to the decomposition mechanism and measurements of gas evolution, it can be argued that oxygen triggers the reaction of both components of the polyurethane foam molecule simultaneously (polyol and isocyanate). However, isocyanate is less thermally stable and is released at a lower temperature.

Keywords: fire safety, polyurethane foam, images, decomposition.

Для цитирования: Фролова Н.А. Морфологические особенности поведения теплоизоляционных материалов при воздействии высоких температур // Н.А. Фролова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 116-119. – EDN: IYOVNP.

Введение. Жесткие пенополиуретаны широко используются во многих областях строительства в качестве изоляционных материалов благодаря высокой прочности, низкой теплопроводности,

удобству изготовления и экономической эффективности. Чистый жесткий пенополиуретан легко воспламеняется и быстро диффундирует во время горения [4-7]. Для снижения риска возникновения

несчастных случаев, связанных с возникновением пожаров необходимо детальное исследование поведения строительных материалов при пожаре [8].

Полиуретаны являются одним из распространенных строительных материалов, которые имеют высокую воспламеняемость. Продукты горения полиуретанов очень токсичны (например, NH_3 , NO , H_2CO , CO , и др. [9-11]. Горение и скорость разложения твердых веществ представляют собой автокаталитический процесс [12-14]. Тепло, выделяемое пламенем, увеличивает уровень излучения по направлению к твердому телу, а увеличение уровня излучения увеличивает скорость термического разложения твердого тела. Данные превращения увеличивают скорость реакции и интенсивность пламени, что способствует росту огня [15-18]. На рост огня также влияют внешние тепловые потери и потери внутри твердой матрицы. Другими словами, продукты пиролиза представляют собой горючие соединения с высокой химической энергией, которые преобразуются в тепло в области пламени [19-20].

Методология. Целью исследований явился морфологический анализ строения полиуретана при тепловом воздействии.

Объектами исследований в работе явились образ-

цы пенополиуретана после теплового воздействия до $500^\circ C$ в атмосфере азота и воздуха. Методом исследований явилась визуальная характеристика, выполненная в различных масштабах с помощью бинокулярных изображений и сканирующей электронной микроскопии. Бинокулярные изображения были получены со структуры первичной пены и остатков, оставшихся после нагрева до $500^\circ C$ при помощи камеры *Leica M3Z* с максимальным увеличением 260X.

Результаты. Снимки с помощью сканирующей электронной микроскопии были сделаны для двух типов продуктов горения полиуретана: образцов горения в атмосфере воздуха и азота. На рисунке 1 представлены изображения полиуретана в нормальном состоянии. Изображение слева представляет общую морфологию образца, а изображение справа, представляя внутреннюю морфологию образца.

Анализируя полученные данные было установлено, что первоначальная структура полиуретана правильная и представляет собой очень тонкие «пленки». При разогреве и разложении полиуретана образуются неровности поверхности основных (наиболее крупных) ветвей кристаллической решетки (рис. 2).

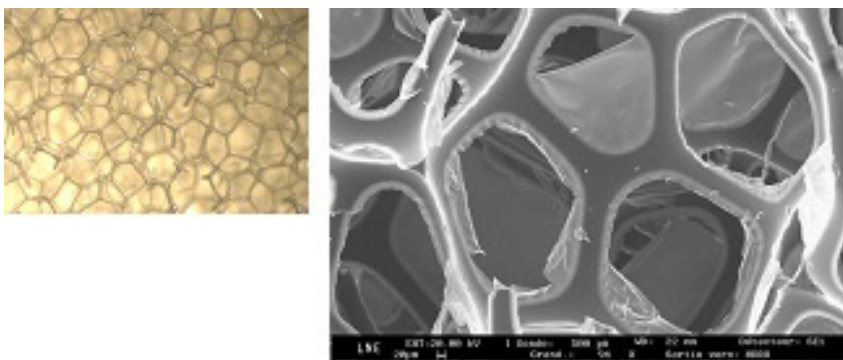


Рисунок 1 – Микроскопия полиуретана в нормальном состоянии

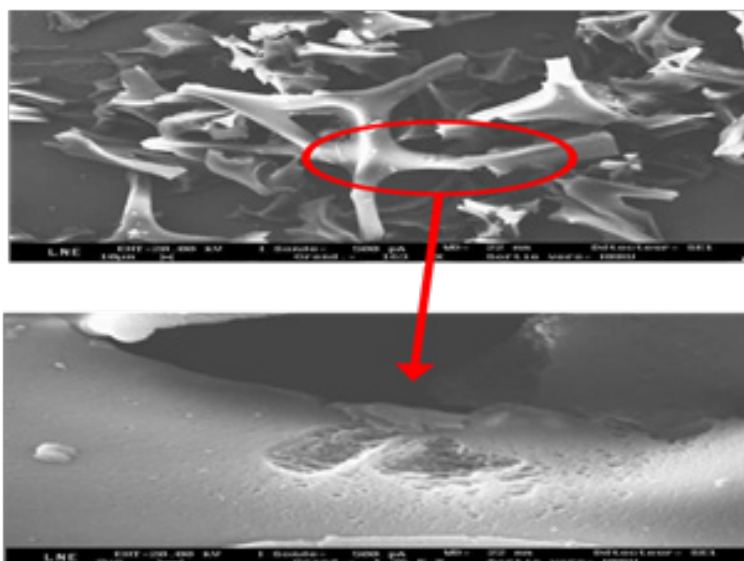


Рисунок 2 – Дефекты поверхности, вызванные в основных ответвлениях полиуретановой пены при повышении температуры до $500^\circ C$ в воздушной атмосфере

Следующим этапом работы явилось исследование параметров поверхности полиуретановой пены, находящейся в твёрдой конструкции разложенных под воздействием температуры до 500°C в атмосфере азота и воздушной среды (рис. 3).

Полученные результаты свидетельствуют, что тепловая атака напрямую влияет на все основные ветви твердой конструкции. Однако следы от нагрева неоднородны на всех остаточных поверхностях. Если рассматривать процесс горения в атмосфере азота и воздуха, следует отметить разницу полученных изображений. В атмосфере азота

наблюдаются твердые структуры, неправильной пузырчатой формы в виде «обломков», которые представляют собой группы термостабильных молекул, присутствующих в структуре пены. Образование неправильной пузырчатой формы в виде «обломков» связано с процессом затвердения менее термически стабильных молекул первичного полиуретана при переходе из твердого состояния в жидкое.

В соответствии с механизмом разложения полиуретана, твердое вещество представляет собой смесь остатка изоцианата и остатка полиола.

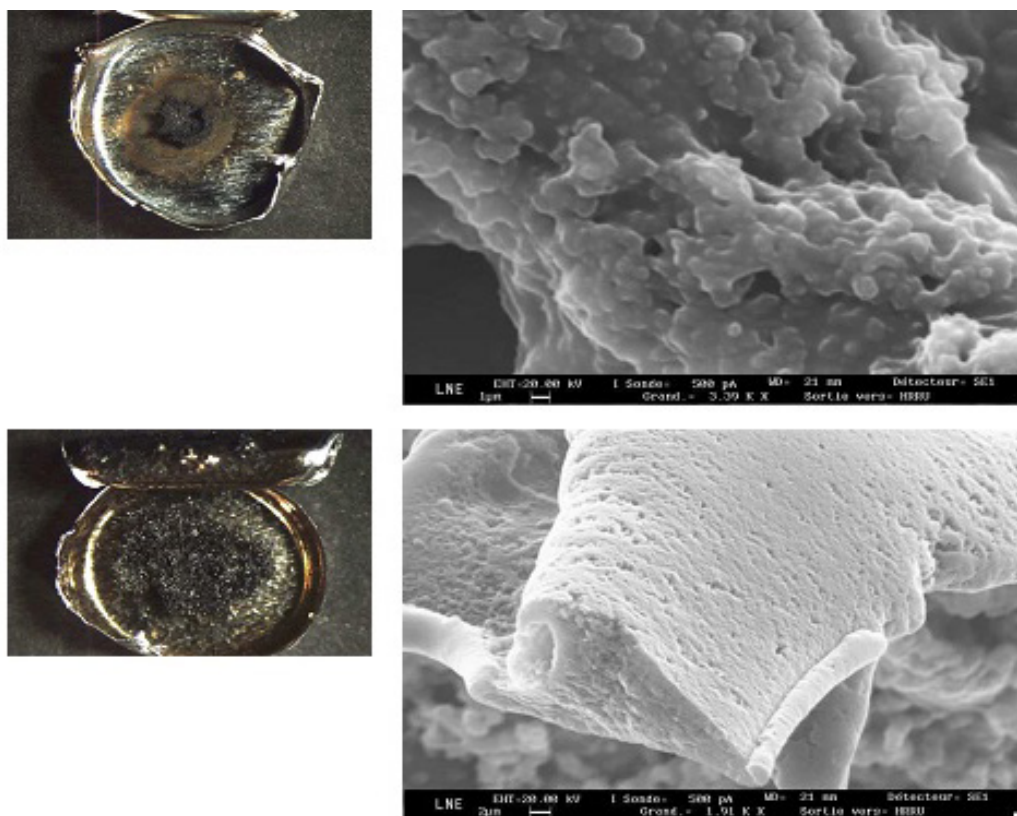


Рисунок 3 – Образцы полиуретановой пены полученные в результате горения до 500°C в атмосфере азота (сверху) и воздуха (снизу)

Обсуждение. Результаты проведенных исследований морфологических особенностей поведения полиуретановой пены при температурном воздействии позволили установить, что продукты горения полиуретановой пены в воздушной среде более правильной и гладкой формы, чем при горении в атмосфере азота. Основные ветви молекул в данном случае представляют собой следы термической атаки, которые можно охарактеризовать как микроотверстия и кратеры. Эти отклонения вызваны увеличением давления в основной ветви и последующим переломом структуры. При переломе происходит высвобождение горючего газа, который вступает в реакцию с кислородом. По механизму разложения и измерениям выделения газа можно утверждать, что кислород запускает реакцию обоих компонентов молекулы одновременно (полиола и изоцианата).

Так как, изоцианат менее термически стабилен, его выделение происходит при более низких температурах. Высокая реакционная способность кислорода с обоими компонентами полиуретановой пены (полиолом и изоцианатом) способствует протеканию интенсивных реакций на их поверхности, а не в центре кристаллической решетки. Таким образом, присутствие кислорода в процессе горения и режим теплопередачи влияют на кинетику разложения полиуретановой пены, но механизм разложения остается неизменным. Наблюдаются две стадии термического разложения полиуретановой пены: первая – это разрушение молекул полиуретановой пены, которое способствует высвобождению изоцианата, пиролизу; вторая – окисление полиола.

Выводы. Жесткие пенополиуретаны широко используются во многих областях строительства

в качестве изоляционных материалов благодаря высокой прочности, низкой теплопроводности, удобству изготовления и экономической эффективности. Чистый жесткий пенополиуретан легко воспламеняется и быстро диффундирует во время горения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для эффективного использования пенополиуретанов в качестве строительных и теплоизоляционных материалов с целью снижения их пожарной безопасности необходимо дополнительное использование огнезащитных составов.

Так, реактивные антипирены повышают огнестойкость жестких пенополиуретанов, однако при их добавлении в процессе горения выделяется больше дыма. В таком случае, пожарную и дымовую безопасность пенополиуретанов возможно повысить за счет одновременного использования антипиренов и дымоглушителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фролова Н.А. Методологический подход и технико-экономическое обоснование пожарной безопасности на предприятиях Амурской области // – Благовещенск: Амурский государственный университет. 2021. – 107 с.
2. Яковлева А.Е., Забелкин С.А., Башкиров В.Н., Получение полиуретановой пены и исследование ее плотности и пенообразующей способности в зависимости от содержания жидкости // Воронежский научно-технический Вестник. – 2014. – Т. 3. – № 3(9). – С. 102-105.
3. Власов Р.Р., Рябова Д.И., Краснов О.В. Исследование влияния малых количеств, модифицированных триэтаноламином многослойных углеродных нанотрубок на свойства полиуретановых композиционных пен // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2022. – № 5(264). – С. 66-70.
4. Aldoghaim E. Untersuchungen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk durch Elastomerlagger // Mauerwerk. – 2012. – № 16. – pp. 93-102.
5. Jevtic R.B. Safety in residential buildings evacuation from residential buildings without fire escape stairs // Military Technical Courier. – 2021. – Vol. 69. – N. 1. – P. 148-178.
6. Andriyenko N.V., Hamann P.I. Analysis of existing methods in the implementation of public fire security management // Публічне урядування. – 2018. – № 2 (12). – P. 54-67.
7. Borisov A V. Analysis of the features of the mechanisms of public regulation of fire safety in the world scientific opinion // Публічне урядування. – 2020. – № 3(23). – P. 34-48.
8. Фролова Н.А. Анализ несчастных случаев в промышленных секторах Дальневосточного региона и пути решения проблемы безопасности // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2022. – № 2. – С. 101-104.
9. Чижиков Э.Н. Пожарная безопасность как основа безопасности жизнедеятельности // Credo New. – 2019. – № 2(98). – С. 1.
10. Яковлева А.А. Пожарная безопасность, как концепция национальной безопасности Российской Федерации // Моя профессиональная карьера. – 2020. – Т. 2. – № 13. – С. 102-104.
11. Антонченко В.В. Проблемы профилактической работы в сфере обеспечения пожарной безопасности // Актуальные проблемы российского права. – 2019. – № 1(98). – С. 73-79.
12. Бабкин С.А., Воронин М.А. Особенности разработки и функционирования комплексных систем пожарной безопасности // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 429-432.
13. Саядян Д.А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности предприятий по обслуживанию людей // Студенческий вестник. – 2021. – № 18-7(163). – С. 78-81.
14. Теличенко В.И., Ройтман В.М. Анализ причин и последствий крупных чрезвычайных ситуаций с целью обеспечения комплексной безопасности зданий и сооружений // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 1. – С. 72-84.
15. Евграфов Д.С., Аксенов С.Г. Обеспечение пожарной безопасности на предприятиях // Студенческий форум. – 2022. – № 13-2(192). – С. 53-54.
16. Подгорный Д.Д., Пронская Д.А., Бондаренко М.А. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2(9). – С. 284-287.
17. Денисов И.П. Метод разработки критериев для управления пожарной безопасностью крупномасштабных массовых мероприятий // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 3(93). – С. 8-18.
18. Щеткина О.В. Пожарные риски или разработка и исследование системы управления пожарной безопасностью // Трибуна ученого. – 2021. – № 9. – С. 60-63.
19. Доржиев Д.А., Лебедева В.А., Скоблечкая О.В. Пожарная безопасность на производстве // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2022. – Т. 2. – С. 208-210.
20. Войтенко О.В., Шкитронов М.Е. Обучение мерам пожарной безопасности с учетом новых правил противопожарного режима // Наукосфера. – 2021. – № 10-2. – С. 117-120.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.45

EDN: LSNMMO

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ КОНСТРУИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ
ЗАЩИТЫ ОРГАНА СЛУХА ГОРНОРАБОЧИХ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7118-6516

AuthorID: 423152

ORCID: 0000-0001-7428-5318

ScopusID: 6602615733

РУДАКОВ Марат Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры Безопасности производств
Санкт-Петербургский горный университет

(199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2, e-mail: Rudakov_ML@pers.spmi.ru)

SPIN: 7055-8651

AuthorID: 359899

ScopusID: 6505955446

КУКЛИН Денис Александрович, доктор технических наук,
профессор кафедры Экология и производственная безопасность

*Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
(190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д.1, e-mail: kda1969@mail.ru)*

SPIN: 1738-6264

AuthorID: 969408

ORCID: 0000-0001-8648-3267

ScopusID: 58244956400

КУРЬЕРОВ Николай Николаевич, кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник ФГБНУ «НИИ МТ»

*Научно-исследовательский институт медицины труда
(105275, г. Москва, пр-т Буденного, д. 31, e-mail: courierov@mail.ru)*

SPIN: 9741-7412

AuthorID: 1076535

ORCID: 0000-0003-3498-1719

ScopusID: 57339607100

ДУКА Никита Евгеньевич, аспирант кафедры Безопасности производств
Санкт-Петербургский горный университет

(199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2, e-mail: duka.nikita996@mail.ru)

Аннотация. В данной работе представлены основные научные труды, посвященные изучению акустических свойств различных материалов, которые возможно применять в конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха горнорабочих. Отмечены основные частотные диапазоны, воздействие которых провоцирует возникновение нейросенсорной тугоухости у работников. На основании полученных данных сделан вывод, что вопрос выбора и разработки оптимального звукопоглощающего материала остается актуальным на сегодняшний день. Отсюда следует цель работы – экспериментальное измерение свойств звукопоглощения и определения коэффициента звукопоглощения высокочастотном диапазоне (от 2000 Гц до 6000 Гц) акустического пенополиуретана SPG 2540, акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 и вспененного пенополиуретана Бипласт 10К. В соответствии с методикой ISO 10534-2 на экспериментальном стенде с использованием трубы Кундта были выполнены серии измерений и определены коэффициенты звукопоглощения. Исходя из полученных данных, сделан вывод о непригодности однослойных структур при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха. Определены перспективные материалы для создания многослойной структуры с высокой эффективностью звукопоглощения.

Ключевые слова: производственный шум, средства индивидуальной защиты органов слуха, профессиональное заболевание, шумозащита, угольная промышленность, звукопоглощение, пористые материалы.

**EXPERIMENTAL STUDY OF SOUND-ABSORBING PROPERTIES OF MATERIALS IN ORDER TO
DESIGN PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR THE HEARING ORGAN OF MINERS**

©The Author(s) 2023

RUDAKOV Marat Leonidovich, doctor of technical sciences, professor of the Department of Industrial Safety
St. Petersburg Mining University

(199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line, 2, e-mail: Rudakov_ML@pers.spmi.ru)

KUKLIN Denis Alexandrovich, doctor of technical sciences,
professor of the Department of Ecology and Industrial Safety

*Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov
(190005, St. Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1, e-mail: kda1969@mail.ru)*

KURYEROV Nikolay Nikolaevich, candidate of biological sciences,
leading researcher of the FGBNU "Research Institute of MT"
Research Institute of Occupational Medicine

(31 Budennogo Ave., Moscow, 105275, e-mail: courierov@mail.ru)

DUKA Nikita Evgeniovich, postgraduate student of the Department of Industrial Safety
Saint Petersburg Mining University

(199106, Saint Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line, 2, e-mail: duka.nikita996@mail.ru)

Abstract. This paper presents the main scientific works devoted to the study of the acoustic properties of various materials that can be used in the design of personal protective equipment for the hearing organ of miners. The main frequency ranges are noted, the impact of which provokes the occurrence of sensorineural hearing loss in workers. Based on the data obtained, it is concluded that the issue of choosing and developing the optimal sound-absorbing material remains relevant today. Hence, the aim of the work is to experimentally measure the sound absorption properties and determine the sound absorption coefficient in the high frequency range (from 2000 Hz to 6000 Hz) of acoustic polyurethane foam CNG 2540, acoustic membrane Zvukol VEM 2 and foamed polyurethane foam Biplast 10K. In accordance with the ISO 10534-2 methodology used in combination with the study of the Kundt pipe, extended series of measurements and determinations of the sound absorption coefficient were obtained. Based on the data obtained, a conclusion is made about the unsuitability of single-layer structures in the design of personal protective equipment for the hearing organ. Promising materials for creating a multilayer structure with high sound absorption efficiency have been identified.

Keywords: industrial noise, personal hearing protection equipment, occupational disease, noise protection, coal industry, sound absorption, porous materials.

Для цитирования: Рудаков М.Л. Экспериментальное изучение звукопоглощающих свойств материалов в целях конструирования средств индивидуальной защиты органа слуха горнорабочих / М.Л. Рудаков, Д.А. Ку克林, Н.Н. Курьеров, Н.Е. Дука // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 120-126. – EDN: LSNMMO.

Введение. Шумовая патология занимает лидирующее положение среди профессиональных заболеваний во всех экономически развитых странах Европы: в Германии – 35,5%, Финляндии – 34,1%, Норвегии – 61,4%, России – 37,1%. Например, ежегодно в Финляндии устанавливается около 2000 случаев заболевания [1, 2]. Все это и определяет высокую медицинскую и социально-экономическую значимость данной проблемы для экономик промышленно развитых стран [3].

Добыча угля в Российской Федерации относится к отрасли с наиболее высокими уровнями профессиональной заболеваемости [4-6]. Согласно данным Минтруда России за 2021 год, более 36% работников горной промышленности, подвергаются негативному влиянию опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) на рабочих местах [7, 8].

Высокий уровень акустической нагрузки при подземной добыче угля сопровождается повышенным уровнем воздействия шума на работников таких профессий, как: проходчик, горнорабочий очистного забоя, машинист горно-выемочных машин, горнорабочий подземный, машинист подземных установок [9, 10]. Следует отметить, что в условиях подземных выработок повышенный уровень шума является общераспространённым вредным производственным фактором. Замечено, что работа при постоянном воздействии повышенного уровня шума требует от работника на 10-20% больше физических и психических усилий для выполнения

рабочих операций, в сравнении с рабочим местом без превышений предельно допустимого уровня шума [11, 12]. В свою очередь, исследования, проведенные Аляниным А.Ф., Галлимовым М.А. и их коллегами доказывают, что производственный шум способствует росту заболеваемости рабочих в целом на 10-15% [13, 14].

В научных исследованиях Артишевского С.Н. и Минеева О.В. [15] демонстрируются зависимость акустического давления в различных частотных диапазонах и степенью влияния на орган слуха человека. Авторы сделали вывод, что наиболее опасны для человека превышения шума в средне- и высокочастотных диапазонах. Похожий вывод был сделан в научной работе Чемезова Е.Н. [16]: профессиональная нейросенсорная тугоухость прежде всего формируется при воздействии на работника шумов в частотном диапазоне от 2500 Гц до 6000 Гц.

С целью защиты органа слуха горнорабочих применяются противозумные вкладыши и защитные наушники. Однако, подбор акустического материала, который способен обеспечивать необходимую защиту от среднего и высокого диапазона частот шума, а также быть износоустойчивым в конструкции СИЗ органа слуха, является актуальным вопросом на сегодняшний день [17, 18].

К настоящему времени при изготовлении распространенных СИЗ органа слуха, как правило, используют уже известные материалы: плотная резина, акустический поролон, синтетические и органические волокнистые материалы, металлические

и базальтовые материалы, гидрогели и гелиевые пластины [19]. Стоит отметить, что эффективность звукопоглощения данных материалов, основанного на резонансном поглощении, снижается при воздействии средне- и высокочастотного шума, к тому же имеют ограниченный срок службы [20, 21].

Работы Алимова Н.П. и Готлиба Я.Г. отражают, что порог эффективности массовых производственных защитных наушников и вкладышей не превышает 37 дБ по SNR. Авторы экспериментально доказали, что максимальное снижение эквивалентного уровня звука наушниками производства 3M и Peltor соответствует ГОСТу Р 12.4.212-99 и составляет 35 дБА [22]. Однако, стоимость производства изученных защитных наушников достаточно высока.

Группа отечественных ученых [23] посвятили свои труды изучению акустических параметров экструдированного пенополистирола фирм Ravatherm, URSA и Пеноплекс с целью определения оптимального соотношения толщины материала и коэффициента звукопоглощения. Таким образом, исследователями было установлено, что экструдированные пенополистиролы производства Ravatherm и URSA обладают коэффициентом звукопоглощения 0,5-0,7. Данный материал оказался наиболее эффективным при защите органа слуха в среднечастотном диапазоне (от 1000 до 3000 Гц), коэффициент звукопоглощения составил 0,75-0,85, при толщине материала 60 мм. Тем не менее, эффективность звукопоглощения при воздействии высокочастотного звука (от 3000 до 6000 Гц) составила от 20 до 30%. Отсюда следует, что применение данных материалов при конструировании СИЗ органа слуха невозможно.

В настоящее время изучаются и волокнистые материалы различного происхождения. Так, коллектив авторов из Китая разработали как эмпирические, так и теоретические модели для описания свойств акустического поглощения различными материалами. Задача исследования заключалась в сопоставлении взаимосвязи между коэффициентом шумоподавления и различными макро- микроструктурными параметрами. Авторами были исследованы материалы с различными длинами волокна, диаметрами, пористостью, объемной плотностью и толщиной волокнистых материалов, включая неорганические волокна, синтетические волокна, натуральные волокна и нановолокна. Среди них отмечается волокнистый войлок с включениями синтетических волокон, который имеет коэффициент звукопоглощения 0,98 в высокочастотном диапазоне [24, 25].

В научных работах [26, 27], посвященных анализу и измерению шумопоглощающих характеристик пористых материалов, установлено, что высокопористые полиуретаны имеют максимальную эффективность защиты от шума в диапазоне высоких частот. Однако, они пропускают значительную часть звукового потока низких и средних частот (от 60 Гц до 2500 Гц). Таким образом, авторами был сделан вы-

вод, что исследуемые материалы возможно использовать при производстве различных глушителей нестандартной формы, но не в качестве шумозащитного материала в конструкции СИЗ органа слуха.

Вопросами изучения причин возникновения нейросенсорной тугоухости у горнорабочих и изучения акустических свойств различных материалов занимались такие отечественные ученые, как Дьяконова С.Н., Полторыхин С.Н., Фаустов С.А., Чеботарёва А.Г., Добровольский Г.Д., Шувалов Ю.В., Алимов Н.П., Находкин В.П., Форсюк А.А., Флавицкий Ю. В., Гешлин Л. А., Резинков И. Г., Шерстов В.А. и другие ученые [28-30].

Среди зарубежных учёных значительный вклад в изучение и модернизацию СИЗ органа слуха внесли: Ковачев Н., J. Joy, V. Denny, Nomfundo F. Moroe, P. Simon, D. Hillson, D. Cliff, T. Horberry, D. Komljenovic, V. Kecojevic, G. Simpson, S. M. Lawson, E. A. Master-son, A. S. Azman, D. Griffiths, T. O'Beirne, D. Tripathy [31-33].

Целью настоящего исследования является экспериментальное определение коэффициента звукопоглощения в средних и высоких частотных диапазонах (от 2000 Гц до 6000 Гц) акустического пенополиуретана SPG 2540, акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 и вспененного пенополиуретана Бипласт 10К.

Методология. Для экспериментального определения коэффициента звукопоглощения акустического поролон SPG 2540, пенополиуретана Бипласт 10К и акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 (табл. 1) использовались: труба Кундта (тип 4002) двух размеров (рис. 1); генератор звука; многофункциональный регистратор "Экофизика"; измеритель параметров микроклимата (тип "Метеоскоп-М"), осциллограф (рис. 2). Измерения и расчет коэффициента звукопоглощения проводились по методике ISO 10534-2 [34, 35]. Паспортные акустические характеристики изучаемых материалов (коэффициент звукопоглощения α , плотность материала ρl , скорость распространения звука в материале при нормальных условиях c , толщина (h) и диаметр пор (l) представлены в таблице 1.

Данный метод испытаний охватывает использование импедансной трубки, одного микрофона и системы цифрового частотного анализа для определения коэффициента звукопоглощения звукопоглощителей при перпендикулярном к поверхности образца направлении звуковой волны. Он также может применяться для определения акустического поверхностного сопротивления или поверхностного пропускания звукопоглощающих материалов. Поскольку коэффициенты полного сопротивления звукопоглощающего материала связаны с его физическими свойствами, такими как сопротивление воздушному потоку, пористость, эластичность и плотность, измерения, описанные в этом методе испытаний, полезны при фундаментальных исследованиях и разработке технических средств [36, 37].

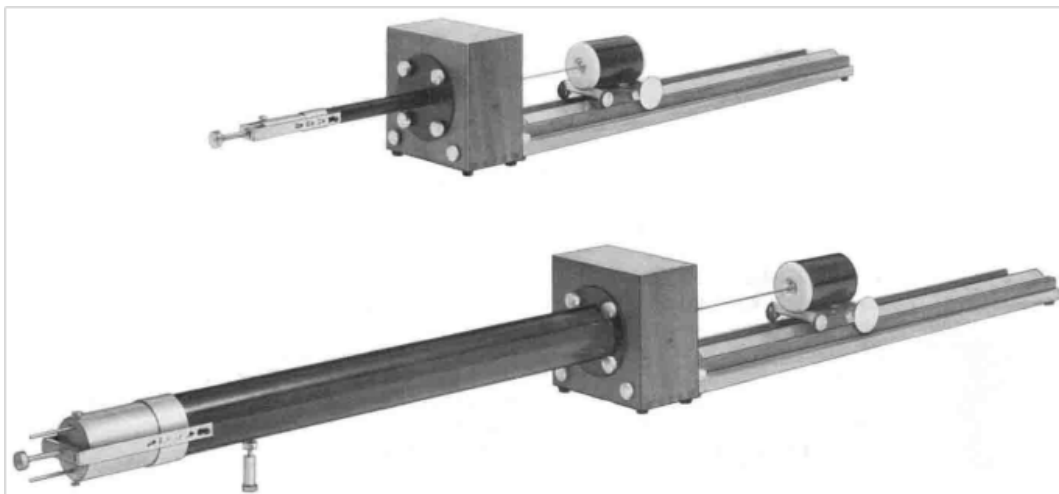


Рисунок 1 – Интерферометр типа - 4002 с короткой трубой (верхняя фотография) – диапазон 800-8000 Гц, и с длинной трубой (нижняя фотография) – диапазон 125-1600 Гц (по данным ЦСУ)



Рисунок 2 – Экспериментальный стенд – труба Кундта (составлено авторами)

Таблица 1 – Паспортные данные исследуемых материалов (по данным ЦСУ)

Материал	Показатели	α среднее (паспортное)	ρ_1 , кг/м ³	ρ при 20°C, кг/м ³	c при 20°C, м/с	h , мм	l , мм
Акустический пенополиуретан SPG 2540		0,6	22	22	343,1	20	0,01-0,5
Вспененный пенополиуретан Бипласт 10К		0,4	25	25	343,1	10	0,01-0,2
Звукоизол ВЭМ 2		0,6	1250	1250	343,1	2	-

Результаты. В ходе каждого измерения фиксировалось максимальное и минимальное значение звукового давления и расстояние, на котором фиксировались пики на каждой среднегеометрической частоте октавных полос. Результаты измерений акустических параметров исследуемых образцов представлены в таблицах 2 – 4.

На основании полученных данных были рассчитаны следующие параметры: α – коэффициент звукопоглощения, r – коэффициент звукоотражения, Z – модуль импеданса согласно методике ISO 10534-2 Акустика. Результаты измерения акустических параметров в частотных диапазонах отображены в таблицах 2 – 4.

Таблица 2 – Результаты измерения акустических параметров акустического пенополиуретана SPG 2540 в диапазоне 800 - 8000 Гц (составлено авторами)

f, Гц	800,7	1000,0	1250,3	1600,3	1999,7	2500,0	3151,0	4000,3	5000,0	6200,0	8000,3
α	0,26	0,31	0,44	0,89	0,65	0,21	0,94	0,56	0,68	0,99	0,99
r	0,86	0,83	0,75	0,34	0,59	0,89	0,25	0,66	0,56	0,03	0,089
Z	13,32	10,24	9,36	23,71	11,47	2,91	24,59	8,32	11,51	43,12	36,49

Таблица 3 – Результаты измерения акустических параметров вспененного пенополиуретана Бипласт 10К в диапазоне 800 - 8000 Гц (составлено авторами)

f, Гц	800,0	1000,7	1250,0	1599,3	2000,0	2500,7	3150,0	4000,0	5000,7	6300,7	8001,0
α	0,72	0,68	0,57	0,89	0,69	0,63	0,98	0,99	0,72	0,99	0,99
τ	0,53	0,56	0,65	0,33	0,55	0,61	0,13	0,09	0,52	0,03	0,09
Z	24,32	18,28	12,60	23,94	12,67	10,13	31,27	33,65	12,78	43,42	39,22

Таблица 4 – Результаты измерения акустических параметров Звукоизол ВЭМ 2 в диапазоне 125 - 1600 Гц (составлено авторами) (составлено авторами)

f, Гц	125	160,7	200,7	250	316	401,3	501,3	630	800	1001	1251	1601
α	0,95	0,89	0,85	0,82	0,76	0,73	0,67	0,66	0,69	0,67	0,51	0,3
τ	0,27	0,25	0,31	0,37	0,49	0,52	0,58	0,6	0,55	0,58	0,63	0,75
Z	36,68	54,69	75,88	95,23	143,91	161,79	167,62	165,93	308,72	286,2	497,07	623,76

Экспериментальные данные сравнивались с математическим расчетом акустических характеристик исследуемых материалов, выполненным авторами ранее [38]. Полученные результаты отображены

на рисунках 3-5. Для наглядности результатов в графическом представлении измеренный коэффициент звукопоглощения переведен в проценты (умножен на 100).

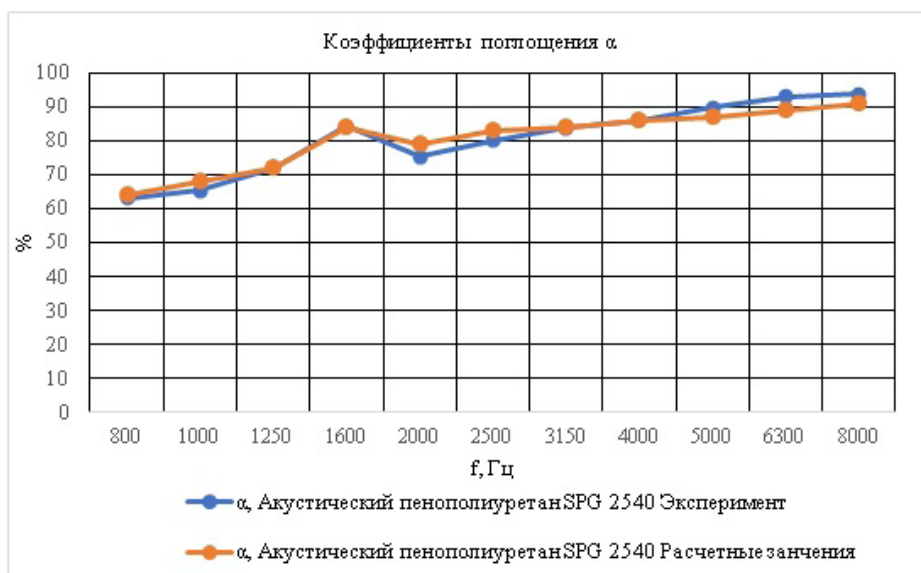


Рисунок 3 – Диаграммы значений коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов, полученных экспериментальным и расчетным способами (Акустический пенополиуретан SPG 2540) (составлено авторами)

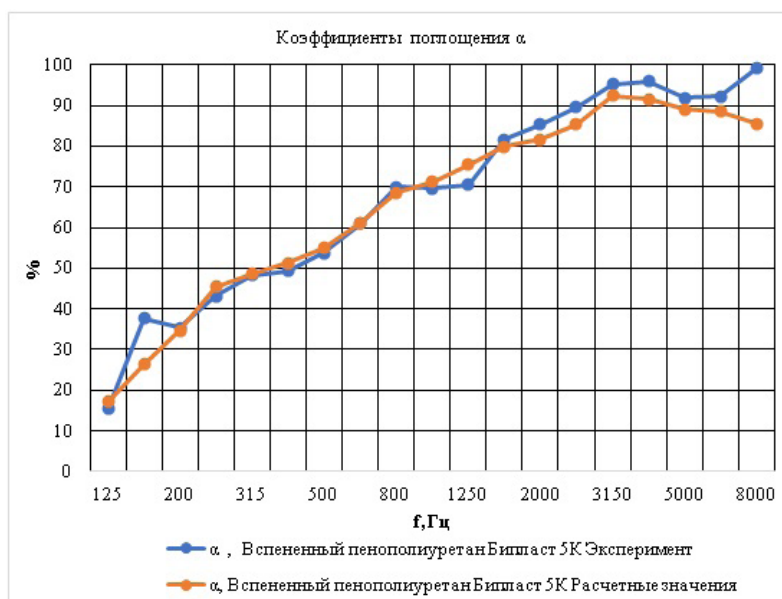


Рисунок 4 – Диаграммы значений коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов, полученных экспериментальным и расчетным способами (Вспененный пенополиуретан Бипласт 10К) (составлено авторами)

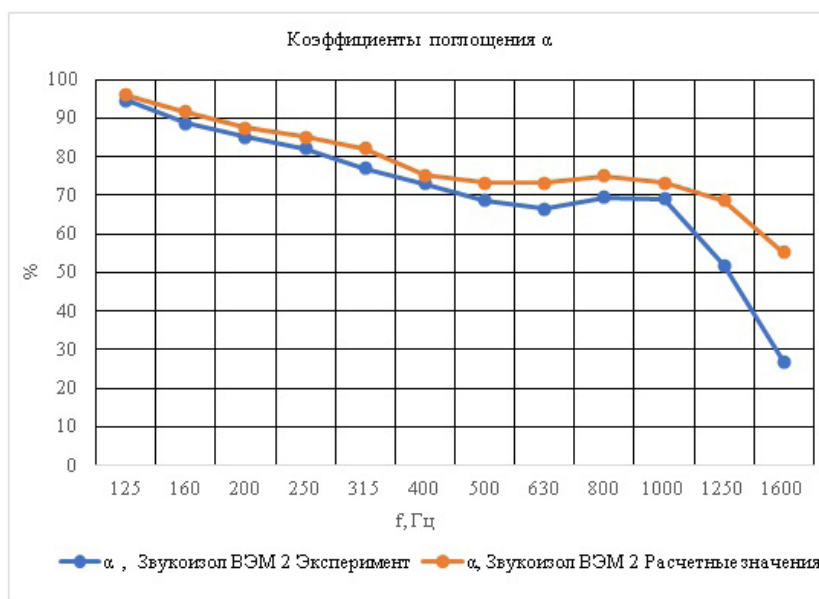


Рисунок 5 – Диаграммы значений коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов, полученных экспериментальным и расчетным способами (Звукоизол ВЭМ 2) (составлено авторами)

Обсуждение. Определены следующие коэффициенты звукопоглощения с использованием трубы Кундта по методике ISO 10534-2: для акустического пенополиуретана SPG 2540 – 0,80; для вспененного пенополиуретана Бипласт 10К – 0,69; для Звукоизола ВЭМ 2 – 0,76).

Не смотря на то, что коэффициент звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540 толщиной в 20 мм составил 0,80, данный материал малоэффективен в низкочастотном диапазоне. В связи с тем, что толщина наполнителя в защитных наушниках является критическим параметром, использование данного материала невозможно.

Коэффициент звукопоглощения вспененного пенополиуретана Бипласт 10К равен 0,69 при толщине материала в 10 мм. Эффективность звукопоглощения данного материала увеличивается после 1000 Гц. В диапазоне 1000 – 8000 Гц коэффициент звукопоглощения составляет 0,86. Данное значение для звукоизола ВЭМ 2 в диапазоне 125 – 1600 Гц составило 0,76.

Полученные результаты позволяют предположить, что использование однослойных материалов с целью конструирования средств индивидуальной защиты органа слуха в реальных условиях может не обеспечить требуемую защиту работников. Данный факт обуславливается тем, что для достижения необходимой степени защиты необходима толщина материалов свыше 20 мм.

Выводы. Результаты экспериментального определения коэффициента звукопоглощения показывают высокий уровень сходимости с математическим моделированием звукопоглощения изучаемых материалов, что позволяет сделать вывод о выборе подходящих материалов с целью их дальнейшего использования при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха.

Однослойные структуры не обеспечивают должную защиту от повышенного звукового давления при толщине менее 20 мм. Следовательно, необходимо исследовать многослойные структуры.

Для конструирования средств индивидуальной защиты органа слуха с целью предотвращения возникновения нейросенсорной тугоухости наиболее перспективным является вспененный пенополиуретан Бипласт 10К. Благодаря его толщине (10 мм) возможно сочетать его с акустической мембраной (звукоизол ВЭМ 2), чтобы добиться необходимого коэффициента звукопоглощения, или использовать несколько слоев данного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Qi Z. Q., Wang H., Chang W., Wang Q. Analysis for the Influence of Industrial Noise on Brain Cognition of Workers // Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University. – 2017. – Vol. 38. – No. 11. – Pp. 1590-1594. DOI:10.12068/j.issn.1005-3026.2017.11.015
2. Turcot A., Girard S.A., Courteau M., Baril J., Larocque R. Noise-induced hearing loss and combined noise and vibration exposure // Occup Med (Lond). – 2015. – Vol. 65. – Pp. 238-244. DOI: 10.1093/occmed/kqu214
3. Nikulina A. Yu., M.N. Kruk Economic estimation of project risks when exploring sea gas and oil deposits in the Russian Arctic // International journal of economics and financial issue. – 2016. – Vol. 6. – No. 2. – Pp. 138-150.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. – 340 с.
5. Фомин А.И. Разработка прогрессивной модели управления рисками возникновения профессиональных заболеваний у работников при разработке угольных месторождений / А.И. Фомин, И.М. Анисимов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – С. 43-48.
6. Camargo H.E. Advances in productive, safe, and responsible coal mining. / H.E. Camargo, A.S. Azman, J.S. Peterson // Chapter Engineered noise controls for miner safety and environmental responsibility, Elsevier, 2018, Pages 215-243.
7. Доклад о состоянии охраны труда в Российской Федерации, Министерство труда РФ, 2021. [Электронный

- ресурс] URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda>.
8. Коннова Ю.Е. Статистика полезных ископаемых в России / Ю.Е. Коннова, // Экономические науки, 46-1: 2016. – С. 175-179.
 9. Никулин А.Н. Воздействие повышенного уровня шума на горнорабочих угольных шахт / А.Н. Никулин, И.С. Должиков // Безопасность в строительстве: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (СПб, 21-22 ноября 2019). СПб.: Изд-во СПбГАСУ - 2019. – С. 91-99.
 10. Коршунов, Г.И. Индивидуальное устройство контроля деятельности работника в течение рабочей смены / Г.И. Коршунов, А.Ф. Романов, А.Н. Никулин, И.С. Должиков // Подземная угледобыча XXI век: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции / Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Издательство «Горная книга» – 2017. – №549. – С. 418 – 431.
 11. Litvinenko, V.S. Technological progress having impact on coal demand growth. XVIII international coal preparation congress: 28 June-01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia. – Pp. 3-16. doi:10.1007/978-3-319-40943-6_1.
 12. Смирнякова В.В. Анализ условий труда работников угольной промышленности / В.В. Смирнякова, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 57. – С. 425-430.
 13. Alyanin A.F., Gallyamov M.A., Abdrakhmanova E.N. Industrial noise. Problems and solutions. // Oil and Gas Business. – 2019. – Pp. 128-142. DOI:10.17122/ogbus-2019-2-128-142.
 14. Sidorenko A.A., Sishchuk J.M., Gerasimova I.G. Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions // Eurasian Mining. – 2016. – Issue 2. – Pp. 11-15. DOI: 10.17580/em.2016.02.03.
 15. Артишевский С.Н. Профессиональная нейросенсорная тугоухость: диагностические критерии, лечение, экспертиза трудоспособности / С.Н. Артишевский, О.В. Минеева // Оториноларингология. Восточная Европа. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 434-441.
 16. Chemezov E.N. Principles of ensuring the safety of mining operations in coal mining. Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 240. – Pp. 649-653. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.649.178
 17. Ермакова Е.Г. Профилактика профессиональных заболеваний // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – №4.
 18. "СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003" (утв. Приказом Минрегиона России от 28.12.2010 N 825)» [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
 19. Харитонов В.И. Экспериментальное изучение эффективности противозвуков для профилактики интенсивного шумового воздействия / В.И. Харитонов // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2018. – Т. 26. – № 4. – С. 484-492. DOI 10.23888/PAVLOVJ2018264484-492.
 20. Buravov A.D., Zima M., Kovarskaya E.Z., Moskovenko I.B. Developing recommendations on the use of an acoustic method for quality control of products based on periclase, including periclase-carbon products // Refractories and Industrial Ceramics. – 2014. – Vol. 55. – No. 1. – Pp. 77-80. DOI: 10.1007/s1148-014-9663-6.
 21. Пилиневич Л.П., Тумилович М.В., Кравцов А.Г., Румянцев Д.М., Гриб К.В. Влияние размеров частиц порошка пористых материалов на снижение уровня аэродинамического шума // Доклады БГУИР. – 2019. – №7-8 (126). – С. 109-116.
 22. Gotlib Y., Alimov N. About the Role of Personal Hearing Protection from Harmful Effects of Industrial Noise in Special Assessment of Working Condition // Safety in Technosphere. 2015. No. 2. Pp. 40-47. DOI:10.12737/11332.
 23. Иванов М. В., Гаврильев С. А., Трофимов С. А., Ксенофонтов Б. С., Иванова О. А. Исследование гидроакустических свойств материалов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 2018. - №4 (121). – С. 71-83. DOI: 10.18698/0236-3941-2018-4-71-83.
 24. Tang X., Yan X. Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2017. – Vol. 101. – Pp. 360-380. DOI:10.1016/j.compositesa.2017.07.002.
 25. McDavid D., Park A., Chadha S. Estimating the global costs of hearing loss // International journal of audiology. – 2021. – Vol. 60. – Pp. 1-9. DOI:10.1080/14992027.2021.1883197.
 26. Jones P. Prediction of the Acoustic Performance of Small Poroelastic Foam Filled Mufflers: A Case Study. Acoustics Australia // Australian Acoustical Society. – 2017. – Vol. 38. – Pp. 69-75.
 27. Cao L., Fu Q., Si Y., Ding B., Yu J. Porous materials for sound absorption // Composites Communications. – 2015. – Vol. 10. – Pp. 25-35. DOI:10.1016/j.coco.2018.05.001.
 28. Коршунов Г.И. Исследование возможности применения портативных технических средств контроля работника на производстве / Коршунов Г.И., Каменский А.А., Никулин А.Н., И.С. Должиков // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Том 2: Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Издательство «Горная книга» – 2019. – №4 (специальный выпуск 7). С. 99-107.
 29. Manuele, F. Effective safety and health management systems / F. Manuele, S. Mansdorf // 2019. – Pp. 671-690.
 30. Nikulin, A.N. Increasing labour safety on coal mines / A.N. Nikulin, I.S. Dolzhikov, D.A. Ikonnikov // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – Vol. 7. – 12. – Pp 842-848.
 31. Cao L., Fu Q., Si Y., Ding B., Yu J. Porous materials for sound absorption // Composites Communications. – 2015. – Vol. 10. – Pp. 25-35. DOI:10.1016/j.coco.2018.05.001.
 32. Moroe, N.F., Khoza-Shangase K., Madahana M., Nyandoro O. Feedback-based noise management matrix in action // N.F. Moroe, K. Khoza-Shangase, M. Madahana, O. Nyandoro // South African Journal of Communication Disorders. – 67(2). – 2020. – P. 678.
 33. Patnaik A. Materials Used for Acoustic Textiles // Acoustic Textiles. Textile Science and Clothing Technology. – 2017. – Pp. 73-92. DOI:10.1007/978-981-10-1476-5_4.
 34. ISO 10534-2: 1998 Акустика – Определение коэффициента звукопоглощения и полного сопротивления в импедансных трубках – Часть 2: Метод передаточной функции. [Электронный ресурс] URL: <https://www.iso.org/standard/22851.html>.
 35. Иголкин А.А. О применении различных типов микрофонов при измерениях в импедансной трубе / А.А. Иголкин, А.И. Сафин, Е.В. Шахматов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 2(16). – С. 49-51.
 36. Федюк Р.С., Баранов А.В., Тимохин Р.А. Оценка звукопоглощающих характеристик и параметров звукоизоляции строительных изделий // Вестник СибАДИ. – 2020. – №2 (72).
 37. Wolkesson M. Evaluation of impedance tube methods - A two microphone in-situ method for road surfaces and the three microphone transfer function method for porous materials. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2013.
 38. Рудаков М.Л., Дука Н.Е. Изучение свойств звукопоглощающих материалов при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 3. – С. 165-180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_165.

Статья поступила в редакцию 02.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.453
EDN: KQXQLC

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ОХРАНОЙ ТРУДА ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА МОТИВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ
СОБЛЮДЕНИЯ РАБОТНИКАМИ ПРАВИЛ ОХРАНЫ ТРУДА**

© 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: 8043-9890

AuthorID: 552493

ORCID: 0000-0003-4949-5369

ScopusID: 57191252910

СВИРИДОВА Татьяна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент,

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: ntv_3110@mail.ru)

Аннотация. Статья посвящена проблеме стимулирования и мотивации соблюдения работниками правил охраны труда на предприятии. Мотивация является важной составляющей для работников предприятия при выполнении своих трудовых функций. На предприятиях, не зависимо от форм собственности, руководство стремится повысить производительность труда и поэтому применяют различные виды мотивации. В статье приведены общие понятия и сведения о мотивации и стимулировании, виды мотивации, а также основные существующие теории и методы мотивации персонала к соблюдению правил охраны труда. Так же в статье описана разработанная система мотивационных решений в условиях структурного подразделения энергослужбы предприятия. Предложены материальные и нематериальные методы мотивации к безопасному труду. Особенность данного исследования заключается в том, что работники данного подразделения принимали активное участие в разработке программы стимулирования персонала к соблюдению правил охраны труда. Все предложенные методы были выбраны на основе исследования желаний самих работников. Правильно выбранная мотивация работников неизбежно приведет к соблюдению правил охраны труда и промышленной безопасности, не зависимо от стажа и вида выполняемой работы.

Ключевые слова: мотивация, стимулирование, потребности, охрана труда, безопасность, производства, социальные льготы, дополнительные выплаты, доска почета, доска почета.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE OCCUPATIONAL SAFETY
MANAGEMENT SYSTEM THROUGH THE CREATION OF A COMPLEX OF MOTIVATIONAL
SOLUTIONS FOR COMPLIANCE WITH THE RULES OF LABOR PROTECTION BY EMPLOYEES**

©The Author(s) 2023

SOMOVA Yuliya Vasilievna, candidate of technical sciences

associate professor of the Department of industrial ecology and life safety

SVIRIDOVA Tatyana Valerievna, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the Department of industrial ecology and life safety

Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk

(455000, Russia, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue 38,

e-mails: yuliya.somova.82@mail.ru, ntv_3110@mail.ru)

Abstract. The article is devoted to the problem of stimulating and motivating employees to comply with labor protection rules at the enterprise. Motivation is an important component for the employees of the enterprise in the performance of their labor functions. At enterprises, regardless of the form of ownership, management seeks to increase labor productivity and therefore apply various types of motivation. The article presents general concepts and information about motivation and incentives, types of motivation, as well as the main existing theories and methods of motivating personnel to comply with labor protection rules. Also, the article describes the developed system of motivational decisions in the conditions of the structural unit of the energy service of the enterprise. Material and non-material methods of motivation for safe work are proposed. The peculiarity of this study is that the employees of this unit took an active part in the development of a program to encourage staff to comply with labor protection rules. All proposed methods were chosen on the basis of a study of the desires of the workers themselves. Properly chosen motivation of employees will

inevitably lead to compliance with the rules of labor protection and industrial safety, regardless of the length of service and the type of work performed.

Keywords: motivation, stimulation, needs, labor protection, safety, production, social benefits, additional payments, shame board, honor board.

Для цитирования: Сомова Ю.В. Повышение эффективности функционирования системы управления охраной труда посредством создания комплекса мотивационных решений соблюдения работниками правил охраны труда // Ю.В. Сомова, Т.В. Свиридова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 127-133. – EDN: KQXQLC.

Введение. В настоящее время в России руководители достаточно часто сталкиваются с проблемами стимулирования трудовой деятельности и соблюдения правил охраны труда работниками.

Проблема мотивации является одной из основных в управлении персоналом. Создать мотивационные решения – значит добиться того, чтобы работники с удовольствием выполняли свою трудовую функцию.

Зная, что побуждает человека к выполнению трудовых обязанностей и мотивы в основе его действий, можно попытаться разработать эффективную систему стимулирования соблюдения правил охраны труда работниками.

Целью исследования является разработка комплекса мотивационных решений по совершенствованию стимулирования персонала к безопасной трудовой деятельности на примере одной из энергослужб предприятия.

Объектом исследования – работники энергослужбы предприятия.

Предмет исследования – способы мотивационного воздействия на персонал предприятия с целью повышения безопасности труда в данном структурном подразделении.

Задачи исследования:

- необходимо определиться с понятием мотивации, стимулирования, их формами и видами;
- проанализировать мотивацию соблюдения пра-

вил охраны труда и связанные с этим проблемы в данном структурном подразделении;

- разработать пути совершенствования мотивации персонала к безопасной трудовой деятельности в рассматриваемом структурном подразделении.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты проведенного исследования могут быть использованы руководством других организаций и предприятий с целью совершенствования существующей системы мотивации персонала к соблюдению правил охраны труда.

Почему одни люди заинтересованы и с удовольствием выполняют свои трудовые обязанности, а другие испытывают раздражительность и неудовлетворение? Почему одного достаточно похвалить, а другому нужно заплатить? Что именно побуждает человека к активной и безопасной деятельности?

Мотивы – это причины поведения и действий человека, возникающие под влиянием его потребностей и интересов и представляющие собой образ желаемого блага, которое удовлетворяет его потребности при условии, если будут выполнены определенные трудовые действия [1].

Мотивация – это процесс побуждения человека к деятельности для достижения целей.

Взаимосвязь мотивации с остальными понятиями представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Взаимосвязь понятий мотивации

Потребности – это необходимость в чем – то, объективно необходимом для поддержания жизни и развития организма, личности и социальной группы. Различают материальные, духовные и социальные потребности.

Интерес – это конкретное выражение осознанных потребностей, но при этом интерес направлен

на социальные отношения, от которых зависит удовлетворение нужд работника.

Стимул – это побуждение человека совершать то или иное действие или причина его поведения [2].

Стимулирование – это процесс воздействия на работника факторов извне с целью повышения его трудовой активности. Мотивация подталкивает

изнутри, а стимулирование привлекает извне.

Методология. В настоящее время существует огромное количество теорий мотиваций. На рисунке 2 представлены основные из этих теорий, в частности, четыре основных подхода.

Одним из самых распространенных и эффективно действующих вариантов материального стимулирования является программа гибких льгот.

В настоящее время существует несколько вариантов таких программ:

- 1) «кафетерий»;
- 2) «буфет»;

3) «комплексный обед».

Чтобы оставаться в равновесии, рекомендуется комбинировать отрицательную и положительную мотивации. Но если встанет выбор между «кнутом» и «пряником», то не следует выбирать «кнут».

Для достижения эффективного стимулирования соблюдения правил охраны труда на предприятии, важно грамотно выстраивать систему контроля, но не стоит забывать о последствиях применения метода наказаний. Положительная мотивация обязательно должна присутствовать в любой организации [3].



Рисунок 2 – Обзор теорий мотивации в управлении персоналом

Для проведения исследования была выбрана одна из энергослужб предприятия.

Для составления системы мотивационных решений было принято решение разработать опросы для работников. Работники были разделены по половому признаку и участкам цеха (У-1, У-2, У-3, У-4 – участки с 1-го по 4-ый, соответственно; Л№1, Л№2 – лаборатории №1 и №2, соответственно), в отдельную группу были выделены РСС.

Общий количественный состав – 188 работников, из них женщин – 47 человек.

Число работников, которые прошли тестирование – 165 человек, из них женщин – 40 человек.

Предварительно перед тестированием, на сменно-встречных собраниях, с персоналом была проведена беседа о возможных вариантах материальной и нематериальной мотивации к безопасному труду, чтобы у сотрудников было понимание происходящего перед предстоящими опросами.

Работникам предлагалось выбрать пожелания к материальной мотивации безопасного выполнения трудовой функции, и рассмотреть новый формат нематериальной мотивации, выразить их отношение к идее введения такой системы.

Нами было проведено два вида опроса, отдельно по материальной и нематериальной мотивациям.

Работнику необходимо обозначить сумму, которая,

по его мнению, стимулировала бы его безопасно выполнять свою работу. Доказано, что материальная мотивация на самом деле более эффективно стимулирует работников к безопасному труду. В Европе такую практику внедрили давно и пользуются в настоящее время [4].

Нематериальную мотивацию сложнее внедрить в разум человека, так как необходимо рассматривать психологический портрет каждого работника, рассматривать каждый случай отдельно. Очень важно понять, какая мотивация наиболее подходит для конкретного случая. Кого-то замативирует безопасно работать позитивная мотивация, а другого работника может подтолкнуть к безопасному труду отрицательная.

Как видно из рисунка 3, работники считают материальную мотивацию более эффективной, чем нематериальную.

В настоящее время вариантов материальной мотивации существует достаточно много, при этом совсем не обязательно выплачивать «живые» деньги. Можно разработать куда более действенные методы материального стимулирования [5]. Концепция разработки нашей системы состоит в стимулировании работника безопасно выполнять трудовую функцию, за что, впоследствии, будет предложено поощрение.



Рисунок 3 – Результаты опроса работников по эффективности материальной и нематериальной мотивации

Так одним из вариантов, предложенных работникам, была система балльной оценки и списка поощрений за безопасный труд. Сотрудники могут потратить баллы на приобретение нужных им товаров или услуг из составленных списков на основе их пожеланий.

Были получены следующие результаты опроса по материальной мотивации:

В качестве размера выплаты работники предпочли бы не менее 20 тыс. рублей в год. Им хотелось бы получать выплату за безопасный труд раз в квартал в размере 5 тыс. рублей.

97,6% (161 человек) ответили, что балльная система поощрения замотивирует их безопасно работать.

Из предложенного списка поощрений работники чаще выбирали 2 категории: билеты в кино и абонемент на поездки в трамвае. При беседе на сменно-встречном собрании были затронуты темы компенсации оплаты детских садов, секций и кружков.

Согласно опросу, 29% (47 человек) оказались активными курильщиками. Среди мужчин оказались активными курильщиками 76,6% (36 человек), среди женщин – 23,4% (11 человек). Человек, который отвлекся на «перекур», должен заново вовлечься в работу, соответственно его рабочая функция на время потеряна, а работа на пике производительности, а это в итоге может привести к травме работника. Так 84,2% (139 человек) положительно отреагировали на поощрение некурящих работников для сохранения работоспособности и, соответственно, вовлеченности в процесс с сохранением мотивации безопасно работать.

38,8% (64 человека) работников отметили необходимость вычитать баллы у нарушителя правил. По 11,5% (по 19 человек) работников решили вручать КОДы и лишать определенного процента премии сотрудников цеха. Талонную систему одобрили 16,4%

(27 человек) работников.

81,2% (134 работника) считают, что отрицательная мотивация играет важную роль в соблюдении правил охраны труда и промышленной безопасности. Такой высокий процент объясняется тем, что на данный момент на предприятии используется именно отрицательная мотивация сотрудников к безопасному труду. Такая политика бесспорно работает, так как работники подчиняются этой методике. Но работает она не в полной мере.

Результаты. Анализ результатов опроса по материальной мотивации позволил разработать систему балльной оценки и списка поощрений за безопасный труд. Так сотрудники могут потратить баллы на приобретение нужных им товаров или услуг из составленных списков на основе их пожеланий.

Исходя из предпочтений работников, предлагается годовая сумма на каждого в размере 24000 рублей. В таком случае при соблюдении правил охраны труда каждый месяц сотруднику будут начисляться 2000 рублей, которые будут приравнены к 50 баллам. Фактическая ценность 1 балла составит 40 рублей. Если работник безопасно выполняет работу в течение года, то у него будет накоплено 600 баллов или 24000 рублей. Каждая социальная услуга или льгота оценивается определенным количеством баллов.

Данная система может применяться к работникам, не нарушающим правила охраны труда [6]. В случае невыполнения работником правил безопасности, все полученные им баллы сгорают. Контроль за соблюдением правил охраны труда осуществляет специалист по охране труда [7].

Примерный перечень услуг следующий: билеты в кино, купоны в детские развлекательные центры, сертификаты на оплату сотовой связи, билеты в аквапарк и бассейны, бесплатное место на парковке, скидки на билеты на посещение культурно-массовых

мероприятий, абонемент в спортзал, купон на АЗС, сертификаты в детские магазины, оплата секций (кружков), частичная оплата детского сада, бесплатная мойка автомобиля, промокоды и купоны в популярные гипермаркеты и интернет маркеты и маркетплейсы, скидка на оформление различных видов страхования, абонементы в спортзал, льготные путевки в санатории.

Однако, нельзя разработать один метод стимулирования, который устроит всех (кроме денежного стимулирования) [8]. Для создания оптимальной системы необходимо учитывать индивидуальные особенности человека. Необходимо рассматривать объект стимулирования не только как работника, а в первую очередь как личность учитывая его пол, возраст, семейное положение и другие. Так стимулирование будет не только материальным, но и позволит работнику понять, что работодатель ценит его [9]. Известный факт – когда работник видит, как заботятся о нем, так и сам работник начинает стараться выполнять свою работу безопасно [10].

Так нами были разработаны специальные программы поощрения за безопасный труд, с учетом индивидуальных особенностей работников:

1. «Холостяк»;
2. «Глава семьи»;
3. «В самом расцвете»;
4. «Мама и малыш»;
5. «Сорванцы»;
6. «Золотая осень».

Предложенные комплексы составлены, исходя из стоимости в 200 баллов (за 4 месяца безопасной работы), и предусматривают сниженную стоимость аналогичных услуг в сравнении с выбором из общего списка.

Таким образом, работнику предлагается два варианта: выбор из общего списка возможных поощрений или вступление в определенную программу, где список уже составлен с учетом возрастных особенностей, семейного положения и возраста.

Все разработанные программы были продемонстрированы сотрудникам данного подразделения. Проведенный опрос показал, что данная система поощрения устраивает более 90% работников.

Работникам понравилась возможность включения скидок на индивидуальные программы, так как это оказалось намного выгоднее, чем брать каждую услугу отдельно из общего списка. Единоразовая скидка в конце каждой программы привлекла даже тех, кто сомневался вступать в какую-либо категорию сотрудников. Но и нашлись те, кто бы хотел воспользоваться общим списком, так как нужной услуги не находилось в программе. Некоторые отвечали, что им бы хотелось подкопить свои баллы на приобретение более дорогих позиций, что подтверждает ориентацию работников на мотивацию к продолжительной безопасной работе.

Для предприятия выгодно создавать программы льготного поощрения [11]. Предприятие с одной стороны оказывает меры социальной поддержки

работникам, а с другой – мотивирует их на безопасный труд.

Однако, материальная мотивация работает только на начальном этапе. Легко замотивировать персонал безопасно работать с помощью материальных поощрений, но куда сложнее разработать системы нематериальной мотивации [12]. Поэтому необходимо комбинировать материальную и нематериальную мотивацию. К бальной системе поощрений целесообразно было бы внедрить систему положительной и отрицательной мотивации нематериального характера, так как на каждого человека по-разному действует то или иное стимулирование к безопасной трудовой деятельности [13].

В опросе по нематериальной мотивации работникам предлагались различные варианты стимулирования. Одним из которых, является «доска позора» и «доска почета». Предлагается к разработке «доска позора», которая поможет сотрудникам, пренебрегающим правилами охраны труда и промышленной безопасности, исправиться, почувствовать чувство стыда, тем самым замотивировать самого себя снять свою кандидатуру с этой доски, либо добиться успехов в безопасной работе и попасть на «доску почета».

Доска позора представляет собой плотное полотно с наименованием цеха, надписью «доска позора» и «эти работники нарушают технику безопасности, подвергают риску себя и своих коллег, будьте бдительны», а также портрет нарушителя.

Нарушитель попадает на «доску позора» либо если это грубое нарушение правил безопасности, либо если это незначительные, но систематические нарушения.

Так в Китае, в городе Юлинь, индустриальном центре, практика с «доской позора» уже внедрена в повседневной жизни. Так, на пешеходном переходе, если человек решил перейти на красный сигнал светофора, то его тут же фиксирует камера и выводит изображение на огромный экран улицы. Работник, который находился в командировке подметил, что ему бы не хотелось, чтобы его лицо появилось на большом экране улиц Китая, что замотивировало его не переходить дорогу на красный сигнал светофора и соблюдать правила ПДД [14].

«Доска позора» может как замотивировать безопасно работать, так и наоборот вызвать негативный шквал эмоций.

Результаты тестирования по нематериальной мотивации показали, что «доска позора» импонирует 54% (89 человек) работников.

Из тех, кто отрицательно отозвался о «доске позора» 85,4% (65 человека) никак не отреагирует на свой портрет на ней, а 14,6% (11 человек) будут эмоционально подавлены. Таким образом, можно сделать вывод, что такой формат нематериальной мотивации может спровоцировать у человека мысли негативного характера.

46% (76 человек) опрошенных отметили, что доска позора не замотивирует их безопасно работать.

Можно сделать выводы – что это потенциальные нарушители требований правил безопасности, они заведомо не заинтересованы безопасно выполнять трудовую функцию.

Реакция на «Доску позора» у работников была неоднозначная. Кто-то думал за других и предполагал, что нарушители продолжают так поступать, их такая доска не замотивирует. Однако, когда их спрашивали, как бы они себя повели в данной ситуации, такие сотрудники старались уйти от ответа. Другая часть опрошенных ответила, что им интересно посмотреть на реализацию данного проекта, и проследить, подействует ли данная система на нарушителей. Некоторые работники предположили, что было бы целесообразно скомбинировать все 3-и проекта: балльную оценку, «доску позора» и «доску почета». Это было бы новшеством, которое изменило поведение всех работников к безопасной трудовой деятельности.

Женский коллектив лаборатории №2 положительно реагирует на нематериальную мотивацию, на такой результат может влиять фактор наличия детей. Женщины отметили, что дети сами являются стимулом соблюдать правила охраны труда.

57% (94 человека) сотрудников хотели бы внедрить «доску почета». Показатели с «доской позора» почти одинаковы, однако положительная мотивация импонирует на 3% больше.

95,2% (157 работников) хотят получить четыре дополнительных дня отпуска за безопасный труд.

Обсуждение. Выше было отмечено, что необходимо создавать «симбиоз» из материальной и нематериальной мотивации. Такой же метод касается и позитивной и отрицательной мотивации. Известный факт, что метод «кнута» не часто хорошо работает: лишение премий, выговоры, новая разработка системы «доски позора» – не всегда дают нужный эффект в соблюдении правил охраны труда и промышленной безопасности [15, 16]. Поэтому необходимо разработать дополнительную систему еще и положительной мотивации. Когда работник «насытился» материальной мотивацией, получил поощрения или денежное вознаграждение, то на следующем этапе человек захочет славы, уважения, почета.

«Доска почета» в опросе импонирует 57% (94 людям) сотрудников. Они считают, что такую систему было бы целесообразно внедрить. «Доска почета» представляет собой также плотное полотно, с наименованием подразделения, надписью «доска почета» и «Эти работники в полной мере соблюдают правила охраны труда! Если вы рядом с этим человеком – будьте спокойны, домой вы вернетесь целыми и невредимыми».

Работник попадает на «доску почета» если в течение года безопасно выполнял работу: выполнял все указания, своим примером показывал другим работникам, как безопасно работать, соблюдал все меры безопасности, предотвращал возможные аварийные ситуации, предлагал возможные улуч-

шения для безопасности на рабочем месте и другое [17, 18].

Реакция сотрудников на «доску почета» положительная, но они хотят видеть за ней и материальную составляющую, хотя цель данного варианта - стимулировать сотрудников безопасно работать без материального поощрения

Выводы. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Рассмотрев два вида мотивационных ращений, можно отметить, что данная реализация хорошо будет работать в комплексе, в стадии «симбиоза». Материальная мотивация, как начальный этап стимулировать работников безопасно выполнять трудовую функцию – идеальное начало к уменьшению травм на производстве. Нематериальная мотивация – идеальный второй этап в реализации безопасности на производстве.

«Доска позора» и «доска почета» должны работать в комплексе, сравнимо с «кнутом и пряником», чтобы у нарушителя был стимул попасть на «доску почета», либо избежать «доски позора», а у почетного работника, выполняющего безопасный труд, был стимул задержаться на «доске почета» как можно дольше, получить уважение и славу.

В совокупности идеально соединить оба вида стимулирования. Когда у человека есть материальные блага, далее он ищет славы, почета, признания, уважения. Это прекрасная схема реализации безопасного труда: материальные блага → слава → нулевой травматизм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Виханский О.С. Менеджмент / О.С. Виханский, А.И. Наумов. М.: ИНФРА-М, 2010. – 576 с.
2. Гроув Э.С. Высокоэффективный менеджмент. – М., 2011.
3. Балашов Ю.К. Мотивация и стимулирование персонала: основы построения системы стимулирования / Ю.К. Балашов, А.Г. Коваль// Кадры предприятия. – 2011. – № 7. – С. 65-69.
4. Волгин Н.А., Плакса В.И., Цъовх С.А. Стимулирование производительного труда. – Брянск, 2013. – 304 с.
5. Егоршин А.П. Мотивация трудовой деятельности: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 464с.
6. Иванцевич Дж.М., Лобанов А.А. Человеческие ресурсы управления. – М.: Гардарики, 2008. – С. 19-21.
7. Управление внутренней мотивацией работников на безопасный труд и соблюдение требований охраны труда Хамзина А.М., Артюхова Н.С. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2020. – С. 253-256.
8. The importance of motivating employees in increasing the competitiveness of railway transport Urmonov Sh.U. Colloquium-Journal. – 2022. – № 18-1 (141). – С. 77-79.
9. Адаптация работников как фактор мотивации Федяева А.М. Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2019. – № 5-1 (33). – С. 9-13.
10. Labor motivation of agricultural workers in the context of modern trends in personnel management Gaponenko T., Muradova S.Sh., Litvinova V. В сборнике: E3S Web of Conferences. 13. Sep. "13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTE-RAGROMASH 2020" 2020. – С. 15003.
11. Сомова Ю.В., Лимарев А.С., Крамзина Л.В., Черкашин М.Д. Исследование человеческого фактора в

системе "человек – техническая система – производственная среда" на рудообогатительной фабрике //Вестник НЦБЖД. – 2023. – № 1 (55). – С. 155-166.

12. Сомова Ю.В., Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Свиридова Т.В. Изучение физических, биологических и социально-экономических процессов, определяющих условия труда на обрабатывающих предприятиях при адаптации молодых работников //Вестник НЦБЖД. – 2023. – № 2 (56). – С. 135-149.

13. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

14. Разработка системы управления мотивацией работников на предприятии Бочарова Е.О. В книге: радиоэлектроника, электротехника и энергетика. – Тезисы докладов. – 2020. – С. 573.

15. Голубев А.В. Мотивация труда: Процессуальные теории мотивации //Инновационные научные исследования. – 2021. – № 5-1 (7). – С. 191-195.

16. Романова П.А. формирование эффективной мотивации труда работников сельскохозяйственных предприятий путем применения количественных показателей в оценке мотивации труда //Территория инноваций. – 2017. – № 7 (11). – С. 63-68.

17. Балаев В.А., Гридчин В.С., Чаплыгин Н.А. Мотивация персонала. Современные подходы в мотивации персонала // В сборнике: Молодой исследователь: вызовы и перспективы. Сборник статей по материалам CLX международной научно-практической конференции. Москва, 2020. – С. 267-271.

18. Павлова М.А. Мотивация персонала как средство повышения эффективности труда в профессиональной деятельности // В сборнике: Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология. Международная научно-практическая конференция. – 2021. – С. 369-373.

Статья поступила в редакцию 04.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 614.844.2

EDN: MHDСOC

О ПРИМЕНЕНИИ ВОДЯНЫХ СИСТЕМ СДЕРЖИВАНИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

© Авторы 2023

SPIN: 5721-1570

AuthorID: 181476

ORCID:0000-0002-2769-0086

ResearcherID: E-2182-2018

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149)*

SPIN:1076-8133

AuthorID: 664653

ORCID: 0000-0003-1561-2483

ResearcherID: K-2087-2018

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией «Проблем безопасности транспортных систем»
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН

(199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я Линия Васильевского Острова, д.13),

ORCID: 0000-0002-9210-3036

БОНДАР Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент,
директор Департамента образовательной и научно-технической деятельности
МЧС России

(121357, Россия, г. Москва, ул. Ватутина, д.1)

ORCID 0000-0002-1616-3504

Researcher ID: GQH-8479-2022

SCOPUS – 57212561809

AuthorID: 980446

БАЛАБАНОВ Иван Дмитриевич, аспирант

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29)*

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с водяными автоматическими установками пожаротушения, сдерживающими опасные факторы пожара (ОФП) в помещении. В теоретической части статьи приведены схемы включения оросителей автоматических установок сдерживания пожара (АУСП) как для защиты проёмов помещения, так и для разделения площади помещения на зоны. Приведены аналитические выражения, описывающие динамику фронта пламени при включении АУСП. Достижимый эффект проиллюстрирован расчётными примерами. В экспериментальной части приведен вид испытательной установки, имитирующей помещение с проёмом, модельный очаг пожара. Приведены результаты измерений ОФП (токсичных продуктов горения и температуры) в месте проёма как без включения АУСП, так и при её включении, свидетельствующие об эффекте сдерживания ОФП. Результаты теоретических и экспериментальных исследований хорошо согласуются между собой. Сделан вывод о целесообразности использования представленных схем включения АУСП

Ключевые слова: сдерживание пожара, скорость распространения пламени, распространение пожара, автоматическая установка, водяное пожаротушение, интенсивность орошения.

ABOUT THE USE OF WATER FIRE CONTAINMENT SYSTEMS IN THE ROOM

© Authors 2022

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)*

TARANTSEV Alexander Alekseevich, doctor of technical sciences, professor,
honored worker of the Higher School of the Russian Federation,
head of the Laboratory "Problems of Safety of Transport Systems"
*N.S. Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
(199178, Russia, St. Petersburg, 12th Line of Vasilievsky Island, 13),*

BONDAR Alexander Ivanovich, candidate of technical sciences, docent,
director of the Department of Educational, Scientific and Technical Activities

ERMERCOC of Russia

(121357, Russia, Moscow, Vatutina str., 1)

BALABANOV Ivan Dmitrievich, postgraduate student

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, Saint Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29)

Abstract. In this paper, the issues related to automatic water fire extinguishing systems that contain fire hazards factors (FHF) in the room are considered. In the theoretical part of the article, the schemes for turning on sprinklers of automatic fire containment installations (AFCI) are given both to protect the openings of the room and to divide the area of the room into zones. Analytical expressions describing the dynamics of the flame front when the AFCI is turned on are given. The achieved effect is illustrated by calculated examples. The experimental part shows a type of test installation simulating a room with an opening, a model fire center. The results of measurements of the FHF (toxic combustion products and temperature) at the opening site both without the inclusion of the AFCI, and when it is turned on, indicating the effect of containment of the FHF of fire. The results of theoretical and experimental studies are in good agreement with each other. The conclusion is made about the expediency of using the presented schemes of inclusion of the AFCI

Keywords: fire containment, flame propagation speed, fire propagation, automatic installation, water fire extinguishing, irrigation intensity.

Для цитирования: Танклевский Л.Т. О применении водяных систем сдерживания пожара в помещении / Л.Т. Танклевский, А.А. Таранцев, А.И. Бондар, И.Д. Балабанов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 134-140. – EDN: MHDCOC.

Введение. Автоматические установки сдерживания пожара (АУСП) [1], принципы построения которых установлены ГОСТом [2], находят всё большее применение на практике ввиду увеличения класса объектов, на которых основной задачей является не ликвидация пожара полностью, а сдерживание скорости его распространения и образования опасных факторов пожара (ОФП) [3-5]. В связи с этим, а также в связи с относительной новизной АУСП представляется целесообразным рассмотреть особенности их применения.

Методология, излагаемая в данной статье, состоит из двух частей – теоретической и экспериментальной. В теоретической части – возможные схемы размещения спринклеров АУСП для сдерживания пожара в помещении и расчётное обоснование их эффективности, в экспериментальной – установка и результаты измерения уровней ОФП (токсичных продуктов горения и температуры) как при защите

проёма с помощью АУСП, так и когда АУСП не задействуется.

Результаты исследования применения АУСП в теоретической части заключаются в рассмотрении и расчётном обосновании схем включения АУСП, а в экспериментальной части – в проведении натурных испытаний и интерпретации полученных результатов сравнительных измерений уровней ОФП. Далее теоретическая и экспериментальная части исследования эффективности применения АУСП рассматриваются подробнее.

Схемы включения АУСП в помещении и их обоснование. АУСП могут применяться для защиты проёмов (окна, двери) в стенах (рис.1-а) и разделения помещения большой протяжённости на зоны «цепью» оросителей (рис.1-б, в) [4]. При этом важным моментом работы АУСП является смачивание (увлажнение) пожарной нагрузки на пути развития пожара [5], что позволяет замедлить его развитие.

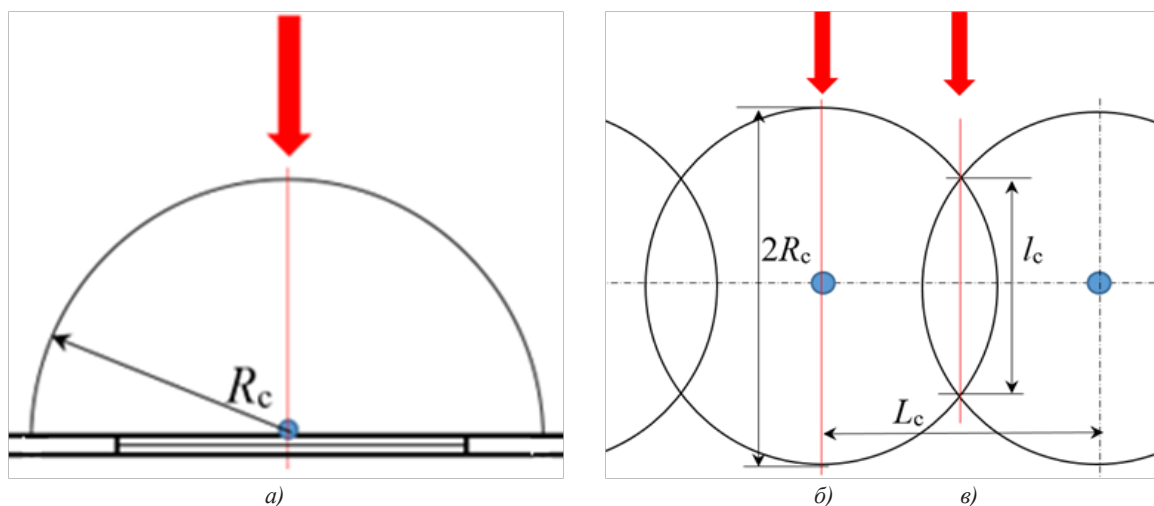


Рисунок 1 – Расчётные схемы для оценки эффективности АУСП

(а – защита проёма в стене, б – защита части помещения «цепью» оросителей при движении фронта пламени к оросителю, в – при движении фронта пламени по направлению между оросителями)

Так из рисунка 2-а следует, что чем больше масса m воды на орошаемую площадь пожарной нагрузки (m_n – удельная масса воды, соответствующая полному насыщению; t_A – время активации оросителя АУСП; t_n – время насыщения пожарной нагрузки; t_n – время достижения фронтом

пламени участка, защищаемого АУСП; l_0 – глубина защищаемого участка: для схемы на рисунке 1-а, $l_0=R_c$, для рисунка 2-б $l_0=2R_c$, для рисунка 2-в $l_0=l_c$), тем меньше линейная скорость V распространения пламени (рис.2-б) и тем меньший путь l пройдет фронт пламени (рис.2-в, рис.3).

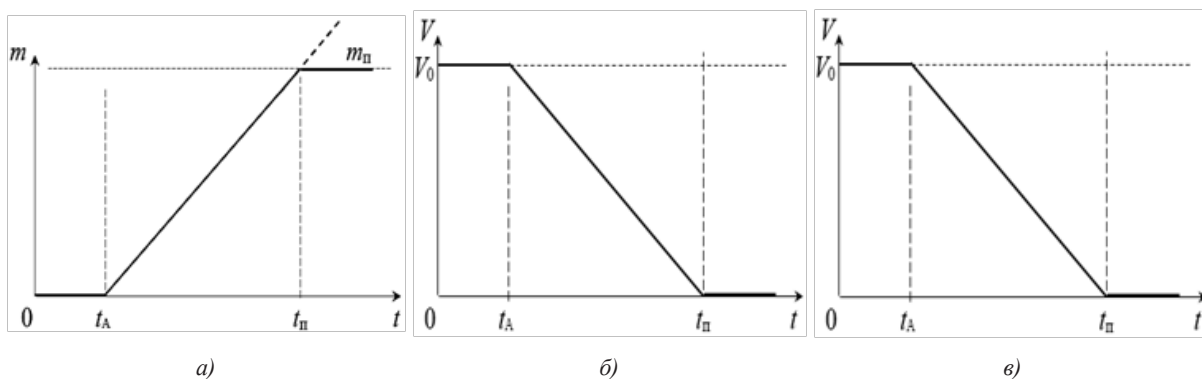


Рисунок 2 – Показатели, определяющие функционирования АУСП

(а – динамика увлажнения пожарной нагрузки, б – снижение линейной скорости распространения пламени при увлажнении пожарной нагрузки; в – динамика пути, пройденной фронтом пламени)

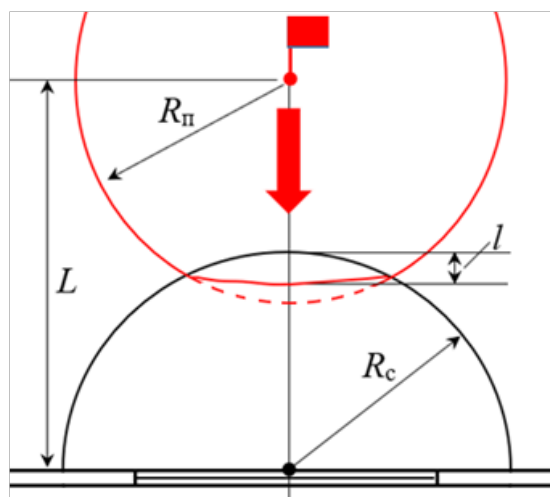


Рисунок 3 – К оценке распространения пламени по пожарной нагрузке, увлажняемой АУСП, к защищаемому проёму

При этом следует рассмотреть два случая – когда ороситель АУСП активируется раньше, чем фронт пламени достигнет границы защищаемого участка (т.е. $t_A < t_n$) и когда ороситель АУСП активируется после того, как фронт пламени достигнет границы защищаемого участка (т.е. $t_A > t_n$) и уже пройдет по нему со стандартной скоростью V_0 [6] путь $l_0 = V_0(t_A - t_n)$.

Исходя из геометрических соображений (рис. 2), получена следующая динамика прохождения фронта пламени по пожарной нагрузке при $t_A > t_n$ (фронт пламени достиг орошаемого участка раньше, чем активировался ороситель):

$$l(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_{н1}, \\ V_0(t - t_{н1}) & \text{при } t \in [t_{н1}, t_A], \\ V_0 \left[t_A - t_{н1} + \frac{(t - t_A)(2t_n - t_A - t)}{2(t_n - t_A)} \right] & \text{при } t \in [t_A, t_n], \\ V_0[0,5(t_A + t_n) - t_{н1}] & \text{при } t > t_n, \end{cases} \quad (1)$$

где $l_{н1} = V_0 \left[\frac{t_A + t_n}{2} - t_{н1} \right]$ – максимальный путь, пройденный фронтом пламени по пожарной нагрузке (рис. 2-в).

Если ороситель АУСП активировался раньше, чем фронт пламени достиг орошаемого участка ($t_A < t_{н2}$):

$$l(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_{н2}, \\ \frac{0,5V_0}{t_n - t_A} (t - t_{н2})(2t_n - t_{н2} - t) & \text{при } t \in [t_{н2}, t_n], \\ \frac{V_0(t_n - t_{н2})^2}{2(t_n - t_A)} & \text{при } t > t_n, \end{cases} \quad (2)$$

При этом необходимое время увлажнения может быть найдено из выражения:

$$t_y = t_n - t_A = \frac{m_n}{I}, \quad (3)$$

где I – интенсивность подачи воды на увлажнение (для схем на рисунке 1-а,б: $I=I_c$, для схемы на рисунке 1-в: $I=2I_c$, I_c – интенсивность расхода оросителя), кг/с/м².

Путь l_n , пройденный на момент t_n пламенем по пожарной нагрузке, увлажняемой АУСП, из выражений (1) и (2) с учётом выражения (3), может быть оценено по выражению:

$$l_n = \begin{cases} V_0 \left(\frac{t_A + t_n}{2} - t_{н1} \right) = V_0 \left(\frac{m_n}{2I} + t_A - t_{н1} \right) & \text{при } t_A \geq t_{н1}, \\ \frac{V_0(t_n - t_{н2})^2}{2(t_n - t_A)} = \frac{V_0 q}{2m_n} \left(\frac{m_n}{I} + t_A - t_{н2} \right)^2 & \text{при } t_A < t_{н2}. \end{cases} \quad (4)$$

Чтобы при задействовании АУСП выполнялось условие преодоления фронтом пламени увлажняемого участка (т.е. $l_n < l_n$) из выражения (4) можно найти необходимые интенсивности:

$$q > \begin{cases} 0,5m_n \left(\frac{l_n}{V_0} - t_A + t_{н1} \right)^{-1} & \text{при } t_A \geq t_{н1}, \\ m_n \left[\frac{l_n}{V_0} - t_A + t_{н2} \pm \sqrt{\frac{l_n}{V_0} \left(\frac{l_n}{V_0} - 2t_A + 2t_{н2} \right)} \right]^{-1} & \text{при } t_A < t_{н2}. \end{cases} \quad (5)$$

Выражения (4) служат для анализа работы АУСП, т.к. позволяют определить путь l_n , пройденный фронтом пламени по увлажняемой пожарной нагрузке, в зависимости от t_A , t_n и соотношения m_n/I .

Экспериментальное обоснование эффективности применения АУСП. В ходе экспериментов, проводимых на базе НИИПИ при Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России, рассматривался эффект сдерживания ОФП для безопасной эвакуации людей при пожаре в помещении как при отсутствии АУСП, так при её включении. Для испытаний использовался модельный стенд с помещениями, имитирующими офис и коридор (рис. 4).

В ходе экспериментов были использованы модельный очаг 0,1 А (рис. 5-а), газоанализатор МАГ-6 П (рис. 5-б) и регистратор термопар «Интеграф» для замера температуры (рис. 5-в).

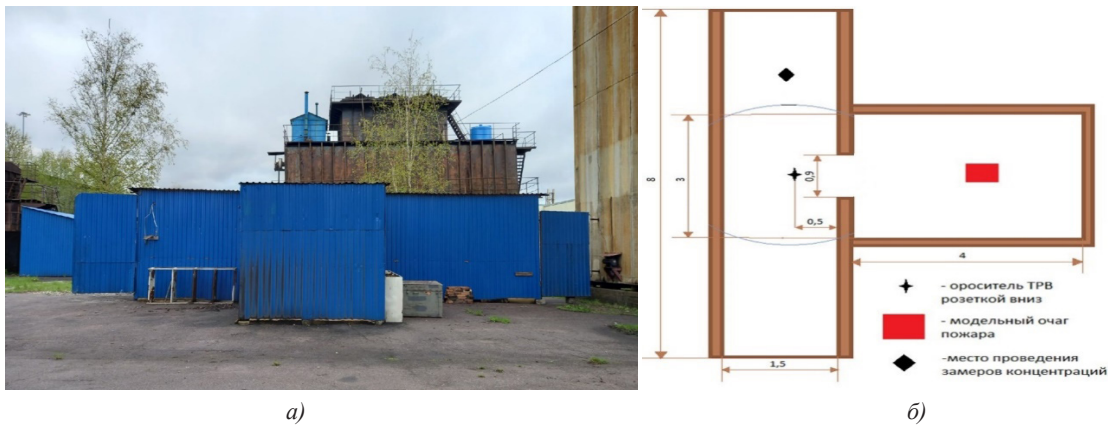


Рисунок 4 – Стенд для проведения натуральных испытаний (а) и схема размещения оросителя и модельного очага (б)

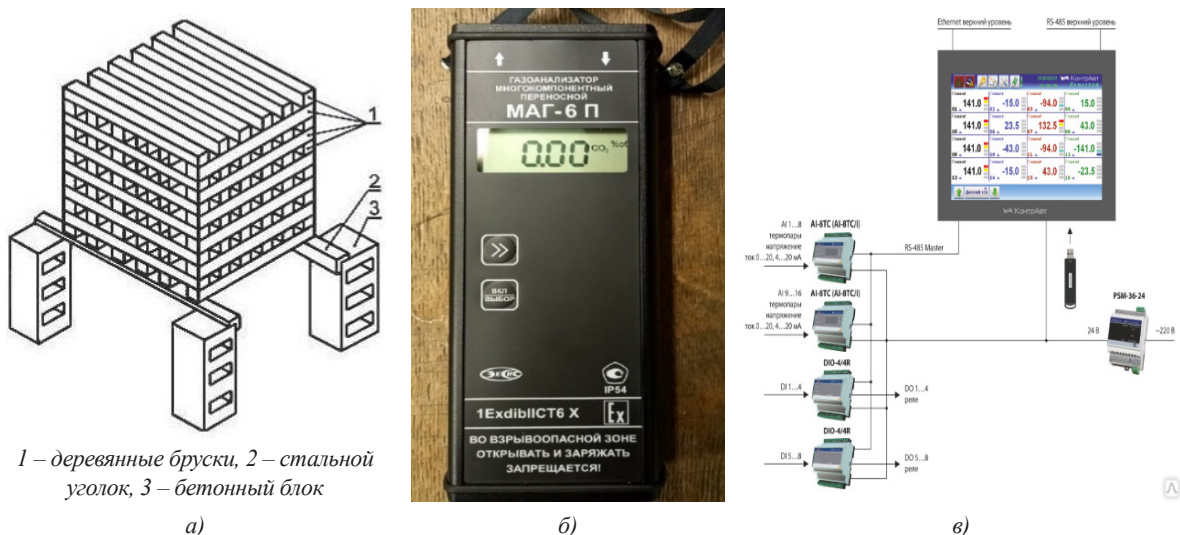


Рисунок 5 – Модельный очаг пожара (а), газоанализатор (б) и регистратор термопар (в), используемые в натуральных испытаниях АУСП

Обсуждение. 1. Оценку эффективности сдерживания ОФП при задействовании АУСП, целесообразно показать на примерах с использованием вышеприведённых аналитических выражений.

1.1. Пусть пожарная нагрузка [7] такова, что линейная скорость пламени по ней $V_0=0,05$ м/с, а насыщение при орошении водой достигается при $m_n=1$ кг/м². Пусть фронт пламени достигает зоны, защищаемой АУСП (рис. 1-а, рис. 3), через $t_{n1}=20$ с, а орошение начинается на 30-й секунде пожара ($t_A=30$ с) и проводится с интенсивностью $I=0,1$ кг/с/м². Требуется определить наибольший путь l_n , который пройдёт фронт пламени по увлажняемой пожарной нагрузке.

Согласно верхней части уравнения (4) получаем:

$$l_n = 0,05 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,1} + 30 - 20 \right) = 0,75 \text{ м.}$$

1.2. Условия как в примере 1.1, но фронт пламени подошёл защищаемой зоне к моменту $t_{n2}=35$ с. Также требуется определить наибольший путь l_n , который

пройдёт фронт пламени по увлажняемой пожарной нагрузке.

Согласно нижней части уравнения (4) получаем:

$$l_n = \frac{0,05 \cdot 0,1}{2 \cdot 1} \left(\frac{1}{0,1} + 30 - 35 \right)^2 = 0,0025 \cdot 25 = 0,0625 \text{ м.}$$

Это свидетельствует о том, что при упреждающем включении оросителя АУСП интенсивность орошения можно было бы уменьшить.

1.3. Пожарная нагрузка, как и в предыдущих примерах, известны времена $t_{n1}=20$ с, $t_A=30$ с (фронт пламени достиг защищаемой зоны раньше, началось чем увлажнение). Требуется найти минимальные интенсивности орошения I при различных допустимых глубинах l_n продвижения пламени по увлажняемой пожарной нагрузке.

Согласно верхней части уравнения (5) получаем:

$$I > 0,5 \cdot 1 \left(\frac{l_n}{0,05} - 30 + 20 \right)^{-1} = \frac{0,5}{20l_n - 10}. \quad (6)$$

Задаваясь величинами l_n , по выражению (6) определяем требуемые интенсивности I (табл. 1).

Таблица 1 – Необходимые интенсивности орошения при $t_{n1}=20$ с и $t_A=30$ с

l_n , м	0,6	0,75	1	2	3
I , кг/с/м ²	0,250	0,100	0,050	0,017	0,010

1.4. Пожарная нагрузка [8-10], как и в предыдущих примерах, известны времена $t_{n1}=35$ с, $t_A=30$ с (увлажнение началось раньше, чем фронт пламени достиг защищаемой зоны). Также требуется найти минимальные интенсивности орошения I при различных допустимых глубинах l_n продвижения пламени по увлажняемой пожарной нагрузке.

Согласно нижней части уравнения (5) получаем:

$$I > 1 \cdot \left[\frac{l_n}{0,05} - 30 + 35 \pm \sqrt{\frac{l_n}{0,05} \left(\frac{l_n}{0,05} - 2 \cdot 30 + 2 \cdot 35 \right)} \right]^{-1} = [20l_n + 5 \pm 20\sqrt{l_n(l_n + 0,5)}]^{-1} \quad (7)$$

Задаваясь величинами l_n , по выражению (7) определяем (исходя из физического смысла выбираем «+») требуемые интенсивности I (табл. 2).

Таблица 2 – Необходимые интенсивности орошения при $t_A=30$ с и $t_{n2}=35$ с

l_n , м	0,0625	0,1	0,5	0,75	1	2	3
I , кг/с/м ²	0,1	0,0840	0,0343	0,0254	0,0202	0,0111	0,0077

Сравнивая таблицы 1 и 2, легко увидеть, что скорость распространения фронта пламени зависит от предварительного смачивания пожарной нагрузки [11-16]. Из этого можно сделать вывод о том, что раннее срабатывание системы АУСП позволит снизить нормативную интенсивность орошения. Это вполне согласуется с физическим смыслом.

Таким образом, расчётным путём показано, что АУСП позволяет блокировать распространение ОФП через проёмы при пожаре в помещении, чем обеспечить эвакуацию людей, также предотвратить продвижение фронта пламени по помещению.

2. Задача эксперимента заключалась в том, чтобы подтвердить возможность эвакуации людей по коридору (рис. 4-б), если в помещении с открытым проёмом, выходящим в коридор, возник пожар. Для этого в боковом помещении стенда (рис. 4) был активирован модельный очаг пожара (рис. 5-а, рис. 6).

Поскольку наибольшую опасность при эвакуации людей при пожаре могут представлять окись и двуокись углерода (CO и CO_2), в ходе экспериментов измерялась их концентрация как

при свободном развитии пожара, так и при срабатывании оросителей АУСП.

На рисунке 7-а представлена динамика концентрации CO при свободном развитии пожара, на рисунке 7-б – при срабатывании АУСП на 3-й минуте пожара.

На рисунке 8 аналогично представлена динамика концентрации CO_2 при свободном развитии пожара и при срабатывании АУСП [16-25]. На рисунке 9 можно увидеть влияние работы оросителя на температуру внутри помещения. Как следует из рисунков 7-9, оборудование помещений АУСП позволяет сдерживать рост ОФП и обеспечить тем самым эвакуацию людей при пожаре.

Также в ходе проведения испытаний был отмечен эффект сдерживания задымления в пределах помещения с очагом пожара, что даёт возможность обосновать эффективность вышеприведённых схем размещения оросителей АУСП. При этом АУСП позволяет не только сдерживать ОФП, но и не препятствовать эвакуации ввиду ограниченности расхода ОТВ из оросителей.

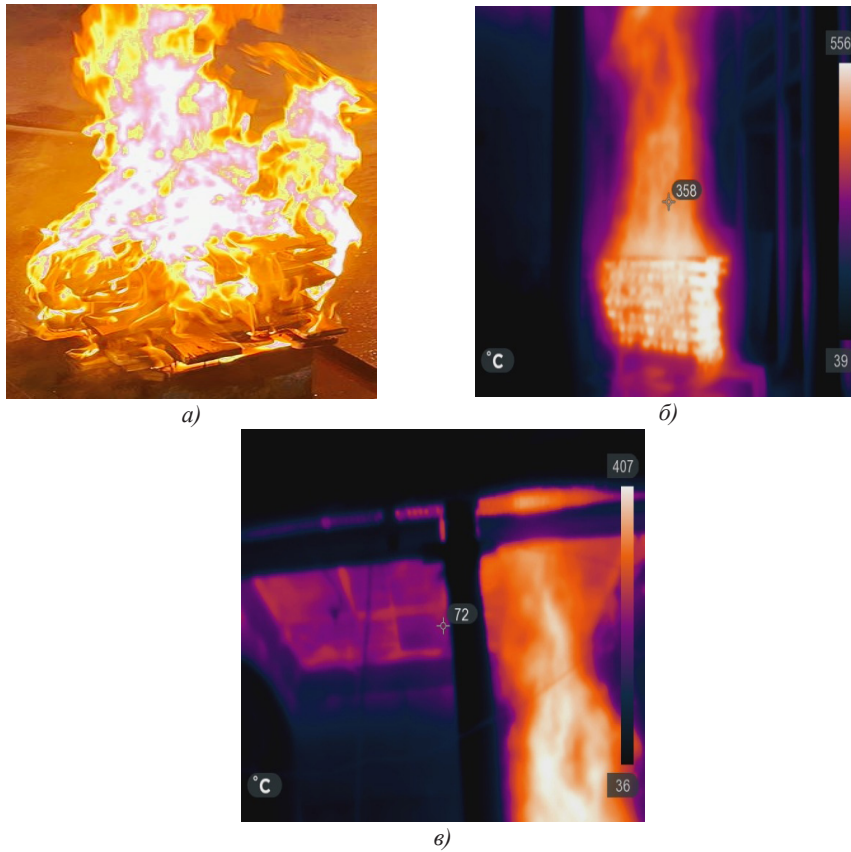


Рисунок 6 – Горение модельного очага (а, б) и конвективная колонка – вид на потолок (в), (б, в – фото тепловизора)

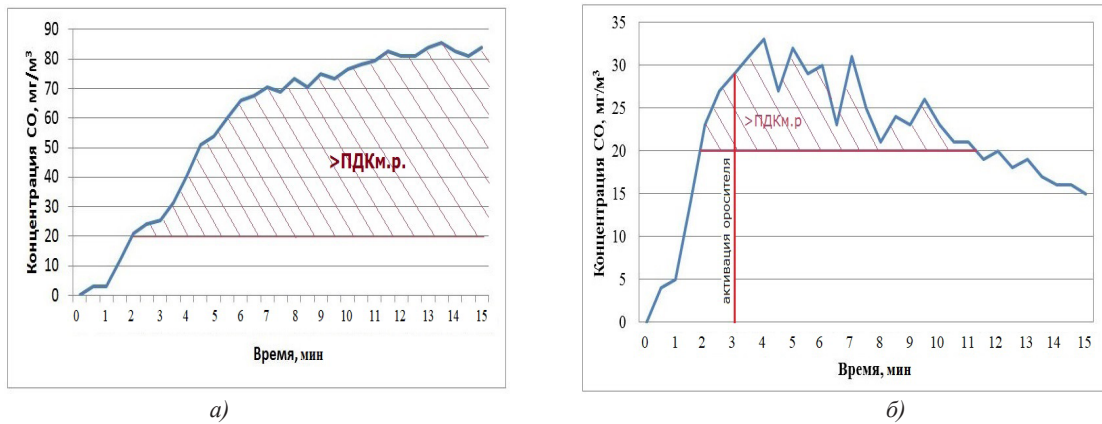


Рисунок 7 – Динамика концентрации окиси углерода при свободном развитии пожара (а) и при срабатывании АУСП (б), по горизонтальной оси время в минутах

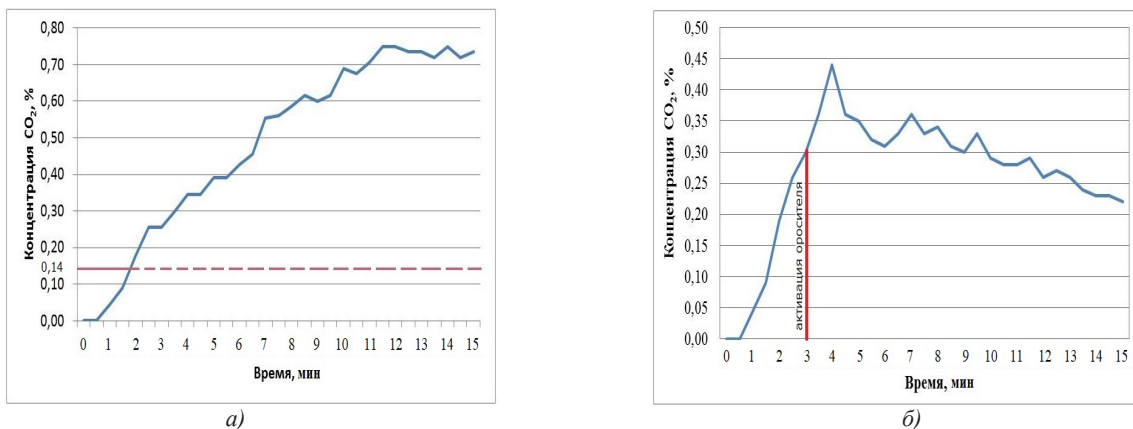


Рисунок 8 – Динамика концентрации двуокиси углерода при свободном развитии пожара (а) и при срабатывании АУСП (б), по горизонтальной оси время в минутах

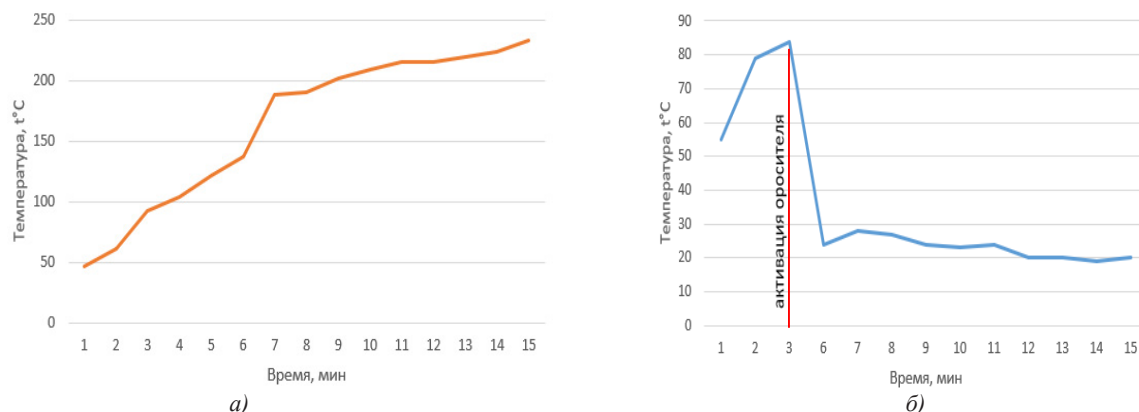


Рисунок 9 – Динамика изменения температуры при свободном развитии пожара (а) и при срабатывании АУСП (б), по горизонтальной оси время в минутах

Выводы. В работе приведены рабочие схемы размещения оросителей АУСП в помещении, позволяющие как блокировать распространение ОФП через проёмы, так и по площади помещения в целом.

Выведены аналитические выражения, позволяющие обосновать эффект сдерживания ОФП как в случае упреждающего орошения пожарной нагрузки перед направлением распространения горения, так и когда ороситель АУСП активировался от теплового потока из площади пожара. Полученные выражения позволяют найти рациональные величины интенсивности орошения.

Проведен натурный эксперимент, в котором по результатам регистрации динамики параметров ОФП при горении модельного очага пожара показана возможность сдерживания распространения токсичных продуктов горения и температуры в проёме помещения. Таким образом, подтверждающий эффективность применения АУСП в помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ (с учётом изменений и дополнений), ст. 117.
2. ГОСТ Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний (проект).
3. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бондар А.И. и др. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // «Пожаровзрывобезопасность». – №6. – Т. 28. – 2019. – С. 71-79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.
4. Танклевский Л.Т., Зыбина О.А., Таранцев А.А. О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара // Проблемы управления рисками в техносфере». – №4 [52]. – 2019. – С.67-72.
5. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бондар А.И., Балабанов И.Д. Об особенностях реализации автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность. – №5. – 2022. – С.43-53.
6. Терёбнёв В.В. Справочник РТП. Екатеринбург: Изд-во «Калан». – 2018. – 280 с.
7. Пожарная нагрузка справочник. СИТИС-СПН-1. Редакция 3, 20.06.2014.
8. Xin Yibing, Burchesky K., de Vries J., Magistrale H., Zhou X., D'Aniello S. SMART sprinkler protection for highly challenging fires – Part I: System design and function evaluation. Fire Technology. – 2016. – Vol. 53. – No. 5. – P. 1847-1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
9. Груданова О.В., Таранцев А.А., Королева Л.А. Об экономической оценке двух путей модернизации автоматических установок пожаротушения // Проблемы управления

- рисками в техносфере. – 2007. – № 1. – С. – 38-42.
10. Мешман Л.М., Цариченко С.Г., Былинкин В.А., Алешин В.В., Губин Р.Ю. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / под общ. ред. Н.П. Копылова. М.: ВНИИПО МЧС РФ, 2002. – 413 с.
11. Dougal Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, 3rd Edition [J], 2011, <https://doi.org/10.1002/9781119975465:349-386>.
12. F.A. Williams, Mechanisms of fire spread [J], Symposium (International) on Combustion 16 (1) (1977) 1281-1294.
13. J.N. De Ris, Spread of a laminar diffusion flame [J], Symposium (International) on Combustion 12 (1) (1969) 241–252.
14. A.C. Fernandez-Pello, A theoretical model for the upward laminar spread of flames over vertical fuel surfaces [J], Combust. Flame 31 (1978) 135–148.
15. M.A. Delichatsios, Surface extinction of flames on solids: some interesting results [J], Proc. Combust. Inst. 31 (2) (2007) 2749–2756.
16. E. Alfred, Frey, et al., Near-limit flame spread over paper samples [J], Combust. Flame 26 (1) (1976) 257–267.
17. J.G. Quintiere, The effects of angular orientation on flame spread over thin materials [J], Fire Saf. J. 36 (NO.3) (2001) 291–312. [8] K.K. Wu, W.F. Fan, C.H. Chen, et al., Downward flame spread over a thick PMMA slab in an opposed flow environment: experiment and modeling [J], Combust. Flame 132 (4) (2003) 697–707.
18. Y. Kobayashi, K. Terashima, R. Oiwa, et al. Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic under variable flow velocity and oxygen concentration: the effect of in-plane thermal isotropy and anisotropy [J], Proc. Combust. Inst. (2) (2020).
19. J. Gong, X. Zhou, J. Li, et al., Effect of finite dimension on downward flame spread over PMMA slabs: experimental and theoretical study [J], Int. J. Heat Mass Tran. 91 (2015) 225–234.
20. S. Gao, G. Zhu, Y. Gao, et al., Experimental study on width effects on downward flame spread over thin PMMA under limited distance condition [J], Case Stud. Therm. Eng. 13 (2018), 100382.
21. Илюшов Н.Я. Автоматические установки пожаротушения. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. 134 с.
22. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1107. P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012 FIRE AND EXPLOSION SAFETY 2021 TOM 30 № 141
23. Drysdale D. An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, 1985. – 424 p.
24. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of the thermal pyrolysis model to predict flame spread over continuous and discrete fire load // Fire Safety Journal. – 2019. – Vol. 108. – P. 102825. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102825
25. Маркус Е.С., Снегирев А.Ю., Кузнецов Е.А., Танклевский Л.Т., Аракчеев А.В. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2019. – Т. 28. – № 4. – С. 29-41. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.29-41.

Статья поступила в редакцию 14.07.2023
Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 614.8

EDN: VXKQLO

**МЕТОДИКА БАЛЛЬНО-ФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ИНИЦИИРУЮЩИХ
ПОЖАРООПАСНЫЕ СИТУАЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ НАДЗЕМНЫХ ЕМКостей АГЗС**

© Авторы 2023

SPIN: 6944-7537

AuthorID: 906512

ORCID: 0009-0008-0435-5788

ОРЛОВСКИЙ Пётр Сергеевич, аспирант*Белорусско-Российский университет**(212000, Беларусь, Могилёв, проспект Мира, 43, e-mail: piotr080694@yandex.ru)*

SPIN: 8180-9072

AuthorID: 535992

ORCID: 0000-0001-8572-4697

ResearcherID: R-1013-2017

ScopusID: 57205428646

БЫЗОВ Антон Прокопьевич, кандидат технических наук, доцент,

доцент Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института

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

SPIN: 9999-3796

AuthorID: 703733

ORCID: 0000-0001-7936-4517

ResearcherID: S-5079-2017

ScopusID: 57201959692

АНДРЕЕВ Андрей Викторович, кандидат военных наук, доцент,

директор Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института

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

Аннотация. Целью данной статьи является разработка системы балльно-факторной оценки вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии на основе существующих подходов к анализу пожарного риска на опасных производственных объектах. Для достижения цели исследования и формирования балльной оценки во взаимодействии с организацией, эксплуатирующей емкости хранения веществ под давлением, был получен ряд факторов, которые в дальнейшем были разделены на шесть групп. В работе были применены методы: анализа иерархий, сравнение, аналогия, изучение документов и результатов деятельности. Представлены результаты исследования и оценки вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии на опасном производственном объекте. Результатом работы являются разработанная система балльной оценки с группами факторов влияния на вероятность аварийной ситуации и полученные весовые коэффициенты групп и самих факторов. Предложена методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для надземных резервуаров сжиженных углеводородных газов (СУГ), расположенных и эксплуатируемых на автомобильных газозаправочных станциях. Полученные результаты можно будет применять при оценке пожарного риска для объектов, на которых могут произойти аварии, связанные с образованием взрывопожароопасной ситуации.

Ключевые слова: резервуар, авария, вероятность, метод, анализ, автомобильная газозаправочная станция, сжиженный углеводородный газ, риск, опасность, разгерметизация.

**METHOD FOR SCORE-FACTOR EVALUATION OF THE FREQUENCY OF FIRE HAZARDOUS
SITUATIONS INITIATED FOR ABOVE-GROUND RESERVOIRS OF GFS**

© The Authors 2023

ORLOVSKY Piotr Sergeevich, post-graduate student*Belarusian-Russian University**(212000, Belarus, Mogilev, Mira Ave, 43, e-mail: piotr080694@yandex.ru)***BYZOV Anton Prokop'evich**, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, Russia, St. Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru)***ANDREEV Andrey Viktorovich**, candidate of military sciences, associate professor,

director of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

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

Abstract. The purpose of this article is to develop a system of point-factor risk assessment of various emergency and organizational measures in high-risk conditions based on a quick approach to fire risk analysis at hazardous production facilities. To achieve the goal of the study and to form a scoring of the level of consumption using the concentration of accumulation under pressure, a number of options were obtained, which were further divided into six groups. The following methods were applied in the work: analysis of hierarchies, comparison, comparison, study of documents and results of activities. Presentation of the results of studies and assessments of the contributions of various technical and organizational measures to the assessment of the risk of natural disasters at a hazardous production facility. The result of the work is the developed scoring system, taking into account the results of the analysis of the probability of the occurrence of the situation and the obtained weight coefficients of factors and factors. A method for point-factor estimation of the frequency of occurrence of fire hazardous situations for above-ground LPG tanks, based on the use at automobile gas filling stations, is proposed. The results obtained can be applied in assessing the fire risk for objects in case of emergencies associated with the formation of an explosive and fire hazardous situation.

Keywords: reservoir, accident, probability, method, analysis, gas filling station, liquefied hydrocarbon gas, risk, danger, depressurization.

Для цитирования: Орловский П.С. Методика балльно-факторной оценки частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий для надземных емкостей АГЗС / П.С. Орловский, А.П. Бызов, А.В. Андреев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 141-146. – EDN: VVKQLO.

Введение. Одним из инструментов оценки пожарной опасности является определение расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Принятый подход к оценке пожарного риска [1] предусматривает оценку частот реализации пожароопасных ситуаций на основе типовой частоты реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для типового оборудования опасных производственных объектов. Однако, при использовании частоты разгерметизации для типового оборудования не учитывается множество факторов, характерных для конкретного оборудования, которые оказывают влияние на повышение или понижение частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий.

С учетом роста популярности газового оборудования для автомобилей, а также размещения автогазозаправочных станций вблизи мест проживания или скопления населения вопросы оценки пожарного риска являются актуальными [2-7].

В рамках написания статьи была разработана система балльно-факторной оценки влияния различных технических и организационных мероприятий на величину частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий. В результате анализа норм проектирования и эксплуатации надземных резервуаров СУГ получен перечень факторов, которые являются основой для балльно-факторной оценки [8-9].

Методология. Цель исследования – на основе требований в области проектирования, строительства и эксплуатации автогазозаправочных станций, а также опыта их эксплуатации разработать систему факторов, влияющих на величину частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий, а также оценить веса указанных факторов.

В работе был применён метод анализа иерархий с построением матриц парных сравнений для вычисления весовых коэффициентов важности групп

факторов и важности самих факторов в этих группах.

Объектом исследования в работе является автомобильная газозаправочная станция с установленным надземным способом стальным горизонтальным резервуаром, наполненным сжиженным углеводородным газом.

Предмет исследования – система факторов, оказывающих влияние на частоту иницирующего пожароопасную ситуацию событие – разгерметизацию резервуара.

Результаты. В результате анализа методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (Приказ МЧС №404 от 10.07.2009 [1]), методических основ анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах (Приказ Ростехнадзора №387 от 03.11.2022 [10]) и других источников [11-24], а также данных о частотах разгерметизации резервуаров с полным разрушением, а также с последующим истечением газа через отверстие, было установлено, что одним из подходов к оценке вероятности может стать балльно-факторный метод. Который предусматривает разработку иерархической системы факторов, определение их весов и правил расчета баллов для каждого фактора.

Ожидаемая частота аварии на рассматриваемом объекте рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{част}} = P_{\text{ср}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{\text{ср}}},$$

где $P_{\text{ср}}$ – в качестве частоты для разгерметизации среднестатистической емкости хранения веществ под давлением можем использовать данные, приведённые в Приказе №387 [10], взяв сумму частоты полного разрушения и частоты истечения через отверстие эффективным диаметром 10 мм равную $1,1 \times 10^{-5}$;

$B_{\text{ср}}$ – балльная оценка среднестатистической емкости хранения СУГ, разгерметизация которой

соответствует среднестатистической частоте аварий;

B_j – балльная оценка наблюдаемого на объекте фактора F_j , определяемая с помощью соответствующей балльно-факторной функции;

p_i – весовой коэффициент i -той группы факторов;

q_j – доля (весовой коэффициент) j -го фактора в i -той группе;

$I = 6$ – общее число групп факторов влияния;

$J(i)$ – общее число факторов влияния в i -ой группе.

Для оценки частоты аварии на автомобильной газозаправочной станции (АГЗС) необходимо ввести систему группировки факторов влияния в соответствии с причинами аварий, выявленными при анализе статистических данных по авариям. По этим данным выделяем группы факторов влияния с указанием вклада каждой группы. Доля группы получена с помощью метода анализа иерархий.

Наиболее простым подходом к балльной оценке каждого фактора влияния является применение экспертных оценок в диапазоне от 0 баллов, что соответствует наилучшему выполнению условий обеспечения безопасности для соответствующего фактора, до 10 баллов, что соответствует наихудшему выполнению условий обеспечения безопасности, 5 баллов должны соответствовать среднестатистическим балльным оценкам по каждому фактору влияния. В этом случае в качестве среднестатистической балльной оценки может быть принята величина 5 баллов.

В каждой группе имеется различное количество факторов влияния.

При балльно-факторной оценке ожидаемой частоты аварий на АГЗС используется совокупность наиболее значимых факторов, влияющих на вероятность разрушения надземного резервуара СУГ, которая разделена на 6 групп (табл. 1).

Из статистических данных по авариям на эксплуатируемых опасных объектах (резервуарах СУГ) рассматриваются следующие группы факторов влияния [25] (табл. 1).

Весовые коэффициенты для групп факторов были получены методом анализа иерархий (МАИ).

Чтобы установить приоритеты групп и получить

оценки, в МАИ используется метод парных сравнений – строятся матрицы парных сравнений.

Таблица 1 – Группы факторов влияния

Номер группы	Название группы факторов	Весовой коэффициент
FG ₁	Механические разрушения	0,14
FG ₂	Внешние условия	0,09
FG ₃	Хрупкие разрушения при низких температурах	0,06
FG ₄	Коррозия	0,08
FG ₅	Уровень технической эксплуатации	0,44
FG ₆	Природные воздействия	0,19
Итого		1,00

При построении матриц парных сравнений используются шкалой важности (табл. 2).

По каждой матрице определяется вектор локальных приоритетов. В каждой строке матрицы рассчитываем геометрическое среднее. Затем находим сумму полученных значений. А далее делим геометрическое среднее каждого элемента на эту сумму. Так мы получим приоритеты сравниваемых факторов.

В таблице 3 представлена матрица для сравнения групп факторов, которые попарно сравнивались, в результате чего по полученным приоритетам самой важной оказалась группа FG₅ «Уровень технической эксплуатации».

В таблице 4 представлена оценка важности факторов в первой группе «Механические разрушения». Где самым важным оказался фактор F₁₂ «Дефекты сварных швов».

Далее аналогичным методом проводилось сравнение и определение важности факторов в других группах (табл. 5-9).

В таблице 10 представлены факторы влияния и их весовые коэффициенты. Разработка факторов велась методом мозгового штурма с привлечением представителей организации, эксплуатирующей АГЗС. При определении важности фактора составлялась фраза из шаблона, приведенного в последнем столбце таблицы 2, наиболее полно отражающая логическую зависимость.

Таблица 2 – Шкала важности

Присваиваемый балл	Пояснение	Конструкция контрольной фразы
1	Равная важность	<<наименование фактора>> «А» равнозначен <<наименование фактора>> «Б»
3	Умеренное превосходство	<<наименование фактора>> «А» немного больше влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
5	Существенное превосходство	<<наименование фактора>> «А» существенно сильнее влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
7	Значительное превосходство	<<наименование фактора>> «А» значительно сильнее влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
9	Максимальное превосходство	<<наименование фактора>> «А» максимально сильно влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
2,4,6,8	Промежуточные степени превосходства (при необходимости)	

Таблица 3 – Оценка важности групп факторов

Группа	FG ₁	FG ₂	FG ₃	FG ₄	FG ₅	FG ₆	Произведение (Π)	Корень 6 степени из произведения ($\sqrt[6]{\Pi}$)	Приоритет
FG ₁	1	3	5	5	1/5	1/3	4,95	1,305	0,134
FG ₂	1/3	1	3	5	1/5	1/3	0,33	0,831	0,086
FG ₃	1/5	1/3	1	3	1/7	1/5	0,057	0,620	0,064
FG ₄	1/5	1/5	3	1	1/7	1/5	0,26	0,798	0,082
FG ₅	5	5	7	7	1	5	6125	4,277	0,44
FG ₆	3	3	5	5	1/5	1	45	1,886	0,194
Итого								9,717	1,000

Таблица 4 – Оценка важности факторов в группе FG₁ «Механические разрушения»

Фактор	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅	F ₁₆	F ₁₇	F ₁₈	Произведение (Π)	Корень 8 степени из произведения ($\sqrt[8]{\Pi}$)	Приоритет
F ₁₁	1	1/3	1/3	3	5	7	3	3	105	1,789	0,168
F ₁₂	3	1	2	4	6	7	4	4	16128	3,357	0,312
F ₁₃	3	1/2	1	1/4	4	6	1/4	2	4,5	1,207	0,112
F ₁₄	1/3	1/4	4	1	4	6	3	3	72	1,707	0,159
F ₁₅	1/5	1/6	1/4	1/4	1	3	1/5	1/2	6,25×10 ⁻⁴	0,398	0,037
F ₁₆	1/7	1/7	1/6	1/6	1/3	1	1/5	1/6	6,3×10 ⁻⁶	0,224	0,021
F ₁₇	1/3	1/4	4	1/3	5	5	1	6	16,66	1,421	0,132
F ₁₈	1/3	1/4	1/2	1/3	2	6	1/6	1	0,027	0,637	0,059
Итого										10,74	1,000

Таблица 5 – Оценка важности факторов в группе FG₂ «Внешние воздействия»

Фактор	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₂₄	F ₂₅	F ₂₆	F ₂₇	Произведение (Π)	Корень 7 степени из произведения ($\sqrt[7]{\Pi}$)	Приоритет
F ₂₁	1	5	7	1	1/3	1/3	5	19,444	1,528	0,15
F ₂₂	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5	1/7	0,0003	0,314	0,03
F ₂₃	1/7	1	1	1/7	1/7	1/3	1/7	0,0001	0,268	0,03
F ₂₄	1	5	7	1	1/5	1/3	3	7	1,32	0,13
F ₂₅	3	5	7	5	1	3	7	11025	3,78	0,37
F ₂₆	3	5	3	3	1/3	1	5	225	2,168	0,22
F ₂₇	1/5	7	7	1/3	1/7	1/5	1	0,093	0,712	0,07
Итого									10,09	1,000

Таблица 6 – Оценка важности факторов в группе FG₃ «Хрупкие разрушения при низких температурах»

Фактор	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃	Произведение (Π)	Корень 3 степени из произведения ($\sqrt[3]{\Pi}$)	Приоритет
F ₃₁	1	1/7	1/3	0,048	0,363	0,088
F ₃₂	7	1	3	21	2,759	0,669
F ₃₃	3	1/3	1	1	1	0,243
Итого					4,122	1,000

Таблица 7 – Оценка важности факторов в группе FG₄ «Коррозия»

Фактор	F ₄₁	F ₄₂	F ₄₃	Произведение (Π)	Корень 3 степени из произведения ($\sqrt[3]{\Pi}$)	Приоритет
F ₄₁	1	1/5	1/3	0,066	0,404	0,105
F ₄₂	5	1	3	15	2,466	0,637
F ₄₃	3	1/3	1	1	1	0,258
Итого					3,870	1,000

Таблица 8 – Оценка важности факторов в группе FG₅ «Уровень технической эксплуатации»

Фактор	F ₅₁	F ₅₂	F ₅₃	F ₅₄	F ₅₅	F ₅₆	Произведение (Π)	Корень 6 степени из произведения ($\sqrt[6]{\Pi}$)	Приоритет
F ₅₁	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3	0,0005	0,282	0,034
F ₅₂	7	1	5	3	3	3	945	3,133	0,374
F ₅₃	5	1/5	1	1/3	3	3	3	1,2	0,143
F ₅₄	7	1/3	3	1	7	5	245	2,501	0,298
F ₅₅	3	1/3	1/3	1/7	1	1/3	0,016	0,502	0,060
F ₅₆	3	1/3	1/3	1/5	3	1	0,2	0,765	0,091
Итого								8,383	1,000

Таблица 9 – Оценка важности факторов в группе FG₆ «Природные воздействия»

Фактор	F ₆₁	F ₆₂	F ₆₃	F ₆₄	Произведение (И)	Корень 4 степени из произведения ($\sqrt[4]{\Pi}$)	Приоритет
F ₆₁	1	5	1/7	1/3	0,238	0,698	0,114
F ₆₂	1/5	1	1/7	1/3	0,01	0,316	0,052
F ₆₃	7	7	1	5	245	3,956	0,645
F ₆₄	3	3	1/5	1	1,8	1,158	0,189
Итого						6,128	1,000

Таблица 10 – Факторы влияния

Группа факторов	Вес группы	Фактор влияния		Вес фактора в группе
FG ₁ ; Механические разрушения	0,14	F ₁₁	Отношение фактической толщины стенки резервуара к требуемой	0,17
		F ₁₂	Дефекты сварных швов	0,31
		F ₁₃	Рабочее (избыточное) давление	0,11
		F ₁₄	Исправность и надежность запорной и предохранительной арматуры	0,16
		F ₁₅	Гидроиспытания	0,04
		F ₁₆	Возможность возникновения гидравлических ударов	0,02
		F ₁₇	Система автоматизированного контроля (наличие)	0,13
		F ₁₈	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине механических разрушений	0,06
FG ₂ ; Внешние условия	0,09	F ₂₁	Наличие взрывопожароопасных веществ вблизи емкости	0,15
		F ₂₂	Грузооборот	0,03
		F ₂₃	Региональный фактор культуры вождения (вероятность наезда, удара)	0,03
		F ₂₄	Нарушение требований пожарной безопасности при выполнении огневых работ	0,13
		F ₂₅	Диверсионный акт (теракт)	0,37
		F ₂₆	Защита от пожара	0,22
		F ₂₇	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС из-за воздействия 3-х лиц	0,07
FG ₃ ; Хрупкие разрушения при низких температурах	0,06	F ₃₁	Климатические условия (регион)	0,09
		F ₃₂	Исполнение материала (хладостойкий и не хладостойкий)	0,67
		F ₃₃	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине хрупкого разрушения при низких температурах	0,24
FG ₄ ; Коррозия	0,08	F ₄₁	Температура окружающей среды	0,11
		F ₄₂	Наличие дефектов лакокрасочного покрытия	0,63
		F ₄₃	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине коррозии	0,26
FG ₅ ; Уровень технической эксплуатации	0,44	F ₅₁	Эксплуатационная документация	0,03
		F ₅₂	Надежность системы противоаварийной защиты	0,37
		F ₅₃	Квалификация персонала	0,15
		F ₅₄	Нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей	0,30
		F ₅₅	Защита от статического электричества	0,06
		F ₅₆	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине нарушений правил эксплуатации	0,09
FG ₆ ; Природные воздействия	0,19	F ₆₁	Подвижки и деформации грунта	0,11
		F ₆₂	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,05
		F ₆₃	Грозовая активность	0,65
		F ₆₄	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине природных воздействий	0,19

При формировании балльной оценки для факторов типа «Аварии и отказы, имевшие место по причине...» из каждой группы факторов, может быть принят подход, основанный на присвоении максимальной оценки в 10 баллов в случае возникновения ранее аварии на объекте по причинам, соответствующим группе факторов, при этом балльные

оценки при возникновении отказов оцениваются экспертно в зависимости от тяжести их последствий.

Обсуждение. Одним из наиболее распространённых подходов к оценке частоты инициирующих событий является метод «дереьев отказов», в основу которого положен аппарат алгебры логики и использования логических операторов «И» и

«ИЛИ» [1,10, 13-22]. Вероятность реализации иницирующего события определяется исходя из вероятностей реализации исходных событий или их комбинаций. Однако, задача определения вероятностей исходных событий является весьма затруднительной и не представлена в виде готового решения в существующих нормативных методиках [10-12].

При этом подход, основанный на балльно-факторной оценке обладает значительным преимуществом с точки зрения возможности использования широкого круга факторов влияния и их оценки. Основным недостатком использованного подхода является его субъективность и чувствительность по отношению к уровню квалификации эксперта или экспертной группы.

Выводы. В результате проведенного анализа была предложена методика балльно-факторной оценки частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий для наземных резервуаров СУГ. Были выявлены 31 фактор влияния на частоту возникновения иницирующих пожароопасные ситуации событий, объединённые в 6 групп. Весовые коэффициенты определены методом анализа иерархий с учетом опыта эксплуатации автогазозаправочных станций.

Развитие данного подхода следует реализовывать в направлении повышения объективности оценок весовых коэффициентов, путем привлечения к обсуждению широкого круга специалистов в области проектирования, строительства и эксплуатации резервуаров с СУГ.

Кроме того, разработка единой системы оценивания балльных оценок по каждому фактору позволит осуществлять оценку и сравнение частот возникновения иницирующих событий, а также даст возможность разрабатывать специальные мероприятия по снижению риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах".
2. Орловский П.С. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах нефтепродуктообеспечения в Республике Беларусь // Актуальные проблемы науки и техники. Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., ФГБОУ ВО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова". Ижевск, 2022. – С. 841-843.
3. Орловский П.С., Гуменюк В.И. Концепция рисков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 247-248.
4. Орловский П.С. Анализ существующих норм и требований в области проектирования и эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. мол. уч. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 130.
5. Полохович М.А. Риск-ориентированный подход в управлении промышленной безопасностью // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13-14 апреля 2017 года. – Санкт-Петербург: Политехнического университета, 2017. – С. 121-125.
6. Колесников, Е.Ю., Филиппидис В. Проблемы риск-ориентированного подхода // Проблемы анализа риска. –

2021. – Т. 18. – № 6. – С. 84-92.

7. Румянцева Н.В., Логвинова Ю.В., Ульянов А.И. Подходы к оценке профессионального риска // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2019. – № 3. – С. 441-448.
8. Орловский П.С. Оценка вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2022): материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию УГАТУ. Уфа, 2022. – С. 59-61.
9. Орловский П.С. Влияние особенностей проектов АЗС на величину риска аварии // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 125.
10. Приказ Ростехнадзора от 03.11.2022 N 387 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах".
11. Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 N 478 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах".
12. Приказ Ростехнадзора от 22.12.2022 N 454 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа".
13. Marques RO, de Vasconcelos V. Risk Management //VII Annual Scientific Initiation Seminar of the Nuclear Technology Development Center Abstract book. – С. 29.
14. Jin Jun. Risk assessment method for vapor cloud explosion accident // Fire technology and product information. – 2014. – №. 12. – С. 25-27.
15. Liu, Kui, Shin, Man-pair. Application of the TNO multi-energy method to estimate the blast resistance requirements of buildings in petrochemical companies – 2021. – Т. 51. – №. 3. – С. 69.
16. Zemenkova M. Y. et al. System of controlling the reliability of hydraulic machinery in oil and gas facilities //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 127. – №. 1. – С. 012055.
17. Zhang B., Liu Y., Qiao S. A quantitative individual risk assessment method in process facilities with toxic gas release hazards: a combined scenario set and CFD approach //Process safety progress. – 2019. – Т. 38. – №. 1. – С. 52-60.
18. Stankovic G. et al. Influence of implementation of technologically advanced evacuation models on the process of decreasing the risk during accidents in an LNG terminal //Transport Problems. – 2017. – Т. 12.
19. E. Shashi Menon, Pipeline Planning and Construction Field Manual, Elsevier Inc. 2011. – С. 552.
20. Transportation research board special report 324 Designing Safety Regulations for High-Hazard Industries/The National Academies Press, 2018.
21. Usman Abubakar An Overview of the Occupational Safety and Health Systems of Nigeria, UK, USA, Australia and China: Nigeria Being the Reference Case Study/ American Journal of Educational Research, 2015. – Vol. 3. – No. 11. – P. 1350-1358.
22. Institution of Gas Engineers and Managers. Steel pipelines for high pressure gas transmission. IGEM/TSP/21/006. – 2021.
23. Колесников Е.Ю. Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов // Надежность. – 2020. – Т. 20. – № 3. – С. 61-67.
24. Колесников Е.Ю. Необходимость учета неопределенности при количественной оценке пожарного риска // Пожарная безопасность. – 2022. – № 4(109). – С. 89-98.
25. Емельянова В.А. Оценка безопасности функционирования автомобильной газозаправочной станции посредством анализа техногенного риска // Проблемы анализа риска: научно-практический журнал. – Т. 17. – 2020. – №2. – С. 74-85.

Статья поступила в редакцию 21.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.45:613.6

EDN: IOTVCSX

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ ПО МЕТОДИКЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 5350-3579

AuthorID: 689956

ORCID: 0000-0002-8325-1598

ScopusID: 57204675457

БОГДАНОВ Андрей Владимирович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Южно-Уральский государственный университет
(454080, Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: avbogdanov@susu.ru)

SPIN: 9982-1802

AuthorID: 1159356

ScopusID: 57223200484

ФИЛИППОВ Александр Николаевич, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Южно-Уральский государственный университет

(454080, Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: filalektnik@mail.ru)

МЛОТОК Алексей Владимирович, кандидат технических наук,
заместитель главного инженера – начальник управления,
Филиал ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго»,

(454000, Россия, Челябинск, пл. Революции, 5, e-mail: mlotok-av@rosseti-ural.ru)

Аннотация. Для оценки условий труда работников организаций используются показатели профессионального риска, получаемые различными методами, каждый из которых имеет достоинства и недостатки, но они не учитывают влияние на организм работника всех производственных факторов. На кафедре Безопасности жизнедеятельности Южно-Уральского государственного университета разработана методика оценки профессионального риска, в которой используется интегральная оценка условий труда на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности. Данная методика позволяет учесть влияние всех производственных факторов на организм работника. В зависимости от значения показателя, рассчитанного по методике определяется одна из пяти категорий риска: низкий, умеренный, средний, значительный и высокий. Методика универсальна и может использоваться в организациях с любым видом экономической деятельности. В данной статье проводится сопоставление результатов определения профессионального риска работников по методике интегральной оценки и специальной оценки условий труда для филиала ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго». Результаты сравнения показали, что второй класс условий труда – безопасные (допустимые) условия труда соотносятся с низкой категорией профессионального риска, а третий класс условий труда первой степени соотносится с умеренной и средней категориями риска. Сделан вывод о том, что для большинства структурных подразделений классы условий труда соответствуют категориям профессионального риска, определённых по методике интегральной оценки, а расхождение составляет менее 10%. То есть, определение категорий профессионального риска по методике интегральной оценки отражает реальную картину условий труда, а её применение целесообразно.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, интегральная оценка условий труда, специальная оценка условий труда.

COMPARISON OF THE RESULTS OF THE OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT OF EMPLOYEES VIA THE METHOD OF INTEGRAL ASSESSMENT AND A SPECIAL ASSESSMENT OF LABOR CONDITIONS

© The Author(s) 2023

BOGDANOV Andrey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the Department of Life Safety
South Ural State University (National Research University)
(454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin prospekt, 76, avbogdanov@susu.ru)

FILIPPOV Alexander Nikolaevich, post-graduate student Department of Life Safety
South Ural State University (National Research University)
(454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin prospekt, 76, e-mail: filalektnik@mail.ru)

MLOTOK Aleksey Vladimirovich, candidate of technical sciences, deputy Chief Engineer – Head of Department
Branch of OJSC IDGC of Urals – Chelyabenergo
(454000, Russia, Chelyabinsk, Lenin square, 5, e-mail: mlotok-av@rosseti-ural.ru)

Abstract. To assess the working conditions of employees of organizations, occupational risk indicators are used,

obtained by various methods, each of which has advantages and disadvantages, but all of them do not take into account the impact on the worker's body of all production factors. The Life Safety Department of the South Ural State University has developed a methodology for assessing occupational risk, which uses an integral assessment of working conditions based on the standard for lost working time from morbidity with temporary disability. This technique allows you to take into account the influence of all production factors on the body of the worker. Depending on the value of the indicator calculated according to the methodology, one of five risk categories is determined: low, moderate, medium, significant and high. The technique is universal and can be used in organizations with any type of economic activity. This article compares the results of determining the occupational risk of employees using the method of integral assessment and a special assessment of working conditions for Chelyabenergo, a branch of OJSC IDGC of the Urals. The results of the comparison showed that the second class of working conditions - safe (permissible) working conditions correlate with a low category of occupational risk, and the third class of working conditions of the first degree correlate with moderate and medium risk categories. It is concluded that for most structural divisions, the classes of working conditions correspond to the categories of occupational risk, determined by the method of integral assessment, and the discrepancy is less than 10%. That is, the definition of occupational risk categories according to the integral assessment method reflects the real picture of working conditions and its application is expedient.

Keywords: occupational risk assessment, integral assessment of working conditions, special assessment of labor conditions.

Для цитирования: Богданов А.В. Сопоставление результатов определения профессионального риска работников по методике интегральной оценки и специальной оценки условий труда // А.В. Богданов, А.Н. Филиппов, А.В. Млотов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 147-150. – EDN: IOTVCX.

Введение. Для оценки условий труда работников организаций используются показатели профессионального риска, получаемые различными методами. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но они не учитывают влияние на организм работника всех производственных факторов, как вредных, так и опасных. Кроме того, результаты оценки по различным методам несравнимы между собой [1-9].

На кафедре Безопасности жизнедеятельности (БЖД) Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) разработана методика оценки профессионального риска, в которой используется интегральная оценка условий труда на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности [10]. Данная методика позволяет выделять из всей заболеваемости производственно обусловленную заболеваемость работников (включая травматизм), которая формируется совокупным воздействием на организм людей опасных и вредных факторов на рабочих местах [11].

В данной методике показатель профессионального риска находится как значение функции от производственно обусловленной заболеваемости. В зависимости от значения этого показателя определяется одна из пяти категорий профессионального риска: низкий риск, умеренный, средний, значительный и высокий. Методика универсальна и может использоваться в организациях с любым видом экономической деятельности. Категории риска могут быть определены как для каждого работника индивидуально, так и для всей организации в целом, а также групп работников, например, структурного подразделения. Все расчёты проводятся с использованием программного обеспечения, за счёт чего снижается трудоёмкость процесса проведения

оценки. [12].

Несмотря на то, что существующие методы оценки условий труда основываются на разных подходах, они должны в той или иной мере одинаково отражать реальное состояние условий труда. Поэтому нами было проведено сравнение результатов оценки профессионального риска, полученных с применением интегральной оценки, с результатами оценки условий труда, уже имеющимися в организации, а именно с результатами специальной оценки условий труда (СОУТ).

В филиале ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго» нами была проведена оценка профессионального риска на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности [13]. В целях конфиденциальности названия структурных подразделений и производственных отделений этой организации были заменены на сокращения СП и ПО соответственно. Кроме этого, в «Челябэнерго» силами аккредитованной организации была проведена специальная оценка условий труда (СОУТ).

Целью данной статьи является сопоставление результатов определения профессионального риска работников по методике интегральной оценки и специальной оценки условий труда.

Методология. Сравнение проводилось с предоставленными данными по четырнадцати структурным подразделениям производственного отделения ПО 6 филиала ОАО «МРСК Урала» «Челябэнерго». Так как оценка профессионального риска охватывает каждое структурное подразделение в производственном отделении, а специальная оценка проводится по рабочим местам структурных подразделений, то на основе классов условий труда каждого рабочего места был определён

итоговый класс условий труда для структурного подразделения. При определении итогового класса условий труда для структурного подразделения нами был предложен подход, аналогичный определению класса условий труда для рабочего места на основе значений классов условий труда идентифицированных производственных факторов [14, 15]. Поэтому структурному подразделению устанавливался итоговый класс условий труда по наивысшему классу условий труда рабочего места, входящего в структурное подразделение организации. Далее, классы условий труда каждого структурного подразделения сравнивались с категориями

профессионального риска, определёнными для этих же структурных подразделений.

Результаты. Класс условий труда определялся для 14-ти структурных подразделений производственного отделения ПО 6, для которых была получена информация о результатах СОУТ на рабочих местах этих структурных подразделений. На основе классов условий труда рабочих мест были определены итоговые классы по структурным подразделениям (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что структурные подразделения имеют второй класс или третий класс первой степени.

Таблица 1 – Итоговые классы условий труда структурных подразделений производственного отделения ПО 6

Структурное подразделение	Итоговый класс условий труда
СП 6	3.1
СП 7	3.1
СП 2	3.1
СП 8	3.1
СП 18	2
СП 11	2
СП 13	2
СП 12	3.1
СП 14	3.1
СП 5	3.1
СП 26	2
СП 27	2
СП 3	3.1
СП 1	3.1

Обсуждение. Однозначного сопоставления классов условий труда и категорий профессионального риска в принципе наблюдаться не может, так как классов условий труда всего четыре, причём третий класс делится на четыре степени, а категорий профессионального риска – пять. Кроме того, оценка профессионального риска учитывает все имеющиеся производственные факторы, а класс условий труда – только вредные, да и те, которые идентифицированы.

Тем не менее, можно ожидать, что в общем случае низким классам условий труда будут соответствовать низкие категории профессионального риска.

В таблице 2 представлено сопоставление итоговых классов условий труда с категориями профессионального риска, полученными в результате оценки на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Таблица 2 – Сопоставление итоговых классов условий труда с категориями профессионального риска структурных подразделений производственного отделения ПО 6

Структурное подразделение	Итоговый класс условий труда	Категория профессионального риска
СП 6	3.1	средний
СП 7	3.1	средний
СП 2	3.1	средний
СП 8	3.1	умеренный
СП 18	2	низкий
СП 11	2	низкий
СП 13	2	средний
СП 12	3.1	средний
СП 14	3.1	средний
СП 5	3.1	умеренный
СП 26	2	низкий
СП 27	2	низкий
СП 3	3.1	средний
СП 1	3.1	умеренный

Анализ таблицы 2 показывает, что второму классу условий труда (допустимые/безопасные условия труда) соответствует низкая категория профессионального риска, при которой условия

труда можно рассмотреть как безопасные. Поэтому такие результаты вполне соответствуют друг другу. Классу условий труда 3.1 (вредные условия труда) соответствуют невысокие категории

профессионального риска (умеренный и средний профессиональные риски). Это очевидно, так как вредные условия труда первой степени характеризуют условия труда относительно невысокой вредности. Умеренный и средний профессиональные риски также характеризуют не очень высокий профессиональный риск. То есть класс условий труда 3.1 может соответствовать умеренной и средней категориям профессионального риска.

Исключение составляет структурное подразделение СП 13. В нём определён второй класс условий труда, а оценка профессионального риска определила среднюю категорию. В этом структурном подразделении работники занимаются лабораторными испытаниями с выездом на объекты в любое время года. Такой вид трудовой деятельности может вызвать повышенную заболеваемость среди работников. Для структурного подразделения СП 13 заболеваемость являлась причиной временной нетрудоспособности в 87,5% случаев. Таким образом, проведённая оценка условия труда работников СП 13 за счёт учёта производственно обусловленной заболеваемости.

Тем не менее, если принять, что второй класс условий труда – безопасные (допустимые) условия труда соотносятся с низкой категорией профессионального риска, а третий класс условий труда первой степени соотносятся с умеренной и со средней категориями риска, процент совпадения составляет 92,9% (табл. 2).

Выводы. Проведённое сопоставление результатов определения профессионального риска работников по методике интегральной оценки и специальной оценки условий труда показало, что для большинства структурных подразделений классы условий труда соответствуют категориям профессионального риска, определённых по методике интегральной оценки. Расхождение составляет менее 10%. Таким образом, определение категорий профессионального риска по методике интегральной оценки отражает реальную картину условий труда и её применение целесообразно в организациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бахонина, Е.И. Обзор изменений в законодательстве, устанавливающем требования к оценке профессиональных рисков на предприятии / Е.И. Бахонина, В.А. Насибуллина // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 2. – С. 31-35. – DOI 10.23947/2541-9129-2022-2-31-35.
2. Тарасов, А.Д. Методы оценки профессиональных рисков / А.Д. Тарасов, З.Н. Монахова // Вестник науки. – 2023. – Т. 4. – № 1(58). – С. 75-80.
3. Исмагилова, Р.С. Анализ методов оценки профессиональных рисков, применяемых в отраслях с высоким воздействием вредных и (или) опасных производственных факторов / Р.С. Исмагилова, И.В. Вдовина // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2023. – № 1(27). – С. 109-115.
4. Методы оценки условий и безопасности труда в организациях / И.Н. Кравченко, Е.В. Кулакова, И.В. Алибекова [и др.] // Технический сервис машин. – 2023. – № 1(150). – С. 48-56. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-48-56.

5. Сакова, Н.В. Анализ профессиональных рисков как инструмент повышения безопасности труда на малых предприятиях / Н.В. Сакова // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Сборник докладов Четвертой Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 214-218.

6. Каракеян, В.И. Оценка профессиональных рисков в технологических помещениях на предприятии микроэлектроники / В.И. Каракеян, Н.Р. Харламов, А.С. Рябышенков // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2021. – Т. 26, № 3-4. – С. 265-272. – DOI 10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-265-272.

7. Рябышенков, А.С. Мониторинг профессиональных рисков на промышленном предприятии / А.С. Рябышенков, Н.Р. Харламов, В.И. Каракеян // Приборы. – 2021. – № 8(254). – С. 29-33.

8. Будаев, А.А. Матричный метод оценки уровней профессиональных рисков на ПТОЛ / А.А. Будаев, Д. В. Наумов // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Оренбург, 21–22 апреля 2022 года / Самарский государственный университет путей сообщения, Оренбургский институт путей сообщения. – Оренбург: Оренбургский институт путей сообщения – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения", 2022.

9. Полунина, А.А. Применение матричного метода оценки профессиональных рисков работников нефтегазовой отрасли / А.А. Полунина, А.Т. Волохина // Вестник науки. – 2023. – Т. 3. – № 5(62). – С. 685-691.

10. Горшков Ю.Г., Богданов А.В., Ганькова О.А. Аттестация рабочих мест по методике интегральной оценки// Охрана труда и социальное страхование. – 2001. – № 2. – С. 33-36.

11. Определение профессионального риска с помощью методики интегральной оценки условий труда/ А.И. Сидоров, А.В. Богданов, Ю.В. Медведева, А.Н. Филиппов// Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 88-93. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-3-88-93.

12. Филиппов, А.Н. Программное обеспечение для определения профессионального риска по методике интегральной оценки / А.Н. Филиппов // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: Сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т., Челябинск, 22-23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); Управление по научной и инновационной деятельности; Кафедра безопасности жизнедеятельности. Том 1. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – С. 132-133.

13. Сидоров А.И., Богданов А.В., Медведева Ю.В., Филиппов А.Н., Млоток А.В. Определение профессионального риска работников на предприятии электроэнергетики// Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 8. – С. 76-81.

14. ГОСТ Р 2.2.2006-05. 2.2. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85537/ (дата обращения: 15.06.2023).

15. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ (последняя редакция) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (дата обращения: 15.06.2023).

Статья поступила в редакцию 03.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 613.6.027

EDN: WLRKAL

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ
РИСКОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА
РАБОТНИКОВ ХОЗЯЙСТВА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

© Автор(ы) 2023

SPIN: 1049-8838

AuthorID: 1159951

ORCID: 0000-0002-0903-5045

ЧАПЛЫГИН Владимир Сергеевич, аспирант*Российский университет транспорта (ПУТ МИИТ)**(127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: waxchaplygin@yandex.ru)*

Аннотация. Производственный травматизм в России остается актуальной проблемой. По данным Федеральной службы по труду и занятости за 2022 год, большинство несчастных случаев, произошедших на производстве, имели тяжелые последствия и явились результатом воздействия человеческого фактора. Для достижения эффективного функционирования системы управления охраной труда необходимо адекватно оценивать имеющиеся риски и располагать максимально полной информацией о ситуации на производстве. Приоритетной задачей обеспечения безопасности производства является снижение уровня риска возникновения травм и аварий на предприятиях хозяйства электрификации и электроснабжения путем управления влиянием человеческого фактора на безопасность производственных процессов. Решение возникающих задач нуждается в оценке возможных рисков, определении необходимой информации и выборе соответствующего инструмента для быстрого и точного реагирования. В статье рассмотрен результат разработки и внедрения Методики оценки профессиональных рисков с учетом влияния человеческого фактора работников хозяйства электрификации и электроснабжения. Эффективность её пилотного внедрения доказана снижением риска травм за счет проведения оценки влияния человеческого фактора на безопасность производственных процессов с последующим адекватным управленческим воздействием, направленным на усиление мотивации всех уровней руководства и персонала к росту квалификации, регламентированному выполнению должностных функций и повышению ответственности за состояние охраны труда на производстве.

Ключевые слова: культура безопасности труда, поведенческий аудит, опасные действия работников, оценка профессиональных рисков, человеческий фактор.

**THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING
OCCUPATIONAL RISKS, TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE HUMAN
FACTOR OF EMPLOYEES OF THE ELECTRIFICATION AND POWER SUPPLY FACILITIES**

© The Author(s) 2023

CHAPLYGIN Vladimir Sergeevich, phd student*Russian University of Transport (MIIT)**(127994, Moscow, Obratsova str., 9, p.9., e-mail: waxchaplygin@yandex.ru)*

Abstract. Occupational injuries in Russia remain an urgent problem. According to the Federal Service for Labor and Employment for 2022, most of the accidents that occurred at work had severe consequences and were the result of the human factor. In order to achieve the effective functioning of the occupational health and safety management system, it is necessary to adequately assess the existing risks and have the most complete information about the situation at work. The priority task of ensuring the safety of production is to reduce the risk of injuries and accidents at the enterprises of the electrification and power supply economy by controlling the influence of the human factor on the safety of production processes. Solving emerging problems requires assessing possible risks, determining the necessary information and choosing the appropriate tool for a quick and accurate response. The article considers the result of the development and implementation of a methodology for assessing occupational risks, taking into account the influence of the human factor of workers in the electrification and power supply economy. The effectiveness of its pilot implementation has been proven by reducing the risk of injury by assessing the impact of the human factor on the safety of production processes, followed by adequate managerial influence aimed at strengthening the motivation of all levels of management and personnel to increase qualifications, regulated performance of job functions and increased responsibility for the state of occupational safety at work.

Keywords: occupational safety culture, behavioral audit, dangerous actions of employees, assessment of occupational risks, human factor.

Для цитирования: Чаплыгин В.С. Эффективность применения методики оценки профессиональных рисков с учетом влияния человеческого фактора работников хозяйства электрификации и электроснабжения / В.С. Чаплыгин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 151-155. – EDN: WLRKAL.

Введение. Современные технологии, уровень оснащённости и оптимизация труда в железнодорожной инфраструктуре определяют необходимость в изменении подходов в части управления рисками [1, 2, 18, 19, 21].

Реализованная методика оценки профессиональных рисков [3] позволяет на основе анализа матриц рисков в зависимости от уровня риска специалистам всей вертикали управления филиалов ОАО «РЖД» формировать мероприятия по снижению уровня рисков [4].

Тем не менее, данный подход не учитывает оценку опасных действий работников, приводящих к их травмированию на уровне установок самого человека и повышения культуры безопасности каждого работника. Как следствие, комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на снижение травматизма, не даёт ощутимых изменений для снижения несчастных случаев, связанных с влиянием человеческого фактора.

Существенное снижение уровня травматизма требует воспитания культуры безопасности у каждого работника отрасли энергетики в ОАО «РЖД» при учёте влияния психофизиологических факторов [5]. Для снижения опасных действий работников, эффективным решением является инициирование системных исследований проблемы с привлечением психофизиологов, психологов, специалистов по охране труда, специалистов по управлению персоналом, представителей творческих профессий, управленческих консультантов. Работа в таких многофункциональных группах позволит создавать нестандартные решения по повышению профессионально – важных качеств, усилению внутренней мотивации и готовности работников соблюдать требования безопасности труда.

Методология. В 2023 году в двух дистанциях электроснабжения и на одном производственном участке дирекции капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения был внедрен пилотный проект по апробации Методики оценки профессиональных рисков с учетом влияния человеческого фактора работников хозяйства электрификации и электроснабжения (далее – Методика).

Применение разработанных последовательных действий, алгоритмов и мероприятий на основе Методики, основанных на определении параметров допустимого уровня риска возможного получения травм и организационно-технических мероприятий [16], позволяют руководителям структурных подразделений выявить существующие проблемы [20], связанные с безопасностью труда, и при необходимости разработать корректирующие меры для осуществления производственного процесса уже с приемлемым риском.

Оценка рисков возникновения несчастных случаев, вызванных с влиянием человеческого фактора осуществляется на основе анализа групп причин

опасных действий работников. Основной принцип заключается не в поиске виновных за нарушения, а в установлении коренных причин происшествий.

Все группы непосредственных причин опасных действий, в свою очередь, являются следствием причин более высокого уровня, которые относятся к сфере организации и управления производственным (технологическим) процессом (организационные причины).

По результатам анализа влияния человеческого фактора на возникновение несчастных случаев на производстве рабочими группами был произведён расчет возможности появления травмы.

По результату проведенного расчета, установлен весомый процент уверенности в проявлении одной или нескольких причин опасных действий в 3 дистанциях электрификации и электроснабжения с охватом 247 электромонтеров контактной сети.

Для приведения поведенческих реакций электромонтеров контактной сети к параметрам, необходимым для обеспечения безопасности труда наиболее эффективным инструментом, стал проведенный поведенческий аудит.

Поведенческий аудит безопасности труда [6, 7] включил в себя проведение следующих этапов:

- тестирование электромонтеров контактной сети на уровень их профессиональных знаний и способностей;
- поведенческое интервью, для оценки личностных качеств и поведенческих стереотипов .
- наблюдение за действиями работника во время выполнения им должностных обязанностей;
- наблюдение за его рабочим местом [8].

По факту работы с персоналом рискованной профессии определены основные системные причины нарушений (рис. 1):

- способности работника к обучению (отсутствие знаний, умений, не грамотность работника в области охраны труда и технологии выполнения работ);
- мотивация, побуждающая к нарушениям требований безопасности (существует возможность не делать – возникает желание не делать, при существующей технической возможности желание работников сэкономить время и иные ресурсы за счет невыполнения мероприятий по подготовке рабочего места);
- негативная психологическая установка (несоизмеримость времени на подготовку к работе – времени на выполнение самой работы, дежурства в выходные дни, отсутствие лидера в бригаде);
- недостаточная мотивация (равнодушие руководителя работ, в следствии мотивации нести бремя ответственности, в среднем, в 40% работ бригадой руководит работник с заработной платой равной или меньшей чем у рядового члена бригады).

На основании проведенного аудита в трех дистанциях, участвующих в пилотном проекте, разработаны мероприятия, направленные на снижение уровня профессионального риска с учетом оценки

влияния человеческого фактора:

- реабилитация персонала с низкими профессионально-важными качествами, несоответствием антропобиологии, антистрессовые мероприятия (установка в структурных подразделениях стендов «Развитие памяти, внимания, концентрации»). Макет стенда представлен на рисунке 2;

- укомплектование подразделений видеотеками, для записи проведения целевого инструктажа, подготовки рабочего места проведения работ – данная мера дисциплинирует работников работать без нарушений основных требований охраны труда;

- изменение Положения о корпоративной системе премирования работников филиалов ОАО «РЖД» в части внедрения дифференцированной системы вознаграждения [10, 13]. Эффектом является как заинтересованность персонала в безопасном выполнении работ, так и возможность перераспределять высвободившиеся денежные средства на решение вопросов охраны труда;

- доработка программного обеспечения для проведения профессионального психофизиологического обследования кандидатов на должность электромонтеров контактной сети по Методике, которой определены профессионально-важные качества: стрессоустойчивость, склонность к риску, внимание, физическая сила и выносливость, координация. Данная мера позволяет исключить приток персонала с низкими профессионально-важными ка-

чествами при поступлении на работу;

- разработка «Положения о Развитии коллективного спорта в цехах» для повышения профессионально-важных качеств персонала подразделений районов контактной сети, районов электроснабжения (физической силы, координации движений);

- предоставление права "ответственного руководителя работ" – заместителям начальника дистанции по контактной сети. Прямая юридическая ответственность ответственного руководителя работ в лице заместителя начальника позволит снизить риски нарушений;

- обучение руководителей и инженерно-технических работников дистанции методам повышения эффективности контрольно-профилактической работы по охране труда в подразделениях, а также проведении поведенческого аудита безопасности [6, 7] с учётом ценностей культуры безопасности;

- внедрение на производственных участках новых методов тестирования [9] знаний технологии производства работ на основе интерактивного контента. Совершенствование программ дистанционного обучения на основе интерактивного обучающего контента (тренажера), предназначенного для обучения персонала технологии производства работ в электроустановках [11, 14], позволяет значительно расширить как варианты тестовых заданий, так и платформы-носители (смартфоны, ноутбуки, ПК).



Рисунок 1 – Основные системные причины опасных действий

Результаты. Анализ разработки и внедрения Методики показал, что разработанные меры способны закрепить правильную модель поведения работника и скорректировать его опасное поведение, а также позволяет выявлять причины выполнения работ с нарушением правил безопасности и оценивать эффективность деятельности по обеспечению производственной безопасности и охраны труда.

На основании проведенного опроса работников и рабочей группы, принявших участие в проведении процедуры оценки профессиональных рисков и поведенческого аудита в пилотируемых подразделениях, получены положительные отзывы от 68% опрошенных, 21% нейтрально оценили проводимую

работу, от 11% получены отрицательные отзывы.

Обратная связь персонала по эффективности этапов пилотного проекта позволила сделать вывод, что для повышения готовности работника к сознательному безопасному поведению [12], важно осуществлять профилактическое воздействие на все уровни его психической жизни личности:

- воздействие на когнитивную сферу требует проводить информирование и осуществлять постоянную разъяснительную работу с помощью всех доступных каналов взаимодействия с сотрудниками;

- эмоциональная сфера требует наличия стимулов, имеющих социальный и финансовый характер.



Рисунок – 2 Макет стенда «Развитие памяти, внимания, концентрации»

Обсуждение. Оценка и принятие к учету влияния человеческого фактора в технологических процессах работы Трансэнерго является важной задачей. В обеспечении качества производственных процессов человек и его действия играют огромную роль и полностью вычесть участие человека в данном случае невозможно, а комплекс мер, направленных на снижение влияния человеческого фактора значительно разрешит улучшить качество работы энергетического хозяйства.

Приведенный метод оценки профессиональных рисков с учетом влияния человеческого фактора дополняет установленный в Трансэнерго метод оценки профессиональных рисков с учетом особенностей производственного процесса, опасностей и специфики отрасли.

Реализованная Методика оценки профессиональных рисков с учетом влияния человеческого фактора [17] работников хозяйства электрификации и электроснабжения позволяет определить порядок оценки профессиональных рисков и выявления опасных действий работников, явившихся причинами возникновения случаев травмирования работников дистанций электрификации и электроснабжения.

Процесс внедрения описанного подхода и реализация разработанных мер, является долгосрочной задачей, поскольку, необходимость правильного использования всех его методов требует заинтересованности в реализации со стороны вер-

тикали управления хозяйства электрификации и электроснабжения и компании в целом.

Выводы. Результаты поведенческого аудита безопасности труда [6] позволили в перспективе выявлять работников, склонных к созданию опасных ситуаций, а также создавать нестандартные решения по повышению профессионально – важных качеств [15], усилению внутренней мотивации и готовности работников на соблюдение требований безопасности труда.

Следует отметить, что в 2022 году в дистанциях электрификации и электроснабжения хозяйства, участвующих в пилотном проекте, был травмирован 1 работник. В 2023 году случаев производственного травматизма в пилотируемых производственных подразделениях допущено не было.

Проведенные: исследование и все расчёты по трем дистанциям, в том числе выполненный аудит, доказывает, что внедрение методики на основе оценки влияния человеческого фактора оказывает положительное влияние на недопущение и профилактику производственного травматизма.

Таким образом, снижение влияния психофизиологического фактора на возникновение опасных действий персонала, способствование формирования у работников чувства ответственности, а так же осознанного отношения к ценностям культуры безопасности и принципиальной позиции в отношении соблюдения правил безопасности позволило снизить

уровень риска аварий и травм на производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аксёнов, В.А. Повышение эффективности оценки травматизма при анализе и оценке профессиональных рисков / В.А. Аксёнов, П.Н. Потапов, А.М. Завьялов, Ю.В. Завьялова // Наука и техника транспорта. – 2013. – №3. – С. 96-99. – ISSN: 2074-9325.
2. Системный подход как неотъемлемая часть управления рисками деятельности предприятия: материалы международной научно-практической конференции «Наука сегодня: вызовы и перспективы», Вологда, 23 сентября 2020 г. – С. 90-94. – EDN: GJRRHR.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 29.12.2017 № 2805/р об утверждении СТО РЖД 15.014-2017 Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Управление профессиональными рисками. Общие положения.
4. Аксёнов, В.А. Оценка результатов внедрения методики оперативной оценки профессиональных рисков для работников производственных участков вагонного хозяйства / В.А. Аксёнов, В.С. Косякин, А.М. Завьялов // Наука и техника транспорта. – 2020. – №1. – С. 104-107. – ISSN: 2074-9325.
5. Разработка системы профессионального отбора и определения готовности персонала к выполнению работ с учетом влияния психофизиологических факторов: Тезисы докладов XIII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов: «Новые технологии в газовой промышленности (газ, нефть, энергетика)», Москва, 22-25 октября 2019 г. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, ПАО "Газпром", 2019. – С. 558-559. – EDN: XENUUL.
6. Бойков Е.А. Поведенческий аудит как инструмент управления безопасностью на предприятии / Е.А. Бойков, Е.В. Семенова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. – №1. – С. 110-113. – ISSN: 1994-1730.
7. Завертаная Е.И. Управление качеством в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний: учебное пособие для вузов / Е.И. Завертаная. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – С. 313. – ISBN: 978-5-9916-9502-2. – EDN: DYBZKX.
8. Анализ метапрограмм при проведении поведенческого интервью: материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции: «Мавлютовские чтения», Уфа, 26-28 октября 2021 г. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 368-376. – EDN: ZTKKLY.
9. Габова О.В., Русаков А.А. Тестирование – одна из форм диагностики и проверки успешности обучения // Педагогическая информатика. – 2005. – № 3. – С. 13-17.
10. Старых С.А. Анализ мотивации человеческих ресурсов в достижении эффективной деятельности организации // ООО "Издательский дом "Академия естествознания" / Фундаментальные исследования. – 2018. – №10. – С. 97-101 / ISSN: 1812-7339.
11. Павлов А.С. Виртуальные технологии повышают безопасность работы в электрических сетях // Электроэнергия. Передача и распределение. 2022. – №2. – С. 114-118. – ISSN: 2218-3116.
12. Салтыкова Ю.А. / Интервью по получению поведенческих примеров как эффективный метод оценки компетенций сотрудников, Москва: Московский государственный технический университет (МАДИ), 2017.
13. Серопян, Л.Э. Современные подходы к организации оплаты труда / Л.Э. Серопян, О.Н. Валькович // Актуальные вопросы современной экономики. – 2019. – №4. – С. 468-474. – eISSN: 2311-4320. – EDN: XCQZZL.
14. Соколова, И.И. Принципы реализации обучающего VR-тренажера для электромонтеров контактной сети / И.И. Соколова, Н.Н. Гринчар, А.Д. Соловьев, А.В. Леонова, И.А. Костюлин // Транспортное дело России. – 2021. – №1. – С. 94-95. – ISSN: 2072-8689. – EDN: JFVATQ.
15. Повышение эффективности деятельности персонала на основе развития профессионально важных качеств работников: сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития социально-гуманитарных наук», Петрозаводск, 20 декабря 2021 г. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. – С. 161-166. – EDN: ZTKKLY.
16. 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. – P. 88-93.
17. 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.
18. ГОСТ 12.0.230.5-2018. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ: принят и введен в действие от 1 июня 2019 г. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 23 с.
19. ГОСТ Р МЭК 31010-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки риска: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2021 г. N 1011-ст. Москва: Стандартинформ, 2019. – 29 с.
20. Федорев А.Г. Методы анализа рисков в техносфере / А.Г. Федорев // Менеджмент техносферной безопасности: учебное издание. – Москва: АНО «ИБТ», 2016. – С. 596. – ISBN 978-5-905531-03-3.
21. Анализ используемых инструментов оценки профессиональных рисков для работников хозяйства электрификации и электроснабжения / В.С. Чаплыгин, В.А. Аксенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – №2(90). – С. 38-44. ISSN: 0201-727X.

Статья поступила в редакцию 10.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 504.06

EDN: JQJGYD

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПЛАЗМЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОЛУОЛА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 7092-6913

AuthorID: 967939

ORCID: 0000-0003-0141-1998

ScopusID: 57208213064

ФРОЛОВА Нина Анатольевна, доктор технических наук,

доцент, профессор кафедры «Инжиниринг технологического оборудования»

Калининградский государственный технический университет

(236022, Российская Федерация, г. Калининград, пр-т. Советский 1, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Аннотация. Летучие органические соединения (ЛОС) являются важной категорией загрязнителей атмосферного воздуха. В работе представлены результаты использования модифицированного плазменного катализатора, используемого для конверсии толуола (C_7H_8). Предложенный метод снижения содержания толуола в воздушной среде основан на диссоциации и ионизации молекул газа с образованием химически активных частиц. Проведенные исследования позволили установить, что распад толуола в присутствии различных катализаторов и температурных диапазонов (перовскита, Al_2O_3 , катализаторов на основе ОМС-2) протекает по-разному. Конверсия толуола на катализаторах перовскита, Al_2O_3 и ОМС-2 протекает при высоких температурах; реакции воспламенения и окисления находятся в температурном диапазоне 300–480°C в случае Al_2O_3 и 200–400°C при использовании ОМС-2. Также отмечается тенденция к снижению температурного диапазона воспламенения и окисления толуола в присутствии модифицированных катализаторов на основе *Cu*, *Co*, *Ag* или *Au*, что вероятнее связано с созданием новых активных центров, изменяющих активность катализаторов. То же явление наблюдается при использовании перовскитного катализатора. В отсутствие катализаторов эффективность удаления толуола из воздуха находится в диапазоне 55–60%. Наилучшие результаты, конверсии толуола (до 96%), были получены при использовании катализаторов Au/Al_2O_3 и Nb_2O_5 (1 мас.%) при этом продуктами окисления толуола явились *CO* и *CO*₂. Таким образом, использование модифицированного плазменного катализатора для снижения содержания толуола в воздухе рабочей зоны на территории промышленных объектов (в том числе нефтеперерабатывающих комплексов) является актуальным направлением снижения содержания ЛОС в воздушной среде.

Ключевые слова: воздух, загрязнение, толуол, плазма, катализатор.

PROSPECTS FOR USING A MODIFIED PLASMA CATALYST FOR REDUCING THE CONTENT OF TOLUENE IN THE AIR ENVIRONMENT

©The Author(s) 2023

FROLOVA Nina Anatolyevna, doctor of technical sciences, associate professor,

professor of the department of «Engineering of Technological Equipment»

Kaliningrad State Technical University

(236022, Russian Federation, Kaliningrad, Sovetsky Ave. 1, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Abstract. Volatile organic compounds are an important category of air pollutants. The paper presents the results of using a modified plasma catalyst used for the conversion of toluene (C_7H_8). The proposed method for reducing toluene is based on the dissociation and ionization of gas molecules with the formation of chemically active particles. The studies carried out made it possible to establish that the decomposition of toluene in the presence of various catalysts and temperature ranges (perovskite, Al_2O_3 , catalysts based on OMS-2) proceeds differently. The conversion of toluene on perovskite, Al_2O_3 , and OMS-2 catalysts proceeds at high temperatures; ignition and oxidation reactions are in the temperature range of 300–480°C for Al_2O_3 and 200–400°C for OMS-2. There is also a tendency to decrease the temperature range of ignition and oxidation of toluene in the presence of modified catalysts based on *Cu*, *Co*, *Ag*, *Au*, which is most likely due to the creation of new active sites that change the activity of the catalysts. The same phenomenon is observed when using a perovskite catalyst. In the absence of catalysts, the efficiency of removing toluene from the air is in the range of 55–60%. The best results, the conversion of toluene (up to 96 %), were obtained using Au/Al_2O_3 and Nb_2O_5 (1 wt.%) catalysts, while the products of toluene oxidation were *CO* and *CO*₂. Thus, the use of a modified plasma catalyst to reduce the toluene content in the air of the working area on the territory of industrial facilities (including oil refineries) is an important direction in reducing the content of volatile organic compounds in the air.

Keywords: air, pollution, toluene, plasma, catalyst.

Для цитирования: Фролова Н.А. Перспективы использования модифицированного плазменного катализатора для снижения содержания толуола в воздушной среде // Н.А. Фролова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 156–159. – EDN: JQJGYD.

Введение. Толуол является токсичным веществом и побочным продуктом функционирования нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий [1-3]. Использование технологий снижения содержания толуола в воздушной среде является актуальной задачей обеспечения экологической безопасности промышленных предприятий. В этой связи актуальным направлением является создание модифицированного устройства, которое можно использовать на территории промышленных предприятий для снижения содержания ЛОС [4-5].

Термическое и каталитическое окисление, мембранное разделение и абсорбция являются наиболее распространёнными для снижения выбросов ЛОС. Данные методы имеют ряд достоинств и недостатков [6-7]. Термические и каталитические методы снижения выбросов ЛОС проявляют эффективность своей работы только при повышенных температурах: 700-800°C для термического сжигания и 200-600°C для каталитического окисления [8-11].

В качестве альтернативы традиционным методам борьбы с выбросами ЛОС в последнее десятилетие все больший интерес вызывает технология атмосферной нетепловой плазмы. Основное преимущество данного метода заключается в способности генерировать электроны высокой энергии, сохраняя температуру фонового газа близкой к комнатной [12-15]. Таким образом, создается высокореактивная среда без дополнительных затрат энергии на подогрев газа. Удаление ЛОС обычно связывают с радикальными реакциями,

иницируемыми радикалами $-O$ или $-OH$. Однако, в зависимости от условий реакции, другие радикальные и ионные реакции также приводят к превращению ЛОС в CO_2 , H_2O и другие продукты разложения [16]. Технологии атмосферной нетепловой плазмы для снижения содержания ЛОС в воздушной среде могут создаваться при помощи сочетания различных электроразрядных устройств (коронного, поверхностного и диэлектрического барьерного разряда) [17-20].

Для снижения содержания толуола в воздушной среде при помощи технологии атмосферной нетепловой плазмы с целью исключения образования побочных продуктов и повышения энергоэффективности при использовании технологии атмосферной нетепловой плазмы необходимо сочетание с гетерогенными катализаторами, которое представляет собой комбинацию одноступенчатой и двухступенчатой систем. В двухступенчатой системе материалы катализатора обычно размещают после реактора нетепловой плазмы. В одностадийной системе катализаторы помещаются непосредственно в реактор.

Методология. Цель работы – исследовать возможность использования комбинации гетерогенных катализаторов с нетермической плазмой для снижения содержания толуола в воздухе.

Разработанная система атмосферного нетермического плазменного катализа с диэлектрическим барьерным разрядом представляет собой модифицированный плазменный реактор, представленный на рисунке 1.

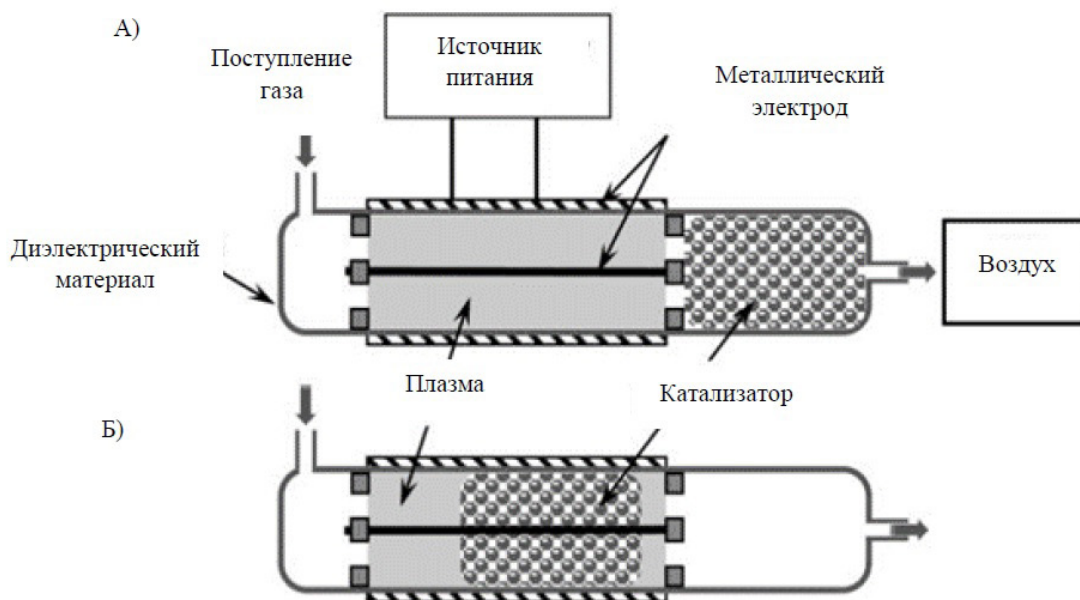


Рисунок 1 – Устройство двух конфигураций плазменного катализатора: подплазменная конфигурация (А), внутриплазменная конфигурация (Б)

Модифицированное устройство плазменного катализатора состоит из вольфрамовой проволоки, расположенной в диэлектрической трубке, которая закреплена двумя керамическими кольцами. Для формирования внешнего электрода наружная поверхность трубки обмотана латунной проволокой. В дан-

ном случае плазма выполняет роль «окислительной среды». Предложенная конфигурация позволяет комбинировать гетерогенный катализатор с плазменным реактором двумя различными способами: при помощи введения катализатора в зону разряда (внутриплазменный катализ) или путем размеще-

ния катализатора после зоны разряда (подплазменный катализ). Газосодержащие смеси O_2 , N_2 и толуола готовят в системе газоочистки.

Гидротермальной и цитратной методиками готовили каталитические материалы на основе Ag , Au , Cu , Co , Mn , La и Nb , которые были нанесены на Al_2O_3 и CeO_2 . Эти катализаторы также включали: OMS-2 (марганцевое октаэдрическое молекулярное сито криptomеланового типа), 5-15% масс. $CuO/OMS-2$, 5-10% масс. $Co_2O_3/OMS-2$, CeO_2 , 1% масс. Au/Ce_2O_3 , Al_2O_3 , 5-15% масс. Co_2O_3/Al_2O_3 , 1-2% Ag/Al_2O_3 , 1% Au/Al_2O_3 , $LaMnO_3$, $LaMnO_3/Al_2O_3$ и др. [21]. Измерения активности проводили в проточном реакторе с неподвижным слоем. Общая скорость потока через слой катализатора поддерживалась постоянной и составля-

ла 3 л/ч (кислород: 0,8 л/ч, азот: 2,2 л/ч). Реагенты и продукты реакции анализировали с помощью газовой хроматографии (*Intersmat IGC 120 Fl*).

Результаты. Каталитическая активность окисления толуола выражалась в температурных интервалах, которые были необходимы для 95% конверсии толуола. Экспериментальные исследования по окислению толуола в пробах воздуха были выполнены с учетом присутствия плазмы, катализаторов и металлических электродов (подплазменная и внутривсплазменная конфигурации).

На рисунке 2 показаны температуры окисления толуола: реакция воспламенения (А) и реакция окисления (Б) в зависимости от используемых катализаторов.

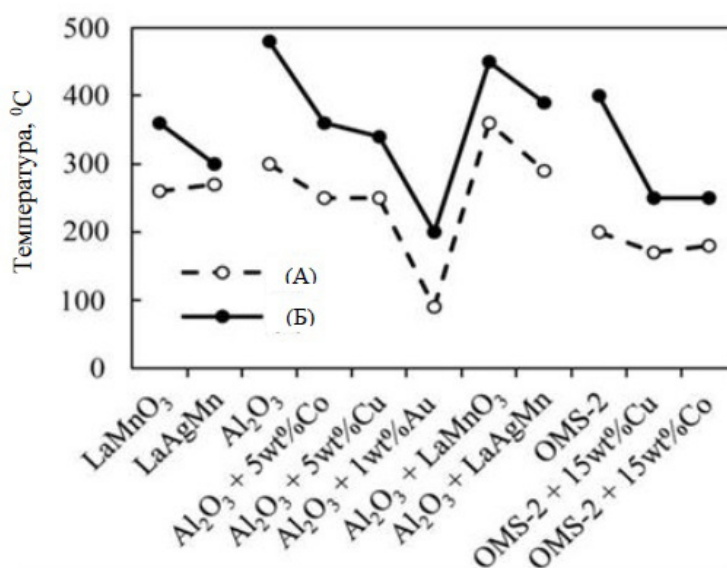


Рисунок 2 – Температура окисления толуола при реакции воспламенения (А) и реакции окисления (Б)

Результаты проведенных исследований позволили установить, что конверсия толуола на катализаторах перовскита, Al_2O_3 и OMS-2 протекает при высоких температурах. Так, реакции воспламенения и окисления находятся в температурном диапазоне 300-480°C в случае Al_2O_3 и 200-400°C при использовании OMS-2. Также отмечается тенденция к снижению температурного диапазона воспламенения и окисления толуола в присутствии модифицированных катализаторов на основе Cu , Co , Ag или Au , что вероятнее связано с созданием новых активных центров, изменяющих активность катализаторов. То же явление наблюдается при использовании перовскитного катализатора.

Обсуждение. В диапазоне энергий образующихся электронов при диссоциации кислорода происходит рассеивание энергии плазмы. Следует отметить, что диссоциация кислорода (O_2) в этом процессе более эффективна, чем диссоциация (N_2). Процесс окисления плазмы сопровождается образованием основных продуктов плазмы: O_3 , CO , CO_2 и NOx (NO , NO_2). В результате проведенных исследований конверсия толуола составила 55-60%. Это связано с окислением толуола и образованием побочных продуктов: муравьиной

кислота (CH_2O_2) и уксусной кислоты ($C_2H_4O_2$).

Гибридная система в сочетании с постплазменной и плазменная конфигурация эффективно работает при комнатной температуре. Эффективность удаления толуола значительно возрастает, когда катализатор подсоединен к плазменному реактору независимо от природы используемого катализатора. Следует отметить, что при увеличении количества Cu с 0 до 15 мас. % конверсия толуола увеличивается с 70 до 79% – эти результаты характерны для технологии атмосферной нетепловой плазмы. На выходе толуола из системы плазма-катализатор образуется также двуокись углерода (CO_2), монооксид углерода (CO) и вода H_2O . При отсутствии в системе катализаторов реакция превращения толуола происходит за счет потребления O_3 и NO_x , которые образуются при разряде плазмы в результате химических превращений.

Выводы. Для снижения количества толуола в воздушной среде возможно применение технологии атмосферной нетепловой плазмы, которая предполагает использование плазменного катализатора (рис. 1). Проведенные исследования позволили установить, что при отсутствии в системы плазмы распад толуола

в присутствии различных катализаторов (перовскит, Al_2O_3 , катализаторы на основе ОМС-2) протекает при повышенных температурах и составляет выше $200^\circ C$. В отсутствие катализаторов эффективность удаления толуола из воздуха находится в диапазоне 55-60%. Наилучшие результаты, конверсия толуола до 96%, были получены при использовании катализаторов 1 мас.% Au/Al_2O_3 и Nb_2O_5 , при этом продуктами окисления толуола явились CO и CO_2 . Таким образом, использование плазменного анализатора для снижения содержания толуола в воздухе рабочей зоны на территории нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих станций является актуальным направлением обеспечения экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волошина Ю.Г., Иваненко В.В., Патриляк Л.К. Алкилирование толуола метанолом до стирола на модифицированном щелочными металлами цеолите // Химия, физика и технология поверхности. – 2014. – Т. 5 – № 2. – С. 197-203.
2. Abdullaeva N.M., Mamedov S.E. Toluene Alkylation with Isopropanol on Zeolite Type ZSM-5 Modified with Magnesium and Phosphorus // Башкирский химический журнал. – 2021. – Vol. 28. – No. 3. – P. 47-52.
3. Морозов И.И., Васильев Е.С., Нигматуллин Д.Р. Вторичные реакции при горении толуола на воздухе // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36. – № 12(261). – С. 208-210.
4. Казакова А.Н., Спирихин Л.В., Злотский С.С. Алкилирование бензола и толуола хлорметил-гемдихлордихлорпропанами // Нефтехимия. – 2012. – Т. 52. – № 2. – С. 142.
5. Гаврилов М.Д., Карноухов А.Е., Харাপудько Ю.В. Влияние ВЧЕ-плазменной модификации на размеры порошкового Zn/ZnO катализатора // Международный академический вестник. – 2018. – № 6(26). – С. 98-100.
6. Бибилашвили А.П., Герасимов А.Б. Механизм низкотемпературных стимулированных процессов плазменного анодирования металлов и полупроводников // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38. – № 11. – С. 1304-1307.
7. Павлов В.Б., Шулаева Е.А., Кралькина Е.А. Перспективы применения низкотемпературной плазмы в химической и нефтеперерабатывающей промышленности // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 56. – № 11. – С. 160-165.
8. Фролова Н.А., Н.В. Шкрабтак. Теоретические аспекты влияния технологического процесса добычи нефти на состояние окружающей среды // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2023. – Т. 19. – № 1. – С. 23-28.
9. Мензелинцева Н.В., Карапузова Н.Ю., Статюха И.М., Попова Е.В. К вопросу повышения достоверности оценки качества воздушной среды урбанизированной территории // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 3(63). – С. 22.
10. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Суржикова Р.Н., Мотуз Ю.И. Оценка экологического риска для здоровья населения от выбросов в воздушную среду обрабатывающего предприятия // Медицина в Кузбассе. – 2020. – Т. 19. – № 1. – С. 52-57.
11. Азаров В.К., Васильев А.В., Кутенев В.Ф. О причинах увеличивающегося загрязнения воздушной среды больших городов взвешенными частицами от эксплуатации автотранспортного комплекса // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – № 8. – С. 44-48.
12. Колмогоров А.Г., Сергачева Е.А. Разработка лабораторного стенда для контроля загазованности воздушной среды // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2023. – № 10. – С. 111-112.
13. Прохоров В.И., Разаков М.А. Исследование параметров воздушной среды на сооружениях системы водоотведения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 45-59.
14. Костылева Л.Н. Методические подходы к обеспечению мониторинга воздушной среды // Science Time. – 2020. – № 6(78). – С. 54-57.
15. Музыка А.А., Шейграцова Л.Н., Курак А.С. Оценка качества воздушной среды животноводческих помещений в зависимости от зон и точек размещения животных // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2021. – № 24-2. – С. 201-211.
16. Малышева А.Г., Калинина Н.В., Юдин С.М. Химическое загрязнение воздушной среды жилых помещений как фактор риска здоровью населения // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 72-82.
17. Чекалин С.Г., Зимхан Б.А. Биологическая оценка качества воздушной среды // Вестник ЗКУ. – 2018. – № 4(72). – С. 369-377.
18. Дружинин П.В., Г.Т. Шпикерова. Исследование влияния экономического развития на состояние воздушной среды // Экономика устойчивого развития. – 2018. – № 4(36). – С. 44-48.
19. Gubasheva V.E., Idrissova G.Z., Miftakhov R.R. Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species // RUDN Journal of Ecology and Life Safety. – 2022. – Vol. 30. – No. 3. – P. 417-427.
20. Щербатюк А.П. Региональный аспект экологической безопасности воздушной среды городов в условиях внутриконтинентальных межгорных котловин // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 22-38.
21. Уточкин С.Д., Шерстнева Т.А., Королёва М.Ю. Синтез наночастиц золота, серебра и Au/Ag сплава цитратным методом // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 14. – № 7(112). – С.123-126.

Статья поступила в редакцию 15.07.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.4, 624.9, 004.942

EDN: WQUAMF

**СНИЖЕНИЕ ТРАВМАТИЗМА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ НА ОСНОВЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ РАБОТНИКОВ,
ВЫПОЛНЯЮЩИХ РАБОТЫ НА ВЫСОТЕ**

©Автор(ы) 2023

SPIN: 2070-8620

AuthorID: 958394

ORCID: 0000-0002-0557-6725

ScopusID: 57983646500

СУББОТИНА Надежда Андреевна, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность»

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, e-mail: subbota_91@mail.ru)*

Аннотация. Формирование личности безопасного типа поведения всегда было, есть и остаётся приоритетной задачей в подготовке специалистов любой отрасли. В данной статье представлены результаты проведенного автором поведенческого аудита безопасности работников различных подрядных организаций, выполняющих работы на высоте в строительстве на строительных площадках Санкт-Петербурга. Результаты аудита показали необходимость совершенствования модели безопасного поведения работников. Безопасность выполнения работ зависит от знаний, навыков и умений, и от того, насколько сам рабочий готов работать безопасно. С целью совершенствования модели безопасного поведения в статье предлагается инновационная методика обучения работников, заключающаяся в погружении в обучающую среду, воздействующую на психику и восприятие работника, что позволяет добиться правильного поведения на рабочем месте. Основным принципом – наглядно продемонстрировать работнику последствия нарушения требований охраны труда на рабочем месте. Трагизм всего произошедшего, представленный в обучении, нацелен на психологическое побуждение к безаварийной работе. Используя такое обучение по охране труда, можно добиться уважительного отношения работников к своей жизни и снизить количество несчастных случаев по вине опасных действий самих работников.

Ключевые слова: поведенческий аудит безопасности, культура безопасности, модель безопасного поведения, работы на высоте, современные образовательные технологии, охрана труда, человеческая ошибка, человеческий фактор, обучение по охране труда, «Умный труд», дополненная реальность, виртуальная реальность, модули интерактивного обучения.

**REDUCING INJURIES AT THE CONSTRUCTION SITE ON THE BASIS OF IMPROVING
THE MODEL OF SAFE BEHAVIOR OF WORKERS PERFORMING WORK AT HEIGHT**

© The Author(s) 2023

SUBBOTINA Nadezhda Andreevna, senior lecturer of the department «Technosphere safety»

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
(190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya street 4, e-mail: subbota_91@mail.ru)*

Abstract. The formation of a person of a safe type of behavior has always been, is and remains a priority task in the training of specialists in any industry. This article presents the results of a behavioral safety audit conducted by the author of employees of various contractors performing work at height in construction at construction sites in St. Petersburg. The results of the audit showed the need to improve the model of safe behavior of employees. The safety of work performance depends on knowledge, skills and abilities, and on how much the worker himself is ready to work safely. In order to improve the model of safe behavior, the article proposes an innovative method of training employees, which consists in immersion in a learning environment that affects the psyche and perception of the employee, which allows to achieve the correct behavior in the workplace. The main principle is to clearly demonstrate to the employee the consequences of violation of labor protection requirements at the workplace. The tragedy of everything that happened, presented in the training, is aimed at the psychological motivation for trouble-free work. By using this kind of occupational safety training, it is possible to achieve a respectful attitude of workers towards their lives and reduce the number of accidents caused by dangerous actions of workers themselves.

Keywords: behavioral safety audit, safety culture, model of safe behavior, work at height, modern educational technologies, labor protection, human error, human factor, labor protection training, «Smart Labor», augmented reality, virtual reality, interactive learning modules.

Для цитирования: Субботина Н.А. Снижение травматизма на строительной площадке на основе совершенствования модели безопасного поведения работников, выполняющих работы на высоте / Н.А. Субботина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 160-166. – EDN: WQUAMF.

Введение. По данным Минтруда, наибольшее количество рабочих, погибших в результате несчастных случаев на производстве в 2020 году, зарегистрировано в строительстве (334 человека, то есть 22,6% общего количества погибших). Строительная отрасль остается стабильным лидером по травматизму и гибели людей на протяжении многих лет. Кроме того, анализируя отчет Минтруда за 2020 год, можно сделать вывод, что наиболее частым видом несчастных случаев в организациях Российской Федерации является падение с высоты (31,6%), в том числе, падение на ровной поверхности одного уровня (8,7%) [1]. Падение с высоты является одним из самых частых несчастных случаев. Печальная статистика сохраняется вследствие большого количества опасных и вредных факторов производственной среды и трудового процесса на рабочих местах, большой текучести кадров в организациях строительного производства, а также большого процента нестационарных рабочих мест, для которых более проблематично проводить оценку профессиональных рисков, и, соответственно, разработка предупреждающих несчастные случаи мероприятий и контроль за их выполнением становятся трудной задачей. Актуальность исследований на тему безопасности труда в строительстве подчеркивается и объемами производства в данной отрасли. Ежегодный прирост квадратных метров, сдающихся в эксплуатацию по данным Минстроя составляет в среднем 15-20%. Учитывая, что на данный момент в стране действует национальный проект «Жилье и городская среда», темпы строительства в России с каждым годом будут только возрастать – к 2030 году планируется сдавать в эксплуатацию не менее 120 млн квадратных метров жилья в год [2].

Работы [1, 3] показали, что большинство причин несчастных случаев в строительной сфере носит организационный характер, и это подтверждено официальными статистическими данными из открытых источников. Основной причиной несчастных случаев на производстве является плохая организация труда. «При этом в основе 67,7% причин несчастных случаев ... лежит «человеческий фактор» и он обусловлен ... низкой культурой безопасного труда, несоблюдением и игнорированием самых элементарных норм и правил» [4].

На основании многочисленных исследований, которые касаются формирования в организациях различных отраслей экономики систем управления охраной труда, можно сделать вывод, что вопросам формирования культуры безопасности, как одному из важнейших звеньев СУОТ, уделяется все больше и больше внимания. Вопросы культуры безопасности освещаются в основном в зарубежной научной литературе на протяжении около трех десятилетий [5-7]. В последние годы в зарубежной научной литературе значительно увеличилось количество публикаций по поведенческой безопасности (*behavior-based safety, BBS*), отражающих опыт различных организаций по

повышению культуры безопасности [8-12]. В труде [10] авторы считают, что для более эффективного управления безопасностью на рабочих местах обязательным условием должны быть автоматический мониторинг поведения на рабочем месте и выявление причин небезопасного поведения работников. Подход, основанный на определении задач, постановке целей, обратной связи и эффективном измерении безопасного поведения, может значительно повысить безопасность при надлежащем применении ответственным руководством [11].

Международные стандарты ISO также требуют изменений в подходах к управлению охраной труда. Поэтому в рамках систематических изменений национальных и международных требований нормативной базы в области охраны труда, в отраслевых компаниях постоянно реализуются меры по защите жизни и здоровья своих работников как наивысших ценностей. Факт участия России в международном движении нулевого травматизма наглядно демонстрирует, что государство готово к перестройке действующих механизмов управления с учетом мирового опыта, что является необходимым условием прогрессивного и безопасного развития страны [13-16].

Однако, каким бы совершенным ни было законодательство, оно не сможет сделать работу человека безопасной, если он сам пренебрежительно относится к своей жизни. И несмотря на то, что теме культуры безопасности посвящено немало научных трудов, статистика тяжелого и смертельного травматизма в строительной сфере остается неизменно высокой. По разным психологическим причинам человек совершает необдуманные или неверные действия, приводящие к трагическим событиям: нарушение технологии выполнения, спешка в работе, пренебрежение правилами безопасного выполнения работ и т. д. Необходимо отметить, что частота нарушений или ошибок, которые совершает человек на своем рабочем месте, зависит от уровня сформированности культуры безопасности на производстве. Обращаясь к определению понятия «культура безопасности», данному АО «НИПИГАЗ» – это квалификационная и психологическая подготовленность всех работников, при которой обеспечение безопасности является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к осознанию личной ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность [17]. Одним из наиболее эффективных способов влияния на формирование культуры безопасности, по мнению автора, является обучение работников. На основании имеющихся данных можно сделать вывод, что обученные и компетентные работники строительных организаций могут оказать положительное влияние на безопасность строительства: при условии компетентности и сформированности культуры безопасности рабочих, инженерно-технических специалистов, а также административно-управленческого персонала и руко-

водства, численность произошедших несчастных случаев на производстве может быть значительно сокращена.

Методология. В данной статье автор ставит целью проведение анализа актуального состояния проблемы безопасного поведения работников строительной отрасли, выполняющих работы на высоте, на основе элементов поведенческого аудита безопасности. А также рассмотрение возможности совершенствования модели безопасного поведения работников при помощи обучения с применением инновационных технологий, методик, специально разработанных вместе с новой образовательной средой «Полигон «Умный труд».

Для проведения исследования автором была разработана анкета из 30 вопросов, выявляющая отношение работника к тому, насколько опасны различные нарушения требований охраны труда при выполнении работ на высоте. Анкета разрабатывалась на основе требований основополагающих нормативно-правовых актов в области обучения по охране труда, требований охраны труда во время подготовки к выполнению работ на высоте и при непосредственном выполнении технологических операций на высоте [18-21].

Каждый вопрос в анкете представляет собой опасный фактор, который при некоторых условиях может привести к травмированию работника. Работникам при заполнении анкеты предлагалось оценить по 10-балльной шкале, насколько опасен каждый фактор, то есть насколько он влияет на получение травмы на рабочем месте. При заполнении анкеты необходимо было поставить «галочку» в соответствующей графе, при условии, что 1 балл – фактор практически не влияет на получение травмы, а 10 баллов – фактор оказывает максимальное влияние.

Для заполнения анкет в 2023 году были совершены выезды на строительные площадки Санкт-Петербурга и Ленинградской области, на территории которых присутствуют подрядчики, выполняющие работы на высоте. К заполнению анкеты привлекались работники 5ти подрядных организаций, выполняющих фасадные, кровельные, монтажные работы.

Первичный анализ полученных заполненных 175 анкет показал, что к дальнейшему исследованию могут быть приняты не все ответы – было «отбраковано» 38 анкет, в которых работники поставили один и тот же балл для всех тридцати опасных факторов в анкете, так как в конечном итоге такие анкеты на результаты исследования никакого влияния оказывать не будут. К анализу и оценке принято 137 анкет, результаты которых внесены в редактор *MicrosoftOfficeExcel*, после чего была получена гистограмма, отражающая отношение работников к тем или иным опасным факторам на рабочих местах.

Результаты. Полученные результаты (рис. 1) свидетельствуют о том, что работники в анкетах к наиболее травмоопасным факторам (значительно выше линии среднего значения) отнесли следующие:

- неправильная эксплуатация оборудования;
- работа в плохих погодных условиях (высокие ветровые нагрузки);
- выход на неподготовленную кровлю для выполнения работ (грязная или обледенелая);
- подход к краю кровли (ближе 2 м) без соединения страховочной системы с анкерной линией;
- работа вблизи перепада по высоте 1,8 м и более без установки ограждения и без применения страховочной системы;
- оставление инструментов и оборудования на высоте незакрепленными во время перерывов и отдыха;
- неприменение СИЗ или применение неисправных СИЗ;
- использование неинвентарных (самодельных) средств подмащивания для выполнения работ на высоте.

Также, к высоким факторам риска работники отнесли высокую текучесть кадров, неудобный график работ и тяжелые условия труда. Нехватка персонала при этом находится ниже средней линии, то есть считается фактором, который вряд ли приведет к несчастному случаю на производстве. Но если обратиться к официальным данным, то на февраль 2023 года строительной отрасли РФ не хватало порядка 200 тысяч кадров различной квалификации – об этом заявила руководитель кадрового центра Минстроя Елена Сенкевич [22]. А к 2030 году прогнозируется нехватка персонала всех уровней и направлений в количестве 1-2 млн человек (от рабочих специальностей до инженерно-технического и другого персонала с высшим образованием). Данный фактор безусловно влияет на травмирование работников, так как между нехваткой персонала и ненормированным рабочим днем с переработками можно смело ставить знак равенства. В свою очередь сверхурочные работы связаны с чрезмерной физической и психологической нагрузкой на работника, из-за которых велика вероятность возникновения несчастного случая.

Далее необходимо отметить, что перед тем, как работникам была выдана для заполнения анкета, во время выездов на строительные площадки автором производилась фотофиксация процессов выполнения высотных работ исследуемыми подрядными организациями на строительной площадке. Фотофиксация (рис. 2) выявила достаточное количество нарушений, которые в дальнейшем были отнесены работниками к наиболее опасным (перечислены в списке выше), в том числе выявлены факты отсутствия ограждений вблизи перепадов по высоте, неправильное применение СИЗ для выполнения работ на высоте (во время переходов по кровле и кратковременных подходов ближе 2 м к краю кровли рабочие не закрепляют страховочную систему к анкерной линии, неправильно надевают и настраивают страховочную систему и т.д.), использование неинвентарных (самостоятельно сколоченных) средств подмащивания для выполнения работ на отметках выше 1,8 м от уровня пола и т.д.

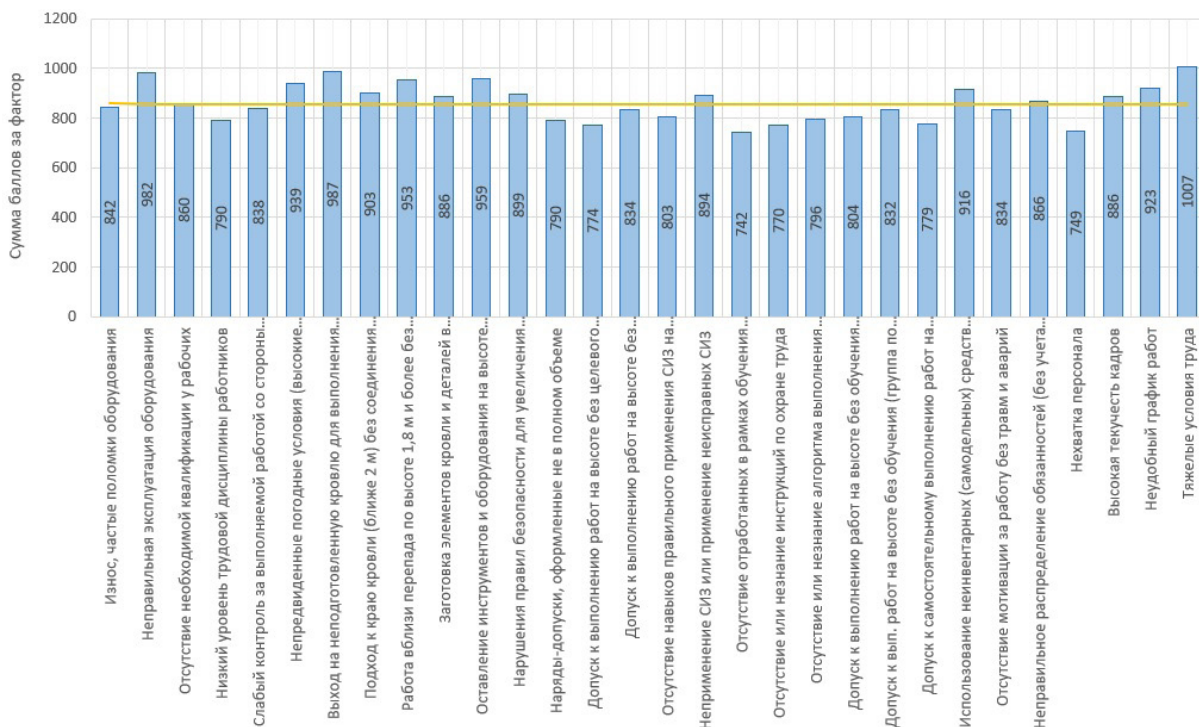


Рисунок 1 – Результаты анализа отношения работников к опасностям на рабочем месте



Рисунок 2 – Результаты фотофиксации выявленных нарушений в процессе выполнения работ

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что работникам доводится информация об основных причинах падений с высоты и они знают какие нарушения являются наиболее травмоопасными факторами, и именно поэтому

в анкете они были отмечены максимальными баллами. Действительно, со всеми работниками данных подрядных организаций в установленном порядке проводятся инструктажи на рабочих местах и целевые инструктажи перед выходом

на смену, в рамках которых доводятся основные вредные и опасные факторы воздействующие на работников при выполнении работ, обращается их внимание на основные причины несчастных случаев на производстве, в частности падений с высоты. Данный факт подтверждается наличием соответствующей документации по охране труда, изученной автором, и присутствием автора на нескольких предметных целевых инструктажах. Также, в ходе анализа имеющейся у генерального подрядчика документации (подрядные организации обязаны предоставлять информацию при оформлении акта-допуска на проведение работ) в области обучения по охране труда, обучения безопасным методам и приемам выполнения работ на высоте (1, 2 и 3 группа по безопасности работ на высоте) не было выявлено никаких нарушений – обучение проводится в установленные законодательством сроки, то есть со стороны работодателей обеспечиваются все обязательства в сфере обучения по охране труда. Несмотря на то, что работники хорошо знают правила и нормы, между знаниями и реальным поведением на рабочем месте лежит огромная пропасть. Зачастую, нормативные требования и регламенты работники просто считают навязанными «сверху», а согласно психологии человека – навязанное редко становится тем, что будет неукоснительно соблюдаться. Одной из основных причин такого поведения, согласно психологическим исследованиям, является то, что самым сильным стимулом, который движет человеком, является материальный, который доминирует над стремлением оградить себя от опасности. Дело в том, что нарушение требований охраны труда не всегда приводит к драматическому событию, но может привести к выгоде, заключающейся в более быстром выполнении работы и, соответственно, быстром получении награждения за работу. Такой подход к работе, связанный с экономией времени и сил, приводит к исключению работ, которые никак не повлияют на итоговый результат, но являются важными и необходимыми со стороны обеспечения безопасности выполняемых процессов. С течением времени сотрудник так или иначе привыкает работать в подобных условиях, удобство выходит на первый план, а инстинкты безопасности ослабевают настолько, что человек вовсе перестает задумываться о соблюдении требований безопасности на рабочем месте. Данное явление можно назвать «привыканием к опасности». Если взять во внимание высокую текучесть кадров на строительной площадке и постоянную «погоню» за сроками, можно выявить еще одну причину небезопасного поведения на рабочем месте – стремление следовать принятой модели поведения. Большое количество молодых сотрудников на строительных площадках вынуждены узнавать нюансы выполнения технологических операций у более опытных сотрудников, которые (в силу своих причин) не всегда соблюдают требования безопасности. Стажеры попросту берут за основу

небезопасное поведение, а через некоторое время таким же образом обучают других – получается замкнутый круг, где все нарушают нормативные требования охраны труда.

Возвращаясь к анализу результатов анкетирования (рис. 1), можно заметить, что отсутствие обучения, инструктажа или стажировки работники считают фактором, который с минимальной вероятностью может привести к травмированию. Ниже линии среднего значения опустились следующие факторы:

- допуск к выполнению работ на высоте без целевого инструктажа;
- допуск к выполнению работ на высоте без ознакомления с ППР;
- отсутствие навыков правильного применения СИЗ на высоте;
- отсутствие отработанных в рамках обучения практических навыков выполнения работ на высоте;
- отсутствие или незнание инструкций по охране труда;
- допуск к выполнению работ на высоте без обучения по охране труда;
- допуск к выполнению работ на высоте без обучения безопасным методам и приемам выполнения работ (1, 2, 3 группа по безопасности работ на высоте);
- допуск к самостоятельному выполнению работ на высоте без стажировки.

Следовательно, сотрудники не видят ценности или интереса в традиционном образовании, поскольку традиционное образование ограничивается информированием обучающихся о травмах и смертельных случаях в основном в форме кратких инструктажей. Работник воспринимает эту информацию как косвенную, второстепенную и несколько не относящуюся лично к нему («со мной точно такого не произойдет»). Немаловажной причиной отсутствия интереса к обучению является отсутствие такого важного фактора, как наглядность и практика в образовательном процессе. Действующая в России система обучения работников основана на воспитании чувства опасности вследствие небезопасного поведения на рабочем месте с помощью традиционных методов обучения, таких как: показ рисунков на плакатах, слайдах, показ фильмов, устные выступления лектора, демонстрация методов и приемов работ на занятиях в классах. Такие методы обучения не дают возможность обучающимся в полной мере представить и ощутить последствия неправильного поведения на рабочем месте в конкретной ситуации. Это означает, что такие методы обучения последствиям опасного поведения конечно передают знания, но не оказывают достаточного воздействия на психику человека в плане привития ему чувства опасности [23]. Это еще одна из причин, по которой сотрудник не настраивается на безаварийную работу.

Обсуждение. В представленном исследовании

было установлено, что высокий уровень производственного травматизма работников строительной отрасли, выполняющих работы на высоте, обусловлен преимущественно опасными действиями персонала ввиду «привыкания к опасности» и недооценки возможных последствий нарушений правил и норм. Коррекция сложившейся ситуации должна осуществляться посредством модернизации образования. Модернизация обучения в области безопасности должна основываться на реализации комплексного подхода – обучение безусловно воздействовать на сознание, а также должно быть учтено и психологическое воздействие на обучающихся.

В вышедших в июне и декабре 2021 года номерах журнала «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего», в своих статьях «Методологические подходы к снижению травматизма на строительной площадке по вине человеческого фактора» и

«Полигон «Умный труд» как профессионально-образовательное пространство для формирования личности безопасного типа поведения» автор со своими коллегами познакомили читателей с Полигоном «Умный труд», который дает возможность использовать инновационные подходы в обучении сотрудников вопросам безопасности, учитывающие психологическое воздействие. На данный момент Полигон состоит из девяти интерактивных модулей обучения (по девяти видам строительных работ, которые наиболее часто выполняются на строительных площадках). Каждый модуль состоит из двух инсталляций, одна из которых демонстрирует выполнение определенного вида работ в соответствии с требованиями норм безопасности, а вторая наглядно показывает последствия нарушений требований охраны труда – продемонстрирован несчастный случай (рис. 3).



Рисунок 3 – МИО «Столярные работы»

Наблюдая за представленными в модулях реалистичными последствиями пренебрежения требованиями охраны труда, у обучающегося совершенствуется модель безопасного поведения, результатом чего является безопасное поведение на рабочем месте, заключающееся в соблюдении норм и правил безопасности, и уважительное отношение к своей жизни и здоровью [16, 24, 25].

Дальнейшим развитием Полигона «Умный труд» является внедрение инновационных подходов к обучению безопасности труда с применением технологий дополненной и виртуальной реальности. Инновационные технологии заставляют переформатировать процесс обучения, предоставив место инновационным методикам и процессам создания более усовершенствованных объектов. Для дальнейшего развития предполагается создание приложений для дополненной и виртуальной реальности с использованием сенсорных устройств (очков дополненной или виртуальной реальности), разработанных на основе сценариев развития

травмоопасных ситуаций в зависимости от различных нарушений требований нормативных документов. Физическая среда Полигона «Умный труд» демонстрирует развитие только одного заранее продуманного сценария получения травмы, в то время как современные информационные технологии и использование виртуальной и дополненной реальности позволят демонстрировать обучающемуся вариативность возможных исходов в зависимости от различных нарушений.

Выводы. Безопасность на рабочем месте была, есть и должна оставаться главным ключевым моментом в работе каждого из нас. И зависит она не только от условий, в которых трудится человек, но и от него самого.

Созданная сегодня площадка Полигона «Умный труд» уже показывает свою эффективность, привлекает своей спецификой и вызывает у публики определенные эмоции. Это разнообразные человеческие реакции на события, негативно представленные в модулях интерактивного обучения.

Любая реакция на информацию, положительная или отрицательная, является успехом в запоминании подаваемой во время обучения информации. Данный факт вселяет уверенность в том, что транслируемые данные, касающиеся выработки безопасного поведения человека в условиях действующих опасностей отложатся в памяти.

Виртуальный тренажер или приложение дополненной реальности, построенные на тех же принципах воздействия на психику и восприятие человека через демонстрацию последствий опасных действий на рабочем месте являются перспективной альтернативой современному традиционному обучению по охране труда. Использовать данные инструменты возможно при проведении инструктажей на рабочих местах, обучения по охране труда, проверки знаний требований охраны труда, процедуре допуска работников к самостоятельному выполнению работ и т.д. Комплексный подход к обучению и использование инновационных технологий позволит изменить ситуацию с производственным травматизмом в России, снизит количество несчастных случаев по вине человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мониторинг условий и охраны труда в Российской Федерации – 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vcot.info/uploads/researches_file/619cbdc415951343985474.pdf (дата обращения 17.07.2023).
2. Проекты/Жилье и городская среда/Инициативы/ЖИЛБЕ <https://xn--80aarpemcchfmo7a3e9ehj.xn--p1ai/projects/zhile-i-gorodskaya-sreda/zhile> (дата обращения: 10.08.2023).
3. Басараб А. Совершенствование предупредительного императива в управлении охраной труда в строительстве: дисс. ... канд. техн. наук. Калининград, 2019. – 179 с.
4. Замминистра Григорий Лекарев: Большинство несчастных случаев на производстве вызвано «человеческим фактором». Официальная информация сайта Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 апреля 2019 г. <https://rosmintrud.ru/labour/safety/307> (дата обращения: 3.07.2023).
5. Guldenmund, F. The nature of safety culture: a review of theory and research / F. Guldenmund // Safety Science. – 2000. – V. 34 (1-3). – P. 215-257. DOI:10.1016/s0925-7535(00)00014-x.
6. Pidgeon, N.F. Safety Culture and Risk Management in Organizations / N.F. Pidgeon // Journal of Cross Cultural Psychology. – 1991. – V. 22 (1). – P. 129-140. DOI:10.1177/0022022191221009.
7. Le Coze J.C. How safety culture can make us think / Le Coze J.C. // Safety Science. – 2019. – V. 118. – P. 221-229. doi:10.1016/j.ssci.2019.05.026.
8. An integrative conceptual framework for safety culture: The Egg Aggregated Model (TEAM) of safety culture / G. Vierendeels, G. Reniers, Van Nunen K., K. Ponnet // Safety Science. – 2018. – V. 103. – P. 323-339. doi:10.1016/j.ssci.2017.12.021.
9. Nunu, W.N. An evaluation of the effectiveness of the Behaviour Based Safety Initiative card system at a cement manufacturing company in Zimbabwe / W.N. Nunu, T. Kativhu, P. Moyo // Safety and Health at Work. – 2018. – V. 9. – No 3. – P. 308-313. doi:10.1016/j.shaw. 2017.09.002.
10. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement / H. Li, M. Lu, S.-C. Hsu, et al. // Safety Science. – 2015. – V. 75. – P. 107-117. doi:10.1016/j.ssci.2015.01.013.
11. Choudhry, R.M. Behavior-based safety on construction sites: A case study / R.M. Choudhry // Accident Analysis & Prevention. – 2014. – V. 70. – P. 14-23. doi:10.1016/j.aap.2014.03.007.
12. Hojo R. Behavior-based Safety as Behavior Analysis – For Quantitative and Objective Method of Human behavior // Journal of the Japanese Society for Quality Control. – 2020. – V. 50: Part 1. – P. 26-30.
13. Zwetsloot G., Leka S., Kines P., Jain A. Vision zero: Developing proactive leading indicators for safety, health and well-being at work // Safety Science. – 2020. – Vol. 130. – P. 1-10. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104890
14. Zwetsloot G., Kines P., Ruotsala R. et al. The importance of commitment, communication, culture and learning for the implementation of the Zero Accident Vision in 27 companies in Europe // Safety Science. – 2017. – Vol. 96. – P. 22-32. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.03.001
15. Nævestad T.-O., Hesjevoll I.S., Ranestad K., Antonsen S. Strategies regulatory authorities can use to influence safety culture in organizations: Lessons based on experiences from three sectors // Safety Science. – 2019. – Vol. 118. – P. 409-423. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.05.020
16. Субботина Н.А. Формирование культуры безопасного труда как одна из важнейших составляющих минимизации травматизма в строительстве // Архитектура – строительство – транспорт: материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета. 3-5 октября 2018 г.: [в 2 ч.]. Ч. II. Транспортные и инженерно-экологические системы. Экономика и правовое регулирование в архитектуре и строительстве; СПбГАСУ. – СПб.: 2018. – С. 77-80.
17. АО «НИПИГАЗ», Дисциплинарная процедура ОТ, ПБ и ООС. Документ № 0055-NPG-0.0.0.00.000-HSE-PRO-0922.
18. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
19. Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 N 2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда» (вместе с «Правилами обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда»).
20. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 11 декабря 2020 года N 883н «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте».
21. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 16 ноября 2020 года N 782н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте».
22. Минстрой сообщил о нехватке 200 тыс. сотрудников в строительной отрасли <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/63fc57fb9a794755411325aa> (дата обращения: 12.08.2023).
23. Цаплин В.В., Гурьева Л.А. Парк безопасности – среда формирования безопасной поведенческой модели работников строительной отрасли // Актуальные проблемы охраны труда: матер. III Всероссийской научно-методической конференции / под общ. ред. Е.И. Рыбнова; СПбГАСУ. – СПб., 2015. – С. 31-36.
24. Шакшак, О.М. Интерактивная цифровая модель как современный метод обучения / О.М. Шакшак, Н.А. Субботина, В.В. Цаплин // Безопасность в строительстве: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 21-22 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 32-40.
25. Гончарук Т.Н., Цаплин В.В. Внедрение МИО в образовательный контент подготовки специалистов в СПбГАСУ // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Безопасность в строительстве» 21-22 ноября 2019 г. / СПбГАСУ. – СПб., 2019. – С. 27-31.

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.

Статья поступила в редакцию 11.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023

УДК 331.453:669.013

EDN: KRROVZ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
РИСКА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

© 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*)

ORCID: 0009-0007-7260-3213

СОКОЛОВА Эльвира Илдаровна, 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: yudina_elvira@mail.ru*)

Аннотация. Актуальность исследования определяется возрастающей необходимостью обеспечения надежной защиты работников предприятия. Несмотря на проведение мероприятий по повышению безопасности производства требуются объективная оценка и управление профессиональными рисками, базирующиеся на единых методиках. Целью настоящего исследования является оценка связи в триаде показателей «Условия труда – Травматизм – Человеческий фактор», так как знание и понимание этих связей позволит повысить эффективность мероприятий по снижению риска повреждения здоровья персонала на предприятиях тяжелой промышленности. Основными методами исследования явились анализ источников нормативной и технической информации, имеющихся методик оценки и управления профессиональными рисками, математическое моделирование, эксперимент. В ходе проведения работы выявлены взаимосвязи в системах «Травматизм – Условия труда» и «Травматизм – Человеческий фактор», применение которых совместно с каноническим анализом позволило усовершенствовать методику оценки профессионального риска. Для повышения уровня промышленной безопасности и уменьшения риска травмирования в цехах предприятий тяжелой промышленности на основе выявленных корреляционных связей выполнен выбор методов, направленных на снижения частоты и тяжести несчастных случаев. На основе выявленных корреляционных связей разработана и внедрена модель управления риском травмирования и предложены основные направления работы для снижения частоты и тяжести несчастных случаев. Это позволило повысить уровень промышленной безопасности и снизить риск повреждения здоровья персонала в цехах ПАО «ММК».

Ключевые слова: управление риском, промышленный риск, опасный фактор, травматизм, профессиональные заболевания, вредный фактор, безопасность труда.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING AND WAYS TO REDUCE
OCCUPATIONAL RISK AT FACILITIES**

©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
SOKOLOVA Elvira Ildarovna, candidate of technical sciences
associate professor of the Department of industrial ecology and life safety
Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk
(455000, Russia, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue 38,
e-mails: yuliya.somova.82@mail.ru, aslimarev@mail.ru, yudina_elvira@mail.ru)

Abstract. The relevance of the study is determined by the growing need to ensure reliable protection of employees of the enterprise. Despite the implementation of measures to improve production safety, an objective assessment and management of occupational risks based on uniform methods are required. The main research methods were the analysis of sources of normative-technical and scientific-technical information, available methods for assessing and managing occupational risks, mathematical modeling, experiment. The purpose of this study is to evaluate the relationship in the triad of indicators "Working conditions – Injury – Human factor", since knowledge and understanding of these relationships will increase the effectiveness of measures to reduce the risk of damage to the health of personnel at heavy industry enterprises. The main research methods were the analysis of sources of regulatory and technical information, the available methods for assessing and managing professional risks, mathematical modeling, and experiment. In the course of the work, interrelations in the systems "Injury – Working Conditions" and "Injury – Human Factor" were identified, the use of which, together with the canonical analysis, made it possible to improve the methodology for assessing occupational risk. To improve the level of industrial safety and reduce the risk of injury in the workshops of heavy industry enterprises, based on the identified correlations, a choice of methods was made to reduce the frequency and severity of accidents. Based on the identified correlations, a model for managing the risk of injury was developed and implemented, and the main areas of work to reduce the frequency and severity of accidents were proposed. This made it possible to increase the level of industrial safety and reduce the risk of damage to the health of personnel in the workshops of «ММК».

Keywords: risk management, industrial risk, hazardous factor, injuries, occupational diseases, harmful factor, labor safety.

Для цитирования: Сомова Ю.В. Разработка методики оценки и способов снижения профессионального риска на промышленных объектах / Ю.В. Сомова, А.С. Лимарев, Э.И. Соколова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 167-175. – EDN: KRROVZ.

Введение. В настоящее время стабильную работу и эффективное развитие любого промышленного предприятия невозможно осуществлять без проведения системной работы по управлению рисками. Внедрение процессов по управлению рисками позволяет уменьшить вероятность возникновения неблагоприятных сценариев и повысить стабильность работы, как отдельных процессов, так и компании в целом. Современные предприятия подвергаются различным видам рисков, среди которых важнейшее значение, особенно для предприятий тяжелой промышленности, приобретают профессиональные, поскольку они связаны с безопасностью и здоровьем людей. Под профессиональным риском понимается вероятность причинения вреда жизни и (или) здоровью работника в результате воздействия на него вредного и (или) опасного производственного фактора при исполнении им своей трудовой функции с учетом возможной тяжести повреждения здоровья [1]. В общем случае под управлением профессиональными рисками понимается деятельность, позволяющая обнаружить и провести оценку рисков травмирования, а также разработать комплекс мероприятий для снижения вероятности их возникновения или полного устранения.

На любом крупном промышленном предприятии в ходе выполнения производственных операций используется технологическое оборудование, сырье и материалы, взаимодействие с которыми повышает вероятность возникновения травм и профессиональных заболеваний. В свою очередь, результатом этого являются как трудовые потери, так и социально-экономические, которые в совокупности оказывают влияние на показатели эффективности деятельности предприятия. Несмотря на существенную модернизацию оборудования и внедрение систем управ-

ления охраной труда и промышленной безопасностью, уровень травматизма, как основных, так и вспомогательных рабочих остается достаточно высоким. Поскольку зачастую вспомогательные рабочие не имеют стационарного рабочего места, а также выполняют большее количество разноплановых операций, то для этой группы вопрос снижения уровня рисков является наиболее актуальным. Поэтому целью проведения работы являлась разработка подходов, направленных на снижение вероятности возникновения травмоопасных ситуаций и уменьшения риска повреждения здоровья на предприятиях тяжелой промышленности.

Для обеспечения эффективности работ по повышению профессиональной безопасности на предприятии внедряют систему менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (ОЗБТ) в соответствии с требованиями ИСО45000. Система менеджмента ОЗБТ предназначена для управления рисками возникновения опасных ситуаций, несчастных случаев и возможностями повышения безопасности рабочих мест, что, в конечном счете, приводит к снижению количества травм и ущерба для здоровья сотрудников [2]. При проведении работ по повышению безопасности труда и управлению промышленными рисками необходимо идентифицировать возможные потенциальные угрозы здоровья рабочих при выполнении различных видов работ. Это требует проведения своевременного учета и анализа причин возникновения травм и профессиональных заболеваний на производстве. Также для решения задач в этом направлении необходимо применять результаты специальной оценки условий труда и производственного контроля.

Процессы управления профессиональными рисками должны преследовать цели всех уровней и

проектироваться для каждого конкретного производства исходя из имеющихся возможностей, а также нормативных и законодательных требований в сфере промышленной безопасности и охраны труда [3].

Методология. Целью исследования является оценка связи в триаде показателей «Условия труда – Травматизм – Человеческий фактор», так как знание и понимание этих связей позволит повысить эффективность мероприятий по снижению риска повреждения здоровья персонала на предприятиях тяжелой промышленности. Основными методами исследования явились анализ источников нормативной и технической информации, имеющихся методик оценки и управления профессиональными рисками, математическое моделирование, эксперимент. При организации мероприятий по управлению риском особое значение имеет качество поступающей информации об исследуемых событиях. Соответствующим образом собранная статистическая информация обеспечивает возможность более эффективного проведения работ, направленных на снижение количества рисков. При этом как сбор информации, так

и управление риском может проводиться на различных уровнях: локальном, местном, региональном и глобальном. При разработке плана мероприятий по снижению рисков необходимо ориентироваться на задачи, стоящие перед предприятием, а также его технологические и экономические возможности. Основные принципы управления риском, которые должны быть положены в основу разрабатываемых мероприятий, представлены на рисунке 1.

На сегодняшний день в действующей законодательной и нормативной документации требования по управлению рисками устанавливаются нормативами по безопасности при эксплуатации технических систем. В них в основном определяются принципы идентификации и проведения оценки рисков. Кроме того, в них определяются основные правила выбора и рекомендации по применению выбранных методов управления рисками. Как правило, в действующих документах регламентируемые требования носят рамочный характер и не устанавливают четких требований по оценке профессиональных рисков, что затрудняет их практическое применение.



Рисунок 1 – Основные принципы управления профессиональными рисками

При разработке модели управления профессиональными рисками необходимо учитывать, что наличие производственной составляющей приводит к тому, что критерии обычно отличаются от общих требований по управлению рисками. Поэтому объективная модель управления риском промышленного предприятия должна быть интегрирована в общую модель управления производством.

Анализ подходов различных авторов к управлению рисками, несмотря на отдельные специфические элементы, показал достаточно высокую согласованность мнений по поводу выделения главных этапов оценки рисков. В большинстве известных методов оценки, в качестве главного критерия, выбора подхода повышения уровня безопасности и снижения уровня риска являются возможные последствия и стоимость реализации. В связи с этим при разработке и реализации модели управления риском необходимо учитывать, как нормативные и законодательные требования, так и экономические

и административные аспекты. В обобщенном виде система управления риском может быть представлена посредством последовательной реализации этапов по оценке, разработке стратегии, внедрению и анализе полученных результатов (рис. 2).

Существующие методики управления рисками в большинстве случаев позволяют решать задачи по снижению количества рисков в одной определенной области. Такой подход существенно усложняет работу, если необходимо провести сравнительную оценку эффективности мероприятий по работе с рисками в различных подразделениях предприятия. Кроме того, такие методики не в полной мере отражают возможности по идентификации опасных факторов и определении потерь при возникновении события. Проведение систематической и целенаправленной работы по управлению рисками в рамках всего предприятия требует разработки унифицированной методики, основанной, как на качественных, так и на количественных методах.

Сложность при определении профессионального риска в значительной степени связана со случайным характером возникновения события. Это говорит о том, что возникновение того или иного события, оказывающего воздействие на здоровье работника может возникнуть с определенной вероятностью, которая в большинстве случаев трудно поддается формализации. Это также говорит о том, что для проведения более эффективной работы по выявлению и оценке рисков целесообразно применять качественные и количественные методы оценки [4-

6]. В силу особенностей проведения, в качественных методах присутствует достаточно большая доля субъективизма, поскольку в их основе лежит экспертный (балльный) метод. Тем не менее, такие подходы позволяют получить неплохие результаты при проведении анализа по определению причин возникновения рисков и их источников.

Применение количественных методов дает возможность определить вероятность возникновения опасной ситуации с учетом, как прямых, так и косвенных потерь.

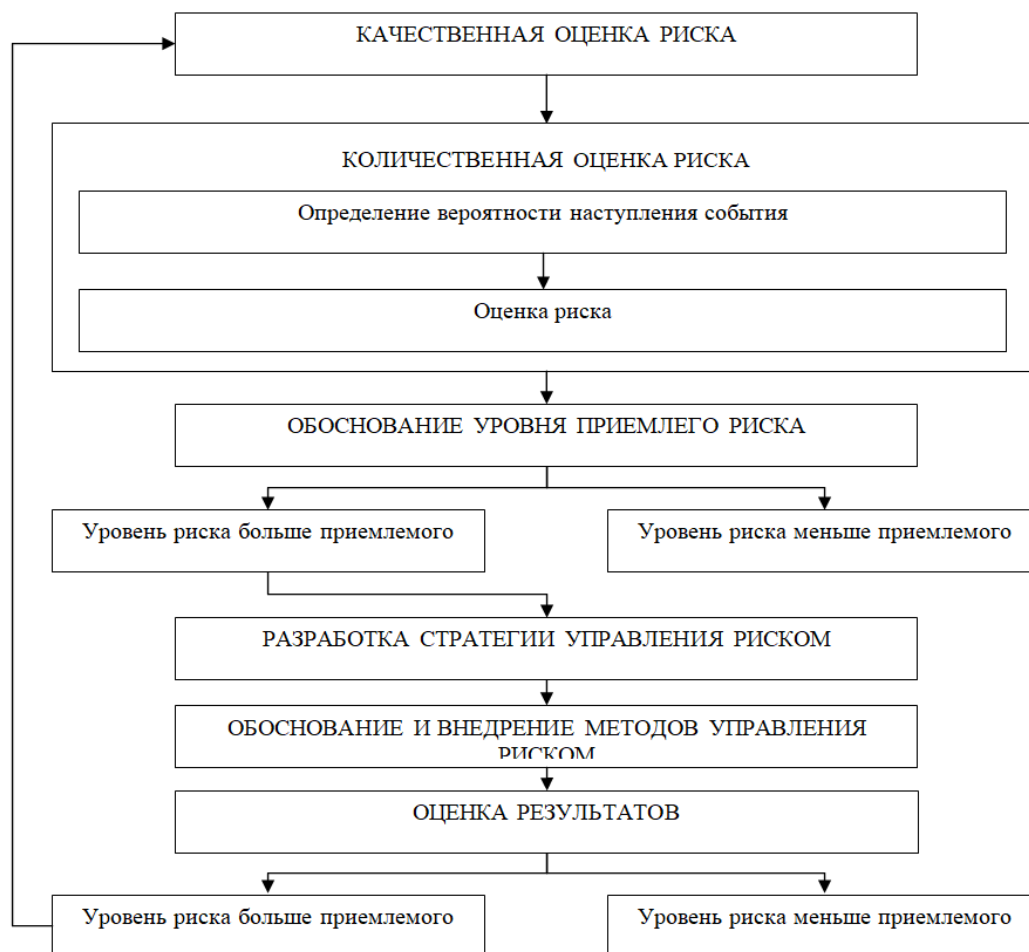


Рисунок 2 – Схема управления производственным риском

Для проведения анализа причин возникновения и источников рисков применяют большое количество разнообразных подходов и методов, среди которых можно выделить следующие [7]:

- метод причинно-следственных связей;
- метод потенциальных отклонений;
- дерево причин опасностей;
- анализ последствий отказов;
- анализ ошибок персонала;
- метод поиска и выявления источников опасностей.

В работах [8] показано, что в основном при количественной оценке рисков отдельная подсистема рассматривается, как элемент отказа, который приводит к сбою все системы. Это в свою очередь требует

проведения полного анализа структуры процессов и подпроцессов всей системы, а также анализа имеющейся информации о сбоях и произошедших аварийных ситуациях.

При выборе соответствующего метода оценки профессионального риска такой анализ позволит получить достаточно точные результаты о возможности возникновения негативного сценария и выбрать наиболее эффективные методы для его устранения. Для количественной оценки профессиональных рисков применяются следующие подходы:

- применение методов статистики и теории вероятности;
- определение величины риска, как матема-

тического ожидания величины ущерба [9];

– разработка мероприятий по устранению неблагоприятного фактора на основе оценки последствий при возникновении события [10];

– определение риска по измерению суточной потери жизни за год [11];

– определение уровня риска на основе расчета остаточного ресурса агрегата или системы [12];

– оценка риска травмирования при помощи шкалы Росселя;

– применение показателей, характеризующих уровень травматизма, таких как – коэффициент частоты (K_v) и – коэффициент тяжести несчастных случаев (K_m);

– применение экономического подхода [13] и др.

Следует отметить, что существующие количественные оценки рисков позволяют определить вероятность возникновения опасной ситуации и оценить возможные потери от этого события. При этом, как правило, такие подходы не позволяют учесть вероятность возможности возникновения риска травмирования отдельного человека или самого события несколько раз в течение заданного

периода. Применяемые для этих целей коэффициенты тяжести и частоты приводят к достаточно серьезным погрешностям, поскольку не учитывают работников, выполняющих работы по договорам. В связи с этим возникла потребность в разработке нового подхода для оценки профессиональных рисков предприятий тяжелой промышленности.

На сегодняшний день руководство Р 2.2.1766-03 является основным документом, применяемым при оценке риска нарушения здоровья работников предприятий. В соответствии с этим документом, показатели и критерии оценки профессионального риска определяются на основе классов условий труда (табл. 1). В тоже время ФЗ №426 регламентирует методику для определения параметров вредности условий труда, отличающуюся от представленной в руководстве, что существенно усложняет работу. Поэтому ведение более полного учета опасных и вредных производственных факторов, а также разработка критериев для оценки травмоопасности в зависимости от различных производственных факторов существенно бы облегчили проведение работ по управлению рисками.

Таблица 1 – Классы (подклассы) условий труда, уровень риска, срочность мер по коррекции уровня риска

Класс условий труда	Индекс профзаболеваний I_m	Уровень риска	Срочность мер по коррекции уровня риска
Оптимальный – 1	–	Риск отсутствует	не требуется
Допустимый – 2	< 0,05	Пренебрежимо малый (переносимый) риск	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите
Вредный – 3.1	0,05 – 0,11	Малый (умеренный) риск	Требуются меры по снижению риска
Вредный – 3.2	0,12 – 0,24	Средний (существенный) риск	Требуются меры по снижению риска в определенные сроки
Вредный – 3.3	0,25 – 0,49	Высокий (непереносимый) риск	Требуются неотложные мероприятия для коррекции уровня риска
Вредный – 3.4	0,5 – 1,0	Очень высокий (непереносимый) риск	Запрет осуществления работ без возможности устранения рисков
Опасный (экстремальный)	> 1,0	Сверхвысокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии	Работы должны проводиться только по специальным регламентам

Результаты. В результате проведения работы на основе выявленной взаимосвязи в системах «Травматизм – Условия труда» и «Травматизм – Человеческий фактор» была усовершенствована методика оценки профессиональных рисков. В соответствии с предложенным подходом на основе фактических данных о работнике и его условиях труда, по полученной на основе статистических данных зависимости, определяется вероятность травмирования на рабочем месте. Особенностью этой методики является то, что условия труда определяются на основе реальных значений уровня опасных и вредных производственных факторов. В основе предлагаемой методики лежат зависимости, полученные на основании результатов статистической обработки результатов пассивного эксперимента. При проведении регрессионного анализа было дано обоснование необходимого объема выборки и оценка однородности используемой выборки по трём основным группам металлургического

производства, где регистрировались несчастные случаи. Многомерный признак условий производства фиксировался для каждого несчастного случая на протяжении пяти лет, т.е. все реализации случайного вектора имели одинаковые вероятности попасть в выборку, что обеспечило ее репрезентативность. В результате были получены зависимости, позволяющие определить вероятность травмирования на рабочем месте с учетом условий труда [9]:

$$T_i = (0,964085 \cdot F_1 - 0,160135 \cdot F_2 - 0,199874 \cdot F_3 - 0,070330 \cdot F_4 - 0,476499 \cdot T_2 - 0,819478 \cdot T_3 - 0,3248998 \cdot T_4) / 0,148679$$

при корреляционной связи $\rho_{UV} = 0,6156$ или

$$T_i = (0,197583 \cdot F_1 - 0,100344 \cdot F_2 + 0,927554 \cdot F_3 + 0,300891 \cdot F_4 + 0,677814 \cdot T_2 - 0,249152 \cdot T_3 - 0,423862 \cdot T_4) / (-0,464262)$$

при корреляционной связи $\rho_{UV} = 0,4544$,

где T_i – суммарная вероятность причин возникновения события;

T_2 – параметр, характеризующий место происшествия;

T_3 – вероятность возникновения негативного события;

T_4 – параметр, характеризующий тяжести травм;

F_1 – химические факторы основных металлургических переделов;

F_2 – факторы, характеризующие аэрозоли;

F_3 – виброакустические факторы;

F_4 – химические факторы горно-обогатительных производств.

При анализе зависимостей было установлено, что максимальная связь между условиями труда и травматизмом принимает значение $\rho_{UV} = 0,6156$ и обусловлена в основном признаками F_1 и T_3, T_2 . Вторая зависимость позволяет получить более точные результаты для одномерных откликов [14].

Параметр T_2 определяется в кодированном по уровням виде в зависимости от расположения рабочего места. При определении параметра T_3 ориентируются на характер возникновения происшествия (например: вероятность воздействия движущихся и вращающихся деталей, падение с высоты, воздействие экстремальных температур и др.). Параметр T_4 характеризует степень тяжести травм: смертельные, тяжелые с увечьем, тяжелые и легкие.

При определении факторов F_1, F_2, F_3, F_4 учитывают следующие параметры производственной среды: содержание в пыли диоксида кремния, наличие соединений хрома, сварочные аэрозоли, аэрозоли смешанного состава, оксид углерода, уровень шума, освещенность, микроклимат, вибрация и др.

При разработке плана мероприятий по снижению риска возникновения несчастных случаев необходимо иметь возможность прогнозирования вероятности возникновения такого события в зависимости от участвующего работающего. Для анализа влияния человеческого фактора, включающего профессию, временные и возрастные характеристики был использован канонический анализ [15]. При оценке значимости коэффициентов канонической корреляции для массивов M (человеческий фактор) и T (производственный травматизм) с помощью критерия Пирсона была установлена

их статистическая значимость. Установлено, что максимально возможная корреляция $\rho_{UV} = 0,4639$ между двумя многомерными признаками M и T определяется в основном вкладами M_3 и T_3 , а другой статистически значимый уровень связи $\rho_{UV} = 0,3948$ обеспечивается в основном вкладами признаков M_2 и T_4 [16]. Поэтому при выборе зависимости для расчета исходят из качества исходных данных и вида проводимого анализа. В результате были получены зависимости, позволяющие определить вероятность травмирования на рабочем месте с учетом условий труда в зависимости от человеческого фактора:

$$T_1 = (0,55575 \cdot M_1 - 0,255749 \cdot M_2 - 0,836344 \cdot M_3 + 0,60202 \cdot T_2 - 0,69876 \cdot T_3 - 0,440432 \cdot T_4) / (-0,168353)$$

при корреляционной связи $\rho_{UV} = 0,4639$ или

$$T_1 = (-0,821991 \cdot M_1 + 0,741046 \cdot M_2 - 0,542334 \cdot M_3 + 0,029298 \cdot T_2 + 0,553169 \cdot T_3 - 0,6068139 \cdot T_4) / (-0,676377)$$

при корреляционной связи $\rho_{UV} = 0,3948$.

где M_1 – фактор, характеризующий эффект дня недели;

M_2 – фактор, характеризующий профессию;

M_3 – фактор, характеризующий возраст.

Проведение работы по оценке профессиональных рисков будет более эффективной и точной при использовании фактических результатов опасных и вредных производственных факторов. Такие результаты могут быть получены вследствие проведения производственного контроля и специальной оценки условий труда [17]. Поэтому в ходе выполнения работы были предложены новые, полученные на основе практических данных, критерии и показатели профессионального риска, представленные в таблице 2.

На промышленных предприятиях предупреждение травматизма должно быть важнейшим направлением деятельности службы охраны труда. Анализ триады «Условия труда – Травматизм – Человеческий фактор» показал, что между ними присутствует устойчивая связь. Обработка информации о травматизме в подразделениях промышленного предприятия позволило разработать, статистически значимые зависимости вероятности возникновения травматизма обусловленные условиями труда и человеческим фактором. Применение таких зависимостей упрощает задачу разработки мероприятий по повышению безопасности производства.

Таблица 2 – Категории профессионального риска и срочность мер профилактики

Вероятность травмирования	Индекс профзаболеваний $I_{пз}$	Уровень риска	Срочность мер по коррекции уровня риска
<0,05	–	Риск отсутствует	не требуется
0,05÷0,1	< 0,05	Пренебрежимо малый (переносимый) риск	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите
0,11 ÷0,2	0,05 – 0,11	Малый (умеренный) риск	Требуются меры по снижению риска
0,21÷0,3	0,12 – 0,24	Средний (существенный) риск	Требуются меры по снижению риска в определенные сроки
0,31÷0,5	0,25 – 0,49	Высокий (непереносимый) риск	Требуются неотложные мероприятия для коррекции уровня риска
0,51÷0,7	0,5 – 1,0	Очень высокий (непереносимый) риск	Запрет осуществления каких-либо видов работ без принятия мер для снижения уровня риска
0,7÷1	> 1,0	Сверхвысокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии	Работы должны проводиться только по специальным регламентам

В производственных подразделениях предприятий тяжелой промышленности на основе выявленных зависимостей осуществляется выбор возможных методов для снижения тяжести и частоты несчастных случаев [18]. Это позволяет устранить непосредственные или способствующие их возникновению причины, что способствует

повышению уровня безопасности предприятия и уменьшению профессионального риска на производстве. На основе проведенного в работе анализа возможных путей снижения травматизма (рис. 3) и выявленных моделях были предложены возможные пути снижения травматизма на производстве (табл. 3).

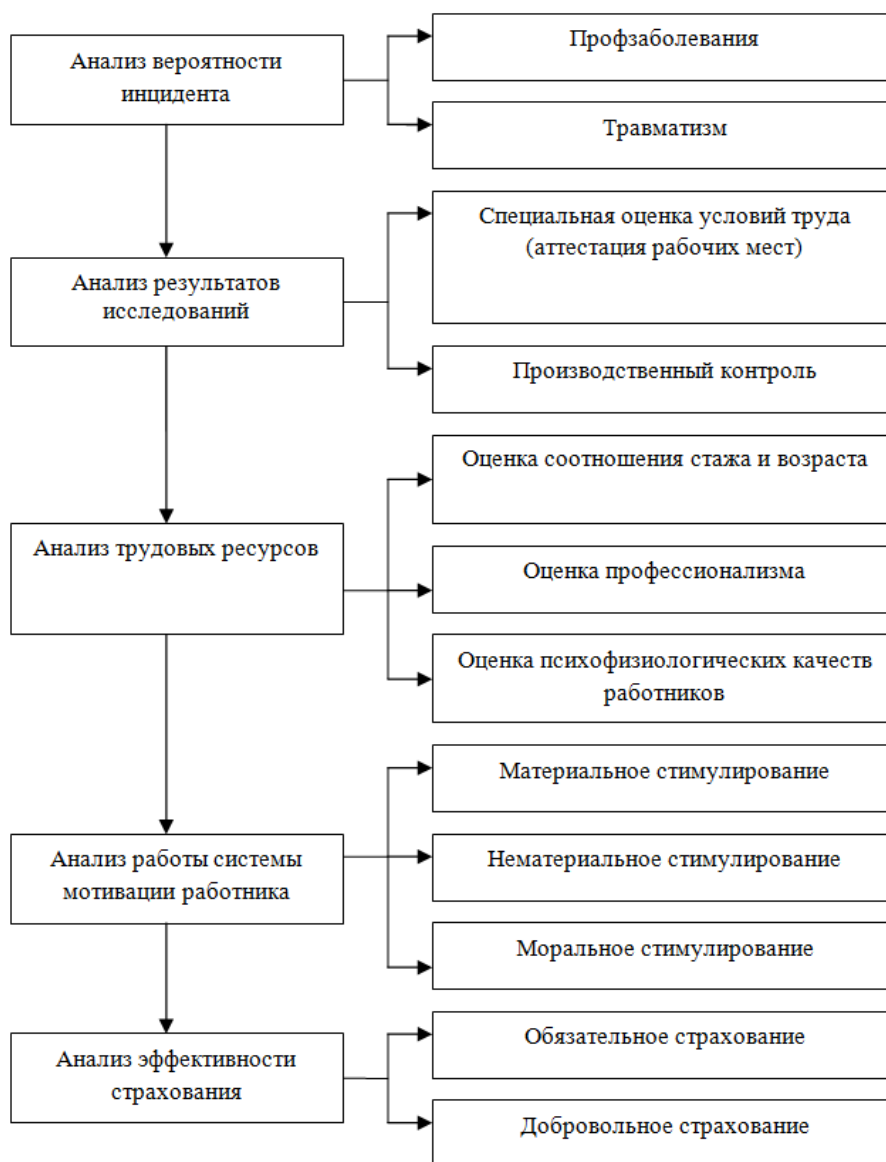


Рисунок 3 – Возможные пути снижения риска травматизма

Таблица 3 – Основные направления предупреждения травматизма на производстве

Направление воздействия	Механизм	Ожидаемый эффект
Условия труда	Усиление производственного контроля и своевременное проведение специальной оценки условий труда. Разработка комплекса мероприятия для уменьшения количества вредных и опасных производственных факторов	Улучшение условий труда и снижение количества травм
Взаимодействие с персоналом	Повышение квалификации и уровня подготовки персонала	Снижение вероятности травмирования
	Повышение уровня мотивации сотрудников Плановое периодическое обучение технического персонала	
Добровольное страхование	Введение добровольного страхования работников с использованием корректирующих коэффициентов рассчитанных на основе специальной оценки условий труда	Уменьшение возможного ущерба при возникновении опасной ситуации
		Стимулирование предприятия улучшать безопасность выполнения работ и условия труда в целом

Обсуждение. В соответствии с предложенной методикой в качестве основных принципов при выборе и разработке плана мероприятий, направленных на уменьшение травматизма можно выделить следующие:

– активной защиты, суть которого заключается в снижении уровня и времени негативного воздействия источника опасности;

– пассивной защиты, суть которого заключается в снижении негативного воздействия вредных и опасных производственных факторов без изменения уровня опасности.

При выполнении работы по обеспечению безопасности работников возможно применение следующих методов:

1. Метод нормализации. По этому методу разрабатывается комплекс организационных и технических мероприятий, целью которых является уменьшение возможных факторов риска.

2. Метод защиты расстоянием. Этот метод направлен создание условий по выводу работника из опасной зоны.

3. Метод защиты временем. Как правило, этот метод применяется при отсутствии возможности применения двух предыдущих по различным причинам. В соответствии с ним устанавливается максимально возможное время контакта с опасными или вредными производственными факторами.

4. Метод разделения гомосферы и ноксосферы, согласно которому не допускается их пересечение в ходе производственного процесса.

На основе результатов оценки риска с использованием предложенных зависимостей упрощается проведение работы по целенаправленной разработке плана мероприятий для снижения уровня травматизма на производстве. При формировании таких мероприятий могут применяться различные подходы, включающие психологические методы анализа личности и профессиональные отборы для каждого конкретного сотрудника или профессии. Одним из самых простых и распространенных способов уменьшения возможного ущерба при возникновении несчастного случая является добровольное страхование работника [19-20]. Такое страхование обеспечивает возможность гарантированного возмещения ущерба при возникновении несчастного случая. Для повышения точности и достоверности оценки риска, полученные зависимости можно применять для определения страховых коэффициентов. При помощи таких коэффициентов определяется вероятность возникновения несчастного случая и риска профессиональных заболеваний в зависимости от различных факторов.

Выводы. Таким образом, в ходе работы на основе анализа статистической информации и результатов расследования несчастных случаев на производстве, а также причин возникновения профессиональных заболеваний были установлены связи в триаде показателей «Условия труда – Травматизм – Челове-

ческий фактор». Знание и понимание этих связей позволяет повысить эффективность разрабатываемых мероприятий по управлению профессиональными рисками на производстве для персонала занятого на предприятиях тяжелой промышленности. Проведенный в работе анализ методик оценки риска показал, что на сегодняшний день отсутствует простой и удобный подход для проведения работ в данном направлении. В работе была предложена методика оценки профессионального риска на промышленных предприятиях. В качестве основных элементов в данной методике выступают разработанные с использованием статистических методов зависимости травматизма от условий труда и человеческого фактора. На основе этих зависимостей разработана и внедрена модель управления рисками травмирования, которая позволяет осуществлять целенаправленную деятельность по снижению частоты и тяжести несчастных случаев. Применение канонического метода анализа с элементами факторизации условий труда позволило определить максимальные вклады входных переменных (факторов) в итоговый вектор «Травматизм». На основании полученных данных возможна точечная проработка мероприятий, направленных на снижение уровня риска повреждения здоровья. Представленный метод позволяет минимизировать затраты предприятия на улучшение условий труда с наиболее эффективными результатами. Применение такой методики позволило повысить уровень промышленной безопасности и снизить риск повреждения здоровья персонала в цехах ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», это подтверждается следующими показателями:

– LTIFR снижение частоты травм с потерей трудоспособности на 1 000 000 с 1,16 (2016 г.) до 0,58 (2022 г.);

– LTISR снижение тяжести травм, влекущих за собой потерю трудоспособности на 1 000 000 с 43 (2016 г.) до 23,08 (2022г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 13.06.2023, с изм. от 27.06.2023).
2. ГОСТ Р ИСО 45001-2020 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению.
3. Обзор структуры автоматизированной системы оценки профессиональных рисков с учетом человеческого фактора / М.И. Богуш, Л.В. Гордиенко, И.А. Дмитриева, Е.С. Скачкова // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 1. – С. 15-20. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41309> (дата обращения: 30.06.2023).
4. Белов, П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 1: учебник и практикум для вузов / П.Г. Белов. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 211 с. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/512634> (дата обращения: 30.06.2023).
5. Белов, П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 2: учебник и практикум для вузов / П.Г. Белов. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 250 с. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/512635> (дата обращения: 30.06.2023).
6. Белов, П.Г. Управление рисками, системный анализ

и моделирование в 3 ч. Часть 3: учебник и практикум для вузов/ П.Г.Белов. Москва: Издательства Юрайт, 2023. – 272 с. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/512636> (дата обращения: 30.06.2023).

7. О концепции управления профессиональными рисками в сфере охраны здоровья и безопасности труда работников промышленных предприятий / И.П. Карначев, С.П. Левашев, Р.В. Шкрабак, А.А. Челтыбашев // Горный журнал. – 2018. – № 4. – С. 87-92. DOI 10.17580/gzh.2018.04.16.

8. Москвичев А., Симонова Н., Вихров С., Иванов В. Совершенствование системы управления охраной труда на основе концепции управления профессиональными рисками / Клинический институт охраны и условий труда: [сайт]. – URL: <https://www.kiout.ru/info/publish/23468> (дата обращения: 16.05.2023).

9. Роль системы оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда в организации / М.А. Садовников, Г.Г. Попов, Д.В. Семин А.А. Рыжкова // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 4 (48). С. 102-107. <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41803173&selid=41803191> (дата обращения: 06.07.2023).

10. Шувалова, М. Охрана труда: ключевые изменения с 1 марта 2022 года / М. Шувалова // Гарант.ру: [сайт]. – URL: <https://www.garant.ru/article/1486534> (дата обращения: 16.05.2023).

11. Девятченко, Л.Д. Каноническая связь травматизма и человеческого фактора в черной металлургии / Л.Д. Девятченко, Э.И. Соколова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4(48). – С. 74-80. – EDN SZHXKB. https://elibrary.ru/download/elibrary_22542801_36030404.pdf (дата обращения: 16.05.2023).

12. Соколова, Э.И. Снижение риска повреждения здоровья электротехнического персонала, занятого на энергетических объектах металлургических комплексов: специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соколова Эльвира Илдаровна. – Челябинск, 2019. – 148 с.

13. Бахонина, Е.И., Насибуллина, В.А. Обзор изменений в законодательстве, устанавливающих требования к оценке профессиональных рисков на предприятии Безопасность техногенных и природных систем. 2022;(2):31-35. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-31-35>.

14. 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.

15. 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 научнотехнической конференции с международным участием, Курск, 14 февраля 2020 года / Редколлегия: А.А. Горохов. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 304-310. – EDN FX-SINL.

16. 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.

17. 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.

18. 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 HFBBD. 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.

19. 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).

20. 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.

Статья поступила в редакцию 01.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023